

# EUREC Agency, Kurs für Professionisten

## Nutzung der Sonnenenergie für Bürogebäude

Graz, Österreich  
30. und 31. Mai 2003



**EUREC Agency**

European Renewable Energy Centres Agency

# Content

	<b>Page</b>
<b>Understanding the microclimate</b>	<b>3</b>
Using the plot of land in which a building sits to change the energy performance of the building <i>Prof. M. Santamouris, University of Athens, Greece</i>	
<b>Environment-friendly architectural design</b>	<b>16</b>
Energy and wider environmental impacts and architectural responses <i>Prof. J. Owen Lewis, University College Dublin, School of Architecture Richview, Dublin, Ireland</i>	
<b>Solar energy in European office buildings</b>	<b>23</b>
Design issues and solutions <i>Prof. J. Owen Lewis, University College Dublin, School of Architecture Richview, Dublin, Ireland</i>	
<b>Existing Energy-Efficient Office Buildings</b>	<b>33</b>
The lessons learnt from 20 German cases <i>Dr. Karsten Voss, FhG-ISE, Freiburg, Germany</i>	
<b>The Fraunhofer-ISE building</b>	<b>47</b>
New Institute Premises for a Sunny Millennium. A case-study <i>Dr. Karsten Voss, FhG-ISE, Freiburg, Germany</i>	
<b>The Integrated Design Process for low energy office buildings</b>	<b>58</b>
Featuring Austrian examples <i>Ernst Blümel, Christian Fink, Werner Weiss, AEE INTEC, Gleisdorf, Austria</i>	
<b>Energy retrofitting techniques for office buildings</b>	<b>75</b>
The energy conservation atlas for European offices <i>Prof. M. Santamouris, University of Athens, Greece</i>	
<b>Summer Comfort in Buildings</b>	<b>86</b>
Passive cooling and energy-efficient air conditioning <i>Prof. M. Santamouris, University of Athens, Greece</i>	
<b>Building Energy Concepts with Integration of Photovoltaics</b>	<b>115</b>
Concept and Examples from Germany <i>Dr. Karsten Voss, FhG-ISE, Freiburg, Germany</i>	
<b>Façade-integrated solar collectors for space heating</b>	<b>136</b>
Looking at the present examples and the possibilities for large office blocks in future <i>Werner Weiss, AEE INTEC, Gleisdorf, Austria</i>	

## **UNDERSTANDING THE MICROCLIMATE**

Matheos Santamouris

Group Building Environmental Studies, Physics Department, University of Athens, Athens,  
Greece

Building Physics 5, 157 84, Panepistimioupolis

Phone: +3017276934, Fax: +3017295282

E-mail : msantam@cc.uoa.gr

### **Abstract**

The built environment is not just the collection of buildings, it is in fact the physical result of various economic, social and environmental processes strongly related to the society standards and needs. Economic pressures related to property and labour market, investment and equity, household income and the production and distribution of goods, in combination with social aspects related to culture, security, identity, accessibility and basic needs, and finally, in association with environmental influences related to the use of land, energy and materials, define and determine the built environment we live in. Social, economic and environmental parameters are not seen as isolated influences, but in an integrated way and by considering a strong interrelationship with the rest of the mentioned factors. As stated by Brugmann, cities are integrated systems that facilitate the delivery of a wide range of services and activities. Synergies among these issues generate stress to the building environment and in most of the cases, the solution of a problem is the cause of another.

In particular, development of the urban environment has serious effects on the global environmental quality. Major concerns are the quality of air, temperature increase, acoustic quality and traffic congestion. Buildings are related to global changes in the increase of urban temperatures, rate of energy consumption, increased use of raw materials, pollution and production of waste, conversion of agricultural to developed land, loss of biodiversity, water shortage, etc. Increasing urbanization and industrialization have deteriorated the urban environment. Deficiencies in development control have important consequences on the urban climate and the environmental efficiency of buildings. The size of housing plots have been reduced increasing thus densities and the potential for traffic congestion. Increasing number of buildings has crowded out vegetation and trees. As a consequence of heat balance, air temperatures in densely built urban are higher than the temperatures of the surrounding rural country. The phenomenon known as 'heat island', is due to many factors the more important of which are discussed. Data compiled by various sources, shows that heat island intensity can be as high as 15 C. The results of the urban heat island experiment of Athens are presented.

Higher urban temperatures have a serious impact on the electricity demand for air conditioning of buildings, increase smog production, while contributing to increased emission of pollutants from power plants, including sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrous oxides and suspended particulates.

### **1. Definitions**

Climate is the average of the atmospheric conditions over an extended of time over a large region. Small-scale patterns of climate, resulting from the influence of topography, soil structure, ground and urban forms, are known as Microclimates.

The principle parameters characterizing climate are:

- **Air Temperature:** Temperature normally decreases as altitude increases, by 1°C for every 100 m in the atmosphere. Temperature differences are smoother over water than over land, due to water's higher thermal capacity.

- **Solar Radiation:** The amount of solar radiation received on earth varies with latitude. At the same latitude, the solar radiation received depends on the inclination and the orientation of the surface concerned.
- **Humidity and Precipitation:** Precipitation is affected by the presence and size of nearby hills and mountains. On the windward side it rains more often than on the leeward side.
- **Wind:** Because of friction with the ground, wind speed is higher over the sea than over land and it increases with altitude. As mountains and hills obstruct air movement, wind flow is diverted in its horizontal and vertical plane, presenting higher speeds at the top of the mountain on the windward side and less turbulence in the leeward side. Terrain characteristics, such as mountains, lakes, valleys, sea create local winds influencing the climate of this defined region.

The climate of cities differs from the climate of surrounding rural areas mainly due to the structure of cities and heat released by vehicles. In general, the climate in cities is characterized by high ambient temperatures, reduced relative humidity, reduced wind speed and reduced received direct solar radiation. The main climatic differences between rural and urban areas are summarized in Table 1.

Table 1 : A summary of the main climatic differences between rural and urban areas.

<b>Climatic parameter</b>	<b>Typical difference urban versus rural</b>
Minimum temperature	2 to 10°C higher
Maximum temperature	no difference
Mean temperature	1 to 3°C higher
Solar radiation on roof level	10 % lower
Absolute humidity	no difference
Relative humidity	lower
Wind speed	lower
Ground temperature	higher in a level close to ground surface

## 2. Urban Climate

As a consequence of heat balance, air temperatures in densely built urban are higher than the temperatures of the surrounding rural country. The phenomenon known as ‘heat island’, is due to many factors the more important of which are summarized by Oke, Johnson, Steyn and Watson, and deal with : a) the canyon radiative geometry that contributes to decrease the long wave radiation loss from within street canyon due to the complex exchange between buildings and the screening of the skyline, b) the thermal properties of materials that increase storage of sensible heat in the fabric of the city, c) the anthropogenic heat released from combustion of fuels and animal metabolism, d) the urban greenhouse, that contributes to increase the incoming long wave radiation from the polluted and warmer urban atmosphere, e) the canyon radiative geometry decreasing the effective albedo of the system because of the multiple reflection of short wave radiation between the canyon surfaces, f) the reduction of evaporating surfaces in the city putting more energy into sensible and less into latent heat, and g) the reduced turbulent transfer of heat from within streets.

Urban heat island studies refer usually to the ‘urban heat island intensity’ which is the maximum temperature difference between the city and the surrounding area. Data compiled by various sources, shows that heat island intensity can be as high as 15 C. Extensive studies on the heat island intensity in Athens involving more than 30 urban stations show that urban stations present higher temperatures compared to reference suburban stations between 5 to 15 C.

Higher urban temperatures have a serious impact on the electricity demand for air conditioning of buildings, increase smog production, while contributing to increased emission of pollutants from power plants, including sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrous oxides and suspended particulates. Heat island effect in warm to hot climates exacerbates cooling

energy use in summer. As reported, for US cities with population larger than 100000 the peak electricity load will increase 1.5 to 2 percent for every 1 F increase in temperature. Calculations of the spatial cooling load distribution in the major Athens area, based on experimental data from thirty stations have shown that the cooling load of reference buildings is about the double at the center of the city than in the surrounding Athens area. It is also found that high ambient temperatures increase peak electricity loads and put a serious strength on the local utilities. Almost a double peak cooling load has been calculated for the central Athens area than in the surroundings of the city. Finally, a very important decrease of the efficiency of conventional air conditioners, because of the temperature increase, is reported. It is found that the minimum COP values are lower to about 25 % in the central Athens obliging designers to increase the size of the installed A/C systems and thus intensify peak electricity problems and energy consumption for cooling.

Calculations of the spatial cooling load distribution in the major Athens area, based on experimental data from twenty stations have been reported by Santamouris, Figure 1. It is found that the cooling load of reference buildings is about the double at the center of the city than in the surrounding Athens area. It is also reported that high ambient temperatures increase peak electricity loads and put a serious strength on the local utilities. Almost a double peak cooling load has been calculated for the central Athens area than in the surroundings of the city. Finally, a very important decrease of the efficiency of conventional air conditioners, because of the temperature increase, is reported. It is found that the minimum COP values are lower to about 25 % in the central Athens obliging designers to increase the size of the installed A/C systems and thus intensify peak electricity problems and energy consumption for cooling.

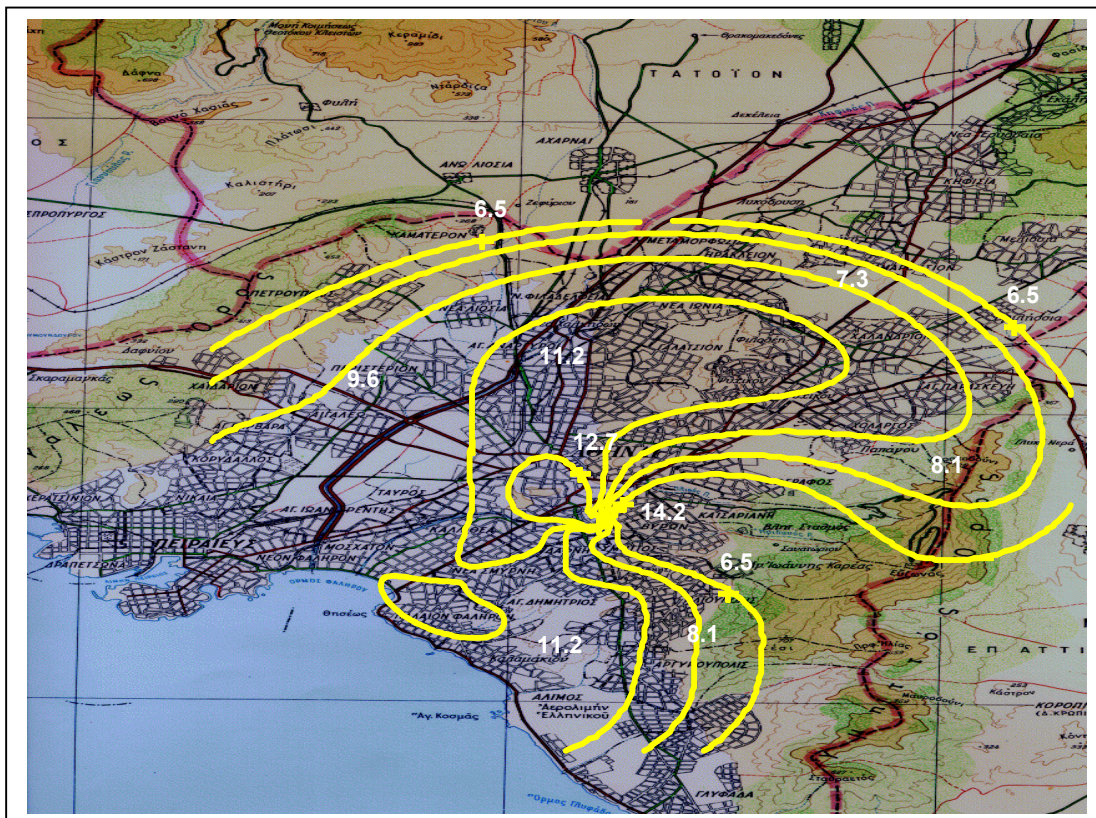


Figure 1: Iso cooling Lines in Athens

Except of the temperature increase, the urban environment affects many other climatological parameters. Global solar radiation is seriously reduced because of increased scattering and

absorption. As mentioned by Landsberg, the sunshine duration in industrial cities is reduced by 10 to 20 per cent, in comparison with the surrounding countryside and similar losses are observed in received energy.

In a general way, wind speed and direction, in the canopy layer, is seriously decreased compared to the undisturbed wind speed. This is mainly due to the specific roughness of a city, channeling effects through canyons and also because of the heat island effect.

In parallel, the urban environment affect precipitation and cloud cover. The exact effect of urbanization depends on the relative place of a specific city regarding the general atmospheric circulation. It is mentioned that in Budapest, because mainly of the industrialization the cloud cover has been increased by 3 % during the winter period. As mentioned by Escourrou, urbanization causes a proportional increase of the precipitation in cities like London, that because of its geographic location is more often in the zone of perturbations, than in cities like Paris. Studies in Bombay, India, have shown that the development of an industrial zone close to the city has increased precipitation by 15 per cent.

### **3. Landscaping techniques**

The microclimate of an urban area can be modified by appropriate landscaping techniques which combine the use of vegetation and water surfaces and can be applied to public places, such as parks, play-grounds and streets.. Addressing successful solutions to counterbalance the effects of temperature increase on the energy performance of urban buildings is An important priority. Addressing successful solutions to counterbalance the effects of the urban microclimate involve between others : the use of more appropriate materials, increased use of green areas, use of cool sinks for heat dissipation, appropriate layout of urban canopies, etc.

#### **3.1 Vegetation**

Vegetation modifies the microclimate and the energy use of buildings by lowering air and surface temperatures and increasing the relative humidity of the air. Furthermore, plants can control air pollution, filter the dust and reduce the level of nuisance from noise sources.

Trees and green spaces contribute significantly to cool our cities and save energy. Trees can provide solar protection to individual houses during the summer period while evapotranspiration from trees can reduce urban temperatures. Trees also help mitigate the greenhouse effect, filter pollutants, mask noise, prevent erosion and calm their human observers. As pointed out, 'the effectiveness of vegetation depends on its intensity, shape, dimensions and placement. But in general, any tree, even one bereft of leaves, can have a noticeable impact on energy use'.

The American Forestry Association, 1989, estimated that the value of an urban tree is close to \$ 57000 for a 50 years old mature specimen. As mentioned, the above estimate includes a mean annual value of \$ 73 for air conditioning, \$ 75 for soil benefits and erosion control, \$ 50 for air pollution control and \$ 75 for wildlife habitats.

Numerical studies trying to simulate the effect of additional vegetation to the urban temperatures have been performed by various researchers and provide very useful information. It is predicted that increasing the tree cover by 25 % in Sacramento and Phoenix, USA, would decrease air temperatures at 2:00 p.m. in July by 6 to 10.0 F.. Simulation results for Davis California using the URBMET PBL model show that the vegetation canopy produced daytime temperature depressions and night time excesses compared to the bare surrounds. The factors behind temperature reduction are evaporative cooling and shading of the ground, whereas temperature increase during night is the result of the reduced sky factor within the canopy. Results of the simulations show that a vegetative cover of 30 % could produce a noontime oasis of up to 6 C, in favourable conditions and a night time heat island of 2 C.

The impact of trees on the energy consumption of buildings is very important. As reported by the National Academy of Sciences of United States, the plantation of 100 million trees combined with the implementation of light surfacing programs could reduce electricity use by 50 billion kWh per year, which is equivalent to the 2 per cent of the annual electricity use in the US and reduce the amount of CO<sub>2</sub> dumped in the atmosphere by as much as 35 millions of tons per year.

Urban agriculture, growing vegetables and fruits, in and around cities, can help to improve urban microclimate and provide essential food to people. In fact, one seventh of the planet's food supply is grown in cities, and there are 800 million urban farmers in the world.

In Europe, almost 72 per cent of all urban households in Russia food, and Berlin has more than 80 000 urban farmers. In St Petersburg, the Urban Gardening Club has very efficiently promoted the roof top gardening. Estimations show that in just one district, it is possible to grow 2 000 tonnes of vegetables per season from 500 roof tops.

In Chicago, the local environment department promotes the construction of gardens a top several city buildings as part of a U.S. Environmental Protection Agency program studying ways to help cool cities and reduce smog. In parallel, the city of Vancouver in collaboration with City Farmer, a non-profit association promotes urban food production and environmental conservation. This has resulted to a new public garden which demonstrates conservation methods 'such as contouring of the ground, soil conditioning using compost, collection of rain water, and the use of native plants'.

As mentioned, vegetation acts as an air-conditioning substitute by cooling the air through evapotranspiration. Strategic planting of trees and shrubs next to buildings reduces summer air-conditioning costs typically by 15% to 35%. In addition, although trees absorb most of the incident solar radiation upon their leaves, they radiate back only a small portion of it. Thus, increasing vegetation cover by 10% to 30%, may reduce cooling energy by 10% to 50% .

At night trees block long wave radiation from the ground. Consequently the night air temperature is warmer and the diurnal temperature range smaller under trees than in an open field. In addition vegetation modifies wind patterns, decreasing the zone of wind protection on the windward side and increasing the zone of reduced air velocity in the leeward side.

### **3.2 Water Surfaces**

Water surfaces modify the microclimate of the surrounding area, reducing the ambient air temperature, either by evaporation (latent heat) or by contact of the hot air with the cooler water surface. Fountains, ponds, streams, waterfalls or mist sprays may be used as cooling sources, for lowering the temperature of the outdoor air and of the air entering the building.

Since water surfaces increase humidity air, they are very beneficial in dry climates, but they may create some problems in very humid climates. In hot climates, their cooling effect should be maximised through design strategies which prevent diffusion of the cooled air and direct it to inhabited spaces.

## **4 Design solutions**

### **4.1 The role of Vegetation**

Plants can be effectively used for reducing solar access, providing shade during summer and improving ventilation conditions in buildings. They can also extend the living space outdoors, under more pleasant thermal conditions. They should be carefully chosen considering the shape and character of the plant both in winter and summer and the shape of the shadow it provides. Broadleaved and deciduous trees are very useful as they drop their foliage in the autumn and permit solar access during winter. The principal factors to be considered in the

selection of deciduous trees are the mature height, growth rate, leaf appearance and fall patterns and distance of branches from the ground.

The position of plants relative to the building should be carefully chosen in order to provide appropriate shading. Most beneficial is shading of the windows. Horizontal shading, like pergolas, is preferable on the south side, as the sun is at a high position at this orientation. Trees on east-south-east and west-south-west sides act beneficially as sun is at low altitudes in the morning and late afternoon. Bushes can be used as shading devices for east and west windows. In addition, climbing plants on the walls reduce the solar heating penetrating through the building's envelope (Figures 2-4).

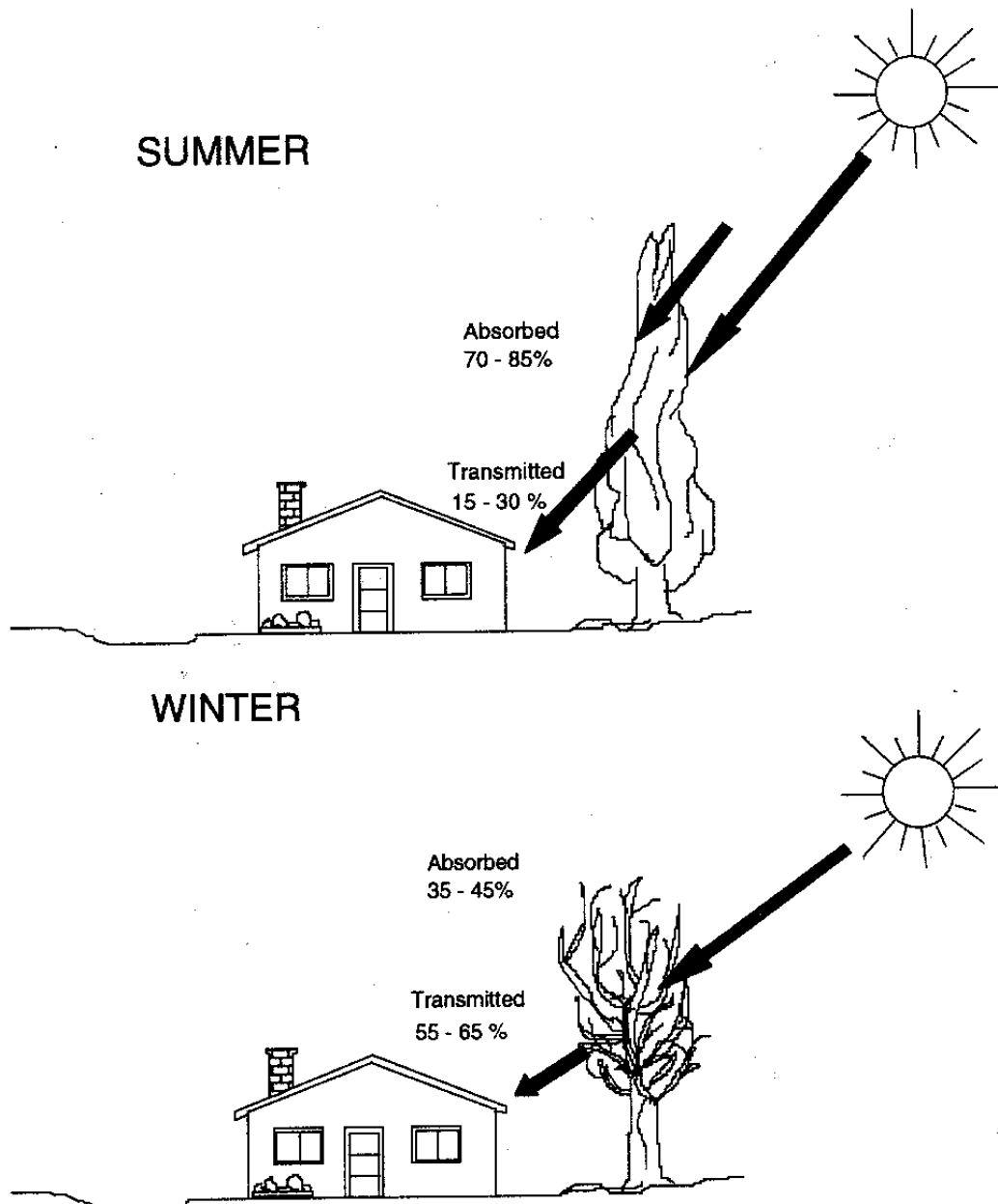


Figure 2: Summer and winter performance of a tree

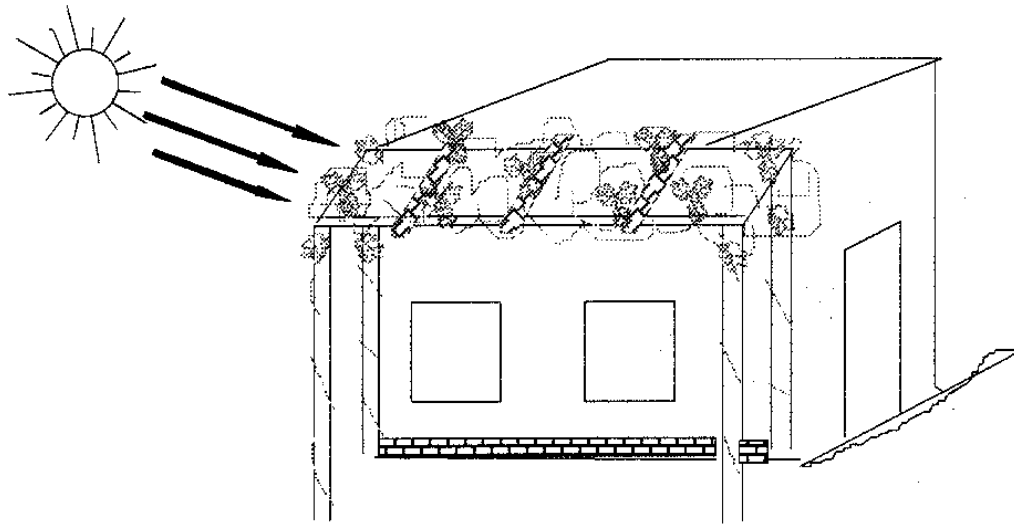


Figure 3: Pergolas for shading of south facades

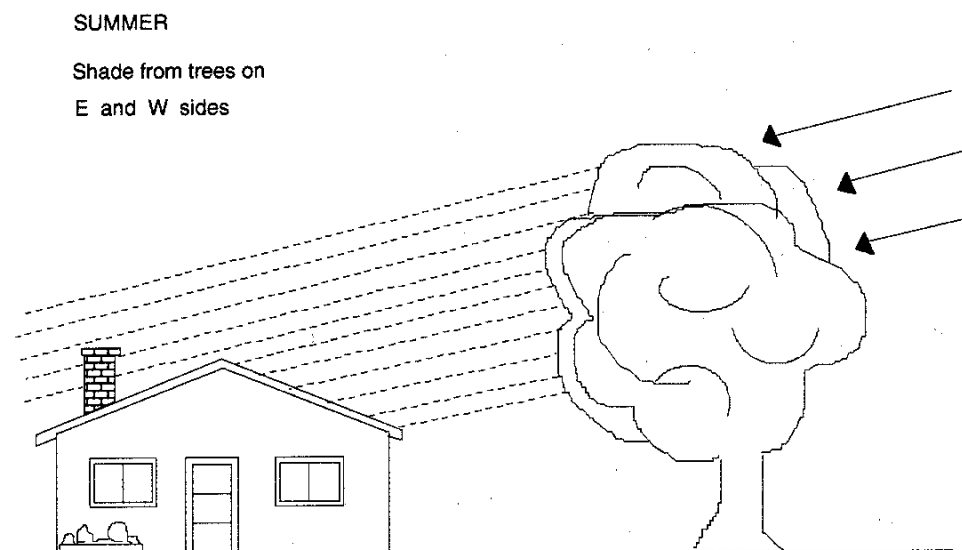


Figure 4: Trees at east and west sides for shading in summer

Trees and bushes can also be appropriately positioned to improve ventilation conditions in and around the building, by guiding more of the cooling breezes into the building. Bushes should be positioned at a distance from the building, in order not to deflect evening breezes the building. Windbreaks on the windward side should be positioned at a distance not more than 1 - 1.5 times the height of the building.

The roof is the part of the building that absorbs the most solar radiation, during summer. Grass planting on the roof sharply reduces the roof's surface temperature and consequently the air temperature of the space below. Solutions range from a simple horizontal vine covered trellis, to trees and bushes planted in lightweight soils or even the creation of fountains and pools.

Water surfaces, like fountains, ponds or streams, can be used to cool the air. Evaporative cooling combined with wind to occupied spaces can also increase human comfort. Distribution of water surfaces around the garden is particularly effective in hot dry climates.

#### 4.2 The role of Materials

Use of high albedo materials reduces the amount of solar radiation absorbed through building envelopes and urban structures and keeps their surfaces cooler. Materials with high emissivities are good emitters of long wave energy and readily release the energy that has been absorbed as short wave radiation. Lower surface temperatures contribute to decrease the temperature of the ambient air as heat convection intensity from a cooler surface is lower. Such temperature reductions can have significant impacts on cooling energy consumption in urban areas, a fact of particular importance in hot climate cities.

The use of appropriate materials to reduce heat island and improve urban environment has gained increasing interest during the last years. Many research works have been carried to identify the possible energy and environmental gains when light colored surfaces are used. Studies have investigated the impact of the materials optical and thermal characteristics on the urban temperature as well as the possible energy reduction during the summer period. A detailed guide on light colored surfaces has been published by US EPA.. It has been shown that important energy gains are possible when light color surfaces are used in combination with the plantation of new trees. For example computer simulations show that white roofs and shade trees in Los Angeles, USA, would lower the need for air conditioning by 18 percent or 1.04 billion kilowatt-hours, equivalent to a financial gain close \$100 million per year.

Santamouris et al, using infrared thermography has assessed the temperature of used materials in pavements and streets in the major Athens area during the summer period. A typical picture is shown in Figure 5. As shown, the temperature of non shaded asphalt was close to 59 C In parallel, the temperature of green areas was close to 31 C.

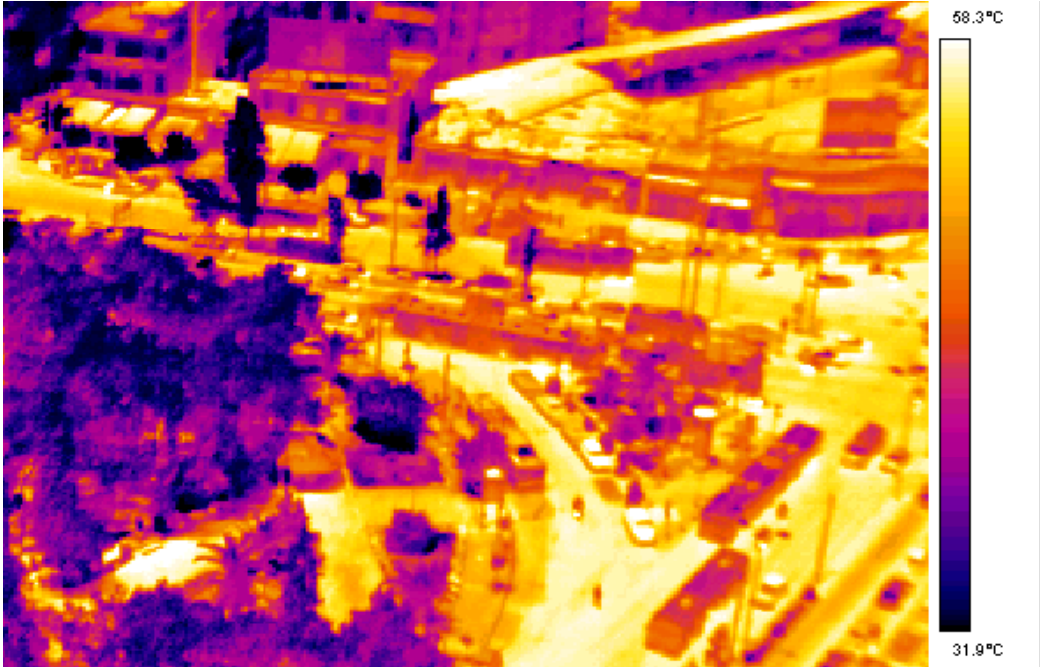


Figure 5: Infrared Thermography of Central Athens.

Extensive measurements of surface temperatures for more than 70 materials used for streets and pavements have been performed during a whole summer,. Instant temperature differences of more than 45 C, have been measured between asphalt and white cover materials.

Large scale changes on urban albedo may have important direct and indirect effects on the urban scale. Measurements of the of the indirect energy savings from large scale changes in urban albedo are almost impossible. However, using computer simulations the possible change of the urban climatic conditions can be evaluated. Taha et al , using one dimensional meteorological simulations have shown that localized afternoon air temperatures on summer days can be lowered by us much as 4 C by changing the surface albedo from 0.25 to 0.40 in a typical mid - latitude warm climate. The same author, using three - dimensional mesoscale simulations has calculated the effects of large scale albedo increases in Los Angeles. It has been shown than an average decrease of 2 C and up to 4 C may be possible by increasing the albedo by 0.13 in urbanized areas. Further studies, have shown that a temperature decrease of this magnitude could reduce electricity load from air conditioning by 10 %. Recent measurements in white Sands New Mexico have indicated a similar relationship between naturally occurring albedo variations and measured ambient air temperatures.. Taha et al., have analyzed the atmospheric impacts of regional scale changes in building properties, paved surface characteristics and their microclimates and they discuss the possible meteorological and ozone air quality impacts of increases in surface albedo and urban trees in California's South Cost Air Basin. By using photochemical simulations it is found that implementing high albedo materials would have a net effect of reducing ozone concentrations and domain wide population weighted exceedance exposure to ozone above the local standards would be decreased by up to 12 % during peak afternoon hours.

### 4.3 Changing the Albedo of Urban Areas

Cities and in general urban areas are characterized by a relatively reduced effective albedo because of two mechanisms :

- a) Darker buildings and urban surfaces absorb solar radiation, and
- b) Multiple reflections inside urban canyons reduce significantly the effective albedo.

Typical albedo of European and American cities are close to 0.15 - 0.30. Much higher albedo have been measured in some North African cities, (0.45-0.6). Taha, has compiled data for snow free urban albedos for several cities and where possible has given the difference between the urban and rural albedo, (Table 2).

Table 2 : Selected Urban albedo values.

Urban area	Albedo	$\Delta$ (urban - rural)
Los Angeles, (city core)	0.20	0.09
Madison, WI (urban)	0.15-0.18	0.02
St. Louis, MI (urban)	0.12-0.14	-----
St. Louis, MI (center)	0.19-0.16	0.03
Hartford, CT (urban)	0.09-0.14	-----
Adelaide, AUS (commercial)	0.27 (mean)	0.09
Hamilton, Ontario	0.12-0.13	-----
Munich, West Germany	0.16 (mean)	-0.08
Vancouver, BC	0.13-0.15	-----
Tokyo	0.10 (mean)	-0.02
Ibadan, Nigeria	0.12 (mean)	0.03
Lagos, Nigeria	0.45	0.25

Variations of the albedo caused by the urban structure has been extensively studied. Cantat,, has shown that the albedo in Paris is to about 16 percent lower than in the surrounding rural areas. Aida, has showed that absorption of the urban structure under clear weather conditions is increased to about 20 % compared to a flat surface of the same material mainly because of the irregular building structure. As seen in Figure 6, it is shown that the increase in urban absorptance was greater than 20 % at large zenith angles, i.e. when sun is lower, but when the sun is lower the absorptivity increased by an average of 18 % in urban areas with respect to a flat area of the same material. In Figure 7 .the curves give the normalized

increase in absorptivity of the urban case in respect to a similar material flat surface. The upper curve corresponds to building blocks uniformly distributed while the lower curve to a long urban canyon.

Figure 6: Relative increase in absorptance due to effects of geometry. The parameter 'a' is the absorptivity of the urban pattern, whereas 'ar' is the absorptivity of the flat reference surface.

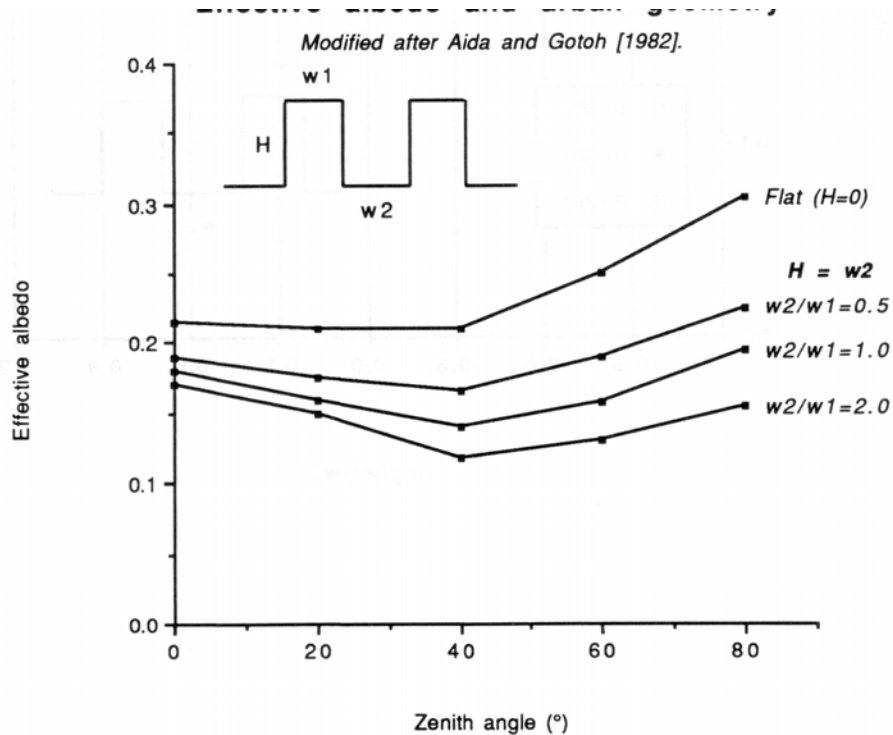
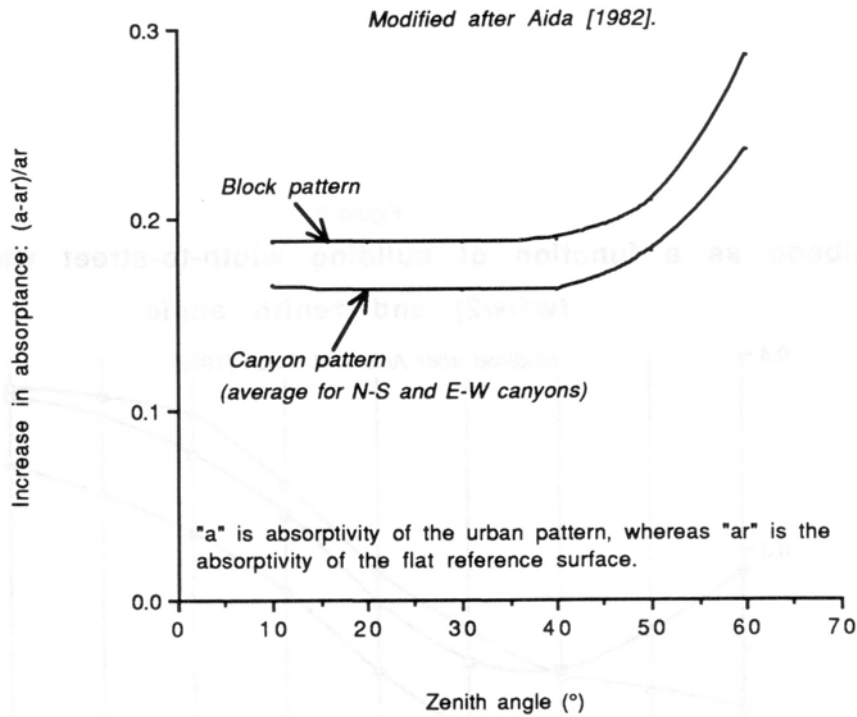


Figure 7: Effective albedo and urban geometry.

The decrease of the urban albedo because of the geometrical characteristics of urban canyons has been assessed by Aida and Gotoh, using a two dimensional model developed by Craig and Lowry. The work considered a similar height to width canyon, and evaluated the impact of different building width to canyon width ratios, Figure 7. As shown, as irregularity increases, the effective albedo decreases. The role of building width to canyon width, is studied by the same authors for a fixed building height, Figure 8. They report that as the streets get narrower, the effective albedo increases because of the reduced effect on the internal reflections within the canyons. As stated an urban configuration with canyon width about twice the width of buildings produces the lowest albedo at all zenith angles.

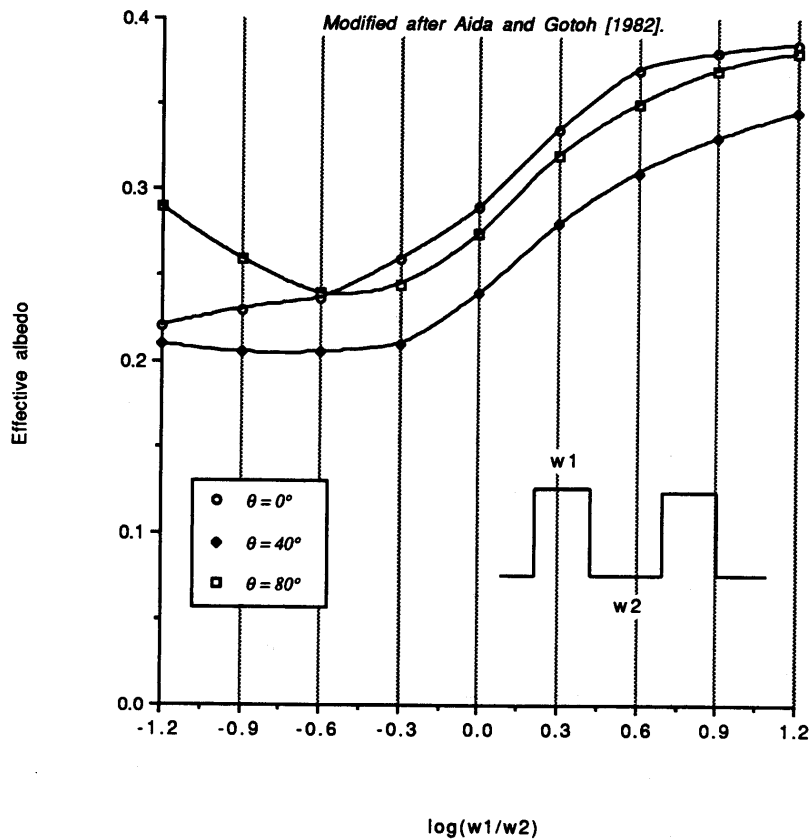


Figure 8: Albedo as a function of building width to street width ratio and zenith angle.

## References

1. Akbari H., S. Davis, Dorsano S., Huang J. and Winett S. : 'Cooling our Communities - A Guidebook on Tree Planting and Light Colored Surfacing'. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Policy Analysis, Climate Change Division, January, 1992.
2. Oke T.R, G.T. Johnson, D.G. Steyn and I.D. Watson : 'Simulation of Surface Urban Heat Islands under 'Ideal' Conditions at Night - Part 2 : Diagnosis and Causation', Boundary Layer Meteorology 56:339-358,1991.
3. Landsberg H. E. : 'The Urban Climate', Academic Press, 1981.
4. Escourrou G. : 'Le Climat et La Ville', Nathan Univrsite, Paris, 1991.

5. Rao T.R. and Murty Bh. V. R. : 'Effect of steel mills on rainfall at distantly located stations' *Indian Journal of Meteorology and Geophysics*, 24,1, p.p. 15-26, 1973.
6. Tso, C.P. : 'The Impact of Urban Development on the Thermal Environment of Singapore'. In the Report of the Technical Conference on Tropical Urban Climates. WMO, Dhaka, 1994.
7. Watanabe H. Hirotoishi Yoda and Toshio Ojima : ' Urban Environmental Design of Land Use in Tokyo Metropolitan Area'. *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, p.p 133-137, 1990/91.
8. Ojima T. : 'Changing Tokyo Metropolitan Area and its Heat Island Model'. *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, p.p. 191-203, 1990/91.
9. Santamouris M., N. Papanikolaou, I. Livada, I. Koronakis, C. Georgakis, and D. N. Assimakopoulos : ' On the Impact of Urban Climate to the Energy Consumption of Buildings', *Solar Energy*, 2001
10. Flavin, C. and Lenssen, N. 'Power Surge : A guide to the coming energy revolution', Earthscan, London, 1995.
11. Cleugh, H. A. and Oke T. R. : 'Suburban - rural energy balance comparisons in summer for Vancouver, B. C.', *Boundary Layer Meteorol.*, 36, 351-169, 1986.
12. Pares M., et al : *Descobrir el medi urba. Ecologia d' una ciutat* : Barcelona. Centre del Medi Urba, Barcelona, Spain, 1985.
13. Oke T.R. : *Boundary layer climates*. University Press, Cambridge, 1987.
14. Howard, L. : 'The Climate of London', Vols. I-III, London, 1833
15. M. Santamouris (Ed) : *Energy in the Urban Built Environment*, James and James Science Publishers, London, UK, 2001
16. Taha H. : 'Urban climates and heat islands : albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat', *Energy and Buildings*, 25, p.p. 99-103, 1997.
17. Roth. M, Oke T.R. and Emery W.J. : 'Satellite - derived urban heat islands from three coastal cities and the utility of such data in urban climatology', *Int. J. Remote Sensing*, 10, p.p. 1699-1720, 1989.
18. Stoll M.J. and Brazel A.J. : 'Surface air-temperature relationships in the urban environments of Phoenix, Arizona', *Phys. Geography* 13, p.p. 160-179, 1992.
19. Rosenfeld A., Romm J., Akbari H. and Lloyd A. : 'Painting the Town White and Green', Paper available through the Web site of Lawrence Berkeley Laboratory, 1998.
20. M. Santamouris and Doulos L.: *Comparative Study of almost 70 different materials for streets and Pavements*. M. Sc. Final Report, University of Athens, Department of Physics, Athens, 2001.
21. Taha H., S. Douglas and J. Haney : 'Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation', *Energy and Buildings*, 25, 169-177, 1997
22. Taha H. : 'Meteorological and photochemical simulations of the south coast air basin', in Taha (ed), *Analysis of Energy Efficiency of Air Quality in the South Coast Air Basin - Phase II*, Rep. No LBL-35728, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley CA, Ch. 6, p.p. 161-218, 1994b.
23. Akbari H. , A. Rosenfeld and H. Taha : 'Recent developments in heat island studies : technical and policy'. *Proc. Workshop on Saving Energy and Reducing Atmospheric Pollution by controlling Summer Heat Islands*, Berkeley, CA, Feb. 23-24, p.p. 14-20, 1989.
24. Taha H. : 'Urban climates and heat islands : albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat', *Energy and Buildings*, 25, p.p. 99-103, 1997.
25. Huang Y.J, Akbari H., Taha H., and Rosenfeld A.H. : 'The potential of vegetation in reducing cooling loads in residential buildings', *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 1103-1116, 1987.
26. National Academy of Science : 'Policy Implications of Greenhouse Warming', Report of the Mitigation Panel, Washington D.C. National Academy Press, 1991.

27. T. van Wijngaarden : An Example of Eco – City Development : Urban Agriculture, In : 'How Green is the City', D. Devuyst, L. Hens and W. de Lannoy (Eds), Columbia University Press
28. Cainross, S. Hardoy , J.E. and Satterthwaite D. (1990) : The Urban Context', In J.E. Hardoy, S. Cainross and D. Satterthwaite (Eds) The Poor Die Young : Housing and Health in Third World Cities, p.p. 1-24, London, Earthscan
29. City Farmer. 1998. Urban Agriculture Notes.
30. V. Geros, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis and G. Guarracino : 'Experimental Evaluation of Night Ventilation Phenomena'. J. Energy and Buildings, 29, 141-154, 1999.

## **ENVIRONMENT-FRIENDLY ARCHITECTURAL DESIGN**

Professor J. Owen Lewis  
School of Architecture, University College Dublin  
Richview, Clonskeagh, Dublin 14, Ireland  
Tel: +353.1-716 1868  
Fax: +353.1-716 1156  
E-mail: lewis@erg.ucd.ie

### **Abstract**

Environmentally friendly design offers several advantages beyond the mitigation of the very substantial impacts associated with construction's energy and material consumption and waste production. The continuing financial savings which energy-efficient technologies may achieve can be of real importance to the occupier, while the community benefits from reduced imports and energy vulnerability. But the other reason to promote green design is that of architectural quality. Buildings with more natural and fewer artificial inputs are very often better. Daylit buildings are, in general, more pleasant than artificially lit ones, and may provide more productive working and learning environments; natural ventilation, if clean air is available from a quiet external environment, is more acceptable than mechanical; the fewer heat emitters, the better; and so on. Mies van der Rohe said that 'Less is more'; today, a better way of putting it may be, as Alexandros Tombazis says: 'Less is beautiful'.

### **1. Introduction**

In past centuries the relative lack of resources to construct and maintain buildings meant energy-conservative and locally sourced inputs were the norm. From Imperial Rome until the nineteenth century only the wealthy could afford thermal baths or orangeries. Since the industrial revolution, but particularly in the 20th century, the twin phenomena of more widely diffused wealth and relatively cheap energy have resulted in widespread increases in energy use. The cost of maintaining a high-efficiency artificial light source is one thousandth of that which a tallow candle represented 100 years ago. Such reductions in proportional cost, and greater affordability, apply not only to energy but also to materials produced or transported using energy -which includes all building materials. As a result, the cost of building and running buildings has fallen many times over; and for some decades it was unnecessary to consider every design issue from an energy-cost viewpoint.

In 1973 the first oil crisis prompted governments to seek secure sources of energy and reduce dependency on imported fuel. As the decade wore on, such measures became less urgent. By 1979, the time of the second oil crisis, society had again forgotten about the need to conserve energy. But reduction of dependency on oil is not the main imperative to green design.

It is impossible to ignore the global environmental crisis, and the disproportionately large emissions and other pollution associated with building construction, operation and demolition. It is now primarily for environmental reasons that the European Union, national governments, companies, and private citizens invoke higher standards of building design and construction. International agreements oblige action to control the emission of six greenhouse gases. However, not all States are equally active.

The architectural profession itself has been aware of this imperative for some years now. The 1993 'Chicago Declaration' by the Union Internationale des Architectes is a clear statement of intent in this regard, as is much of the content of 'Europe and Architecture Tomorrow' published by the Architects' Council of Europe.

Buildings impact upon the environment at several levels, including the city and region, the estate and neighbourhood, the individual building, and in relation to the materials, components, and systems of which buildings are made. It is essential to consider the full life-cycle dimension. For instance, there are consequences following on choices in relation to materials: the extraction, processing, manufacturing impacts; the materials' energy 'intensity'; the emissions associated with certain materials; and maintenance, demolition, recycling, and disposal of construction products. Again, in relation to design decisions which affect fuel usage, consider: pollutant emissions to the atmosphere; the amount of primary energy consumption; fuel extraction/harvesting, processing, and distribution -all have far-reaching impacts.

Energy is a key part (though only part) of the sustainability issue. Buildings account for close to half of all energy consumption in many Western countries. Very considerable opportunities exist to improve the energy performance of European buildings, including for instance the provision of tighter and better-insulated constructions, more efficient heating systems, and waste heat recovery. Many of the opportunities will not be exploited (especially in existing buildings) if crude market forces alone are relied upon to determine the optimal investment in energy saving. For both demographic and macroeconomic reasons, some Member States (such as Ireland) will face particular challenges in meeting international treaty obligations to limit greenhouse gas emissions –challenges which are exacerbated by tardiness in implementing measures to limit emissions. However, the impetus towards a more sustainable built environment also offers important opportunities for better buildings.

## **2. Buildings as resources**

As the community's principal physical asset, getting good value requires that the building's full life cycle be considered, avoiding short-sighted attempts to merely minimise initial cost. A strategy on sustainable development will seek to prolong the life of existing structures, and indeed to extend the utilisation of the materials with which they were originally constructed. Where the option exists, adaptation is often preferable to new building; and upgrading of energy performance represents an efficient deployment of resources.

The stock of existing buildings in Europe is large and the replacement rate is conventionally taken as less than 2%; although there are exceptions. The building industry is characterised by an unusual degree of fragmentation among its principal actors, design /manufacture /supply /assembly usually taking place within profoundly distinct organisations. Most buildings can be considered as prototypes. Construction industry expenditure on R&D is, compared with any other industry, very low indeed; and considerable suspicion of innovation and even a resistance to change exists in many areas. Thus the challenge of bringing about change in the sector is not a trivial one. Yet, energy savings of 50% to 75% have been demonstrated in different buildings across the EU, and zero CO<sub>2</sub>, zero imported energy and autonomous buildings have been built.

Significant improvements in existing buildings may be obtained through better 'housekeeping', increased insulation of the building fabric and improved building services components and controls. Programmes have sought to encourage such changes from time to time through measures such as public information programmes addressed to owners, tenants and users, motivating and training professionals, providing grants and incentives, promoting audits and rating and through fuel pricing. While the potential in individual existing buildings may be rather modest (and of relatively small significance to the individual owner or operator), the cumulative potential across the building stock is very substantial. A recent EuroACE study has indicated that implementing a comprehensive package of cost-effective domestic energy efficiency measures across the EU could achieve annual CO<sub>2</sub> reductions of 200 million tonnes by 2010, which represents almost 40% of the Union's overall Kyoto target.

### 3. Renewable Energy and Building

Opportunities also arise particularly in the design of new buildings to closely integrate considerations of architecture and energy efficiency with a high degree of cost-effectiveness; and newer products, technologies and systems will find application in future buildings, given changing private and official requirements.

Too often the approach in modern buildings has been to use more or less sophisticated engineering systems to heat, cool and light the interior so that satisfactory indoor conditions are provided for occupants. Such systems are necessarily energy consuming and are usually conceived as add-on equipment to the building envelope. Certainly it is valuable to ensure heat losses from the building fabric and its heating services are reduced through insulation; but the starting point needs to be somewhat different.

An alternative approach integrates consideration of the occupants, their living and recreation and working places, and the outdoor environment in an architecture which seeks to utilise renewable energy sources and seasonal and diurnal outdoor changes to reduce reliance on mechanical and electrical systems. This approach is characterised by the use of building elements such as walls, windows and floors, for heating, cooling and lighting; where heat distribution occurs primarily by the natural mechanisms of convection, conduction and radiation rather than through the use of pumps and fans. Optimal use of daylighting is of particular importance in non-domestic buildings. Ventilation systems, in particular air-conditioning, consume significant energy in use and need regular maintenance to prevent growth of micro-organisms which can damage health. Design strategies should seek to minimise the need for air conditioning in the first instance, and management strategies should ensure that where such systems are installed they are properly maintained.

Passive solar design can improve building energy performance in three areas: building heating, cooling and lighting. The relative importance of the energy-saving contributions varies, depending on the building's location and function.

**Heating:** South-facing surfaces receive more solar radiation in winter and less in summer when compared with surfaces with east or west orientations. This is approximately in phase with the heating requirements. Throughout the year solar gains through west and southwest glazing are very similar to those through glazing facing east and south-east. In summer windows facing west can give rise to overheating if they are not protected from the sun's rays, which are at a low angle of incidence.

When solar radiation strikes any material part of it is absorbed, transformed into heat and stored in the mass of the material. The material heats up progressively by conduction as the heat diffuses through it. Materials with high heat storage capacity such as concrete, brick and water heat up and cool down relatively slowly. Thermal insulating materials such as glass fibre and foam, usually because of their open or cellular structure, are poor heat stores and diffuse heat very badly.

**Lighting:** Daylighting design involves the provision of natural light in the interiors of buildings to reduce or eliminate daytime use of electric lights, thereby offering substantial savings in energy use and consequent environmental damage. If skillfully executed, daylighting can provide healthier and more pleasant working conditions.

Various devices are now available to capture daylight and direct it deep into buildings and to reduce excessive light levels near glazing, providing a more uniform spread of natural light. Some of those, such as atria, light shelves, roof monitors or clerestory lighting can have profound architectural design implications. Others such as prismatic glazing, reflective blinds or shading systems can be more easily applied in the case of existing buildings. A wide range of specially-treated glazing materials which can control the intensity and optical properties of natural light and heat flows through windows is also available.

**Cooling:** The most efficient way of protecting a building from unwanted direct sunlight is to shade its windows and other apertures. The degree and type of shade necessary depends on the position of the sun and the geometry of the building. Shutters, blinds, louvres, awnings and curtains are all examples of adjustable shading devices. Some can also be used in

winter to increase thermal insulation. Ideally, shading devices should be placed on the exterior.

Even when steps have been taken to shade a building, to reduce heat gains and to minimise the flow of external warm air into the building, internal temperatures in hot climates during summer can often be higher than those outside. Efficient appliances and lighting can minimise internal gains, and appropriate ventilation design can reduce their effects on comfort in summer. Where external air is cooler than the upper comfort limit, fresh air driven through the building by naturally occurring differences in air pressure can help to remedy this problem. Also, when two air masses have different temperatures, their densities and pressures are also different and this gives rise to movement of air from the denser (cooler) zone to the less dense (warmer) one. For example, by providing openings at the top and bottom of the building, warm air will rise naturally and escape from the top outlet while cooler fresh air will enter through the openings at the base.

The design and construction of a building which takes optimal advantage of its environment need not impose any significant additional cost, and compared to more highly-serviced 'conventional' buildings it may be significantly cheaper to operate. Characteristically a design-oriented and building-specific technology, solar architecture permits a dynamic interaction between people, their built environment and the outdoor conditions. It requires a knowledge of climate, an awareness of the available technologies and materials combined with an understanding of comfort, and how these conditions can be affected by changes in climate.

Bioclimatic or passive solar design now represents one of the most important strategies for the replacement of conventional fossil fuels and reduction of environmental pollution in the building sector. Depending on the predominant need for heating or cooling, a wide range of passive techniques is available to the building designer for new and retrofit building projects which, at little or no extra cost compared with conventional construction, can result in buildings which make use of renewable energies, and which are both more energy-efficient and offer higher standards of visual and thermal comfort to the occupants. However substantial potential exists to increase its contribution.

Modern passive solar buildings have been shown to provide in a cost-effective manner, indoor climates which occupants enjoy and (evidence is emerging to prove) in which they are more productive. This is of particular significance in certain European locations where too many commercial buildings are being air-conditioned as a result of letting agents' interpretations of uninformed and inappropriate US specifications.

### **Active solar**

Low temperature 'active' solar strategies use specialised flat-plate or evacuated tube solar collectors in residential applications such as space or water heating, circulation of the heat transfer fluid being achieved by means of pumps or fans. After a lull in the 1980s interest has been growing again (though unevenly across the EU), and considerable development has been achieved in collector reliability and efficiency. No breakthrough has taken place in storage technology, and at the systems level the main lesson learned is that simple systems are more reliable and, in theory only marginally less effective than complicated systems designed to maximise energy collection.

Since 1989, the solar thermal market in the EU has grown at an average annual rate of 18%. Installed collector area in Europe is now well over 8,000,000 m<sup>2</sup> and since 1990, the fastest-growing markets have been in northern Europe. In recent years Germany has been the largest market in the EU, though Austria had the largest annual per capita sales (Alcock et al 1998). In addition to the domestic sector, useful applications have been seen in tourism and industrial buildings, but few office projects.

In parallel to solar thermal technologies, photovoltaic production of electricity is of increasing relevance to construction as building-integrated applications develop in performance and cost-effectiveness. The application of thin films to roof components and the development of

opaque and semi-transparent facade elements represent important trends which are being influenced by industry studies indicating that PV wall cladding could be commercially viable within a decade (when compared with conventional high-performance cladding systems).

The commercial application of these technologies is sometimes restricted by non-technical barriers such as a lack of awareness of market potential, and a perceived high cost/benefit ratio. The European Commission has supported a wide range of initiatives aimed at advancing energy efficiency and renewable energy utilisation. Renewables CO-OPS is one such project within the Altener programme whose aim was to help organisations to investigate and overcome non-technical barriers to using renewable energy technologies. The main focus of the project was the promotion of mutually-beneficial partnerships between customers and suppliers. Through such partnerships, the benefits of renewable energy are shared, the risks spread, and the commercial application of renewable energy enhanced. In particular, the project aimed to highlight the 'business case' for renewable energy. In the building sector much of the impetus towards passive solar would appear to have come from some designers and clients. Renewables CO-OPS sought to redress the balance and to highlight opportunities for companies and business.

#### **4. Sustainable building**

A sustainability ethos in building demands a wide agenda: it requires the consideration of environmental implications associated with design, construction and operation of buildings. Strategies to reduce environmental impact are needed in every area of building design, construction, and use. These include waste production, building materials and systems, and consumption of natural resources including water, vegetation and soil. Opportunities exist to more widely specify dual flushing WC cisterns for instance, and improved automatic control of sanitary appliances to reduce water consumption. Less water use also implies less demand for water treatment systems. Rainwater retention and disposal on site, and on-site or local sewage treatment, can mitigate the lowering of the water table, reduce demand for municipal pipework and waste treatment, and reduce shock loads on treatment plants. Designs to dispose of rainwater on site involve separation of polluted run-off from roads and parking areas. Designs to treat gray water on site require space provision for treatment plants or reed beds.

The appropriate use of local construction materials often will be indicated as a preferred choice. The logic at the macro level lies in the conservation of transport fuels and the avoidance of associated pollution emissions. At the local level, favouring indigenous production helps to sustain livelihoods, crafts and trades. Generally speaking, the use of local resources also contributes to a regional expression of buildings, thus fostering a sense of place in the built environment.

Construction sector waste is an increasingly urgent issue: a substantial proportion of landfill waste is debris from building and demolition. This can be reduced by better site management, increased use of recycled materials, and conservation and reuse of old buildings. After completion of the building, it is not the building but the people using it who generate waste. Here, too, reduction and recycling are necessary and citizens throughout the Union are increasingly conscious of this. The architect can facilitate recycling of domestic waste by ensuring adequate possibilities for production of compost, and, in many buildings, for the storage and collection for recycling of nonorganic waste.

Materials have widely varying environmental impacts. Some, such as oil, hardwood timber from non-sustainably managed sources or copper are drawn from limited stocks of non-renewable resources. Others, such as limestone or sand, are more abundant but their extraction, processing and transport to site can cause significant environmental degradation. Others again, such as aluminium, are widely available but consume a lot of energy in their processing. Finally, some materials, such as softwood from sustainably managed forests, are relatively abundant and can be extensively and sustainably used.

Different materials have varying impacts on the quality of the indoor environment. Low ventilation rates have brought the quality of indoor air into focus. The barring of smoking has

been of importance in improving indoor air quality but beyond this, selection and maintenance of finishes also matter. Finishes which emit volatile organic compounds or which retain dust and dirt worsen air quality and can affect the health of the user.

Much research has yet to be done on the relative sustainability of different materials. Superficially similar components may have widely differing environmental impacts in their manufacture and delivery to site. For example, a brick may have been produced 10 km or 1000 km from the site. The environmental impact of the transport involved is very different. On the other hand, the local brick may have been less efficiently produced and so the environmental impact of the energy in production will vary. That same energy may have been produced from a sustainable source such as hydroelectricity or from a non-sustainable source such as nuclear power.

The conservation of indigenous vegetation and topsoil can foster environmental diversity and provide external shelter. Where a site has topsoil which is to be removed for building, it should be re-used on site or collected and re-used elsewhere. The site can be planned to conserve pre-existing vegetation and hedgerows, and coppices can be reinforced by planting seedlings taken from the area.

It may yet be that the use of locally produced materials will combine with regional responses to climate and produce a new paradigm of the regionally-based architecture which many people value in Europe's historic environments.

## **5. Professional support: A Green Vitruvius**

There is a growing consciousness of the environmental impacts and the significance of buildings in the processes of climate change, and most designers are now aware, in a general way, of actions which they may take to reduce damage to the atmosphere and to the people who use buildings. Many are less sure how to implement these actions in practice.

The culmination of a collaboration between University College Dublin, Softech, Suomen Arkkitehtiliitto and the Architects' Council of Europe, and part-funded by the European Commission's Thermie programme, *A Green Vitruvius* is a book intended as a single-point general reference for those wishing to design and realise sustainable architecture. *A Green Vitruvius* offers advice in the areas of energy and water inputs, materials, indoor air quality and wastes. The rational use of energy in buildings is pursued through maximising renewable energy inputs, minimising fossil fuel inputs, as well as general energy conservation. Materials are discussed with regard to energy-embodied, toxicity in use and optimising the use of renewable resources; however, as already noted, much research is yet to be done on the environmental aspects of building materials, and this book is a product of its time. The book recognises the reality of information overload, and *A Green Vitruvius* concentrates not on the 'why', but on the 'how' of green design.

2000 years ago the Roman architect Marcus Vitruvius Pollio wrote the ten books on architecture still referred to in every European architect's education. The concept of the architectural pattern book offering design principles as well as solutions is universally familiar; *A Green Vitruvius* is intended as a green pattern book for today.

The reference to green is not without its own resonance. To the Vitruvian triad of commodity, firmness and delight the authors postulate the addition of a fourth ideal: restitutas or restitution, restoration, reinstatement: where the act of building enhances its immediate and the global environment in an ecological, as well as visual sense.

Given the scale of the challenge inherent in complying with the Kyoto commitments, an enlightened policy framework and progressive industrial and professional responses are required in order to harness the full capacity of the building sector to contribute in the medium to long term to limiting these emissions. The architectural challenge represents a huge opportunity: to create an architecture which demonstrates a harmonious and sustainable relationship with its environment, in contrast with one which is resource-intensive and heavily polluting.

## References and bibliography

- Alcock R., King C., and Lewis J.O. 1998. *Solar Thermal Systems in Europe*. European Solar Industry Federation for EC DGXVII.
- Allard F. (ed) 1998. *Natural Ventilation in Buildings –a Design Handbook*. James and James (Science Publishers), London
- Anink D., Boonstra C., Mak J. 1996. *Handbook of Sustainable Building -an Environmental Preference Method for Selection on Materials for use in Construction and Refurbishment* James and James (Science Publishers) London.
- Baker Nick. 1995. *Energy and Environment in Non-Domestic Buildings: a Technical Design Guide* Cambridge, Cambridge Architectural Research for the RIBA, 69 pp.
- Baker Nick and Steemers Koen. 2001. *Daylight Design of Buildings* James and James (Science Publishers), London
- Burton Simon (Ed). 2001. *Energy-Efficient Office Refurbishment*. James and James (Science Publishers), London
- Fitzgerald E. & Lewis J. O. (eds.) 1996. *European Solar Architecture: Proceedings of the Solar House Contactors' Meeting in Barcelona Sept. 1995*, ERG UCD for EC.
- Fontoynt M. (ed), 1999. *Daylight Performance of Buildings*. James and James (Science Publishers), London
- Goulding J., Lewis, J.O., & Steemers T.C. (eds) 1992. *Energy Conscious Design - A Primer for European Architects; and Energy in Architecture -The European Passive Solar Handbook*, Batsford for EC.
- Halliday S P 1994 *Environmental Code of Practice for Buildings and their Services* Bracknell, Building Services Research and Information Association (BISRIA).
- Hawkes Dean. 1996 *The Environmental Tradition* London, Spon.
- Lewis J.O. and Goulding J. (eds) 1999 *European Directory of Sustainable, Energy-Efficient Building: Components, Services, Products*. James and James (Science Publishers).
- O Cofaigh, E. et al 1999. *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. James and James (Science Publishers) for the European Commission DGXVII and the Architects' Council of Europe.
- O Cofaigh E., Olley,J., and Lewis J. O. 1996. *The Climatic Dwelling*. James and James (Science Publishers).
- Peuser Felix, Remmers K-H and Schnauss M. 2002 *Solar Thermal Systems* . James and James (Science Publishers), London
- Randall Thomas (Ed) 1996. *Environmental Design: An Introduction for Architects and Engineers* London, Spon
- Santamouris M. 2000. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. James and James (Science Publishers), London
- Santamouris M. and Asimakopoulous D. 1996. *Passive Cooling of Buildings*. James and James (Science Publishers), London.
- Union Internationale des Architectes (1993). *Declaration of Interdependence for a Sustainable Future*. UIA/AIA World Congress of Architects, Chicago, 18–21 June.
- Sick Friedrich and Egge Thomas (Eds). *Photovoltaics in Buildings –a design handbook for architects and engineers* . James and James (Science Publishers), London

## Websites

<http://erg.ucd.ie/>

Energy Research Group, University College Dublin website has a listing of publications in the field of energy efficient design and technologies; and many freely-downloadable EC publications and hosted websites for EC DG Research and TREN supported projects.

<http://www.egbf.org>

European Green Building Forum website, hosting useful portal, case studies etc.

# **SOLAR ENERGY IN EUROPEAN OFFICE BUILDINGS –DESIGN ISSUES AND SOLUTIONS**

Professor J. Owen Lewis  
School of Architecture, University College Dublin  
Richview, Clonskeagh, Dublin 14, Ireland  
Tel: +353.1-716 1868  
Fax: +353.1-716 1156  
E-mail: lewis@erg.ucd.ie

## **Abstract**

In their daily work architects suffer from information overload and tend to protect themselves by filtering this information in order to make decisions. Reliance on previous experience for design decisions has the advantage that the solutions used have been tested and shown to be reliable. However, the growing emphasis on environmental considerations demand that the architect is informed and educated about new developments, and aware of the implications for design, practice, liability, and quality control. Solar design can appear complex and expensive. The materials in the package underlying this text demonstrate that it also encompasses simple measures, such as siting and orientation, the manipulation of the building envelope to optimise its passive potential, careful selection of building materials - matters at the core of architectural design.

## **1. Introduction**

It is estimated that there are over 400 million square metres of office space in the EU. This figure represents all kinds of offices, including office space in industrial premises or non-commercial institutions, as well as buildings which may have been built originally for other purposes.

As a building type offices rank high as consumers of energy, particularly of electricity. Annual energy consumption in European office buildings ranges from 100 to 1000 kW/m<sup>2</sup>, depending on location, use, hours of operation, building form and fabric and the type of installed services. And while CO<sub>2</sub> emissions in other building types have stabilised or fallen in recent years, in offices they have tended to increase because of increased use of IT and of air-conditioning.

The specificity of the office as a building type - its scale, form, organisation of internal spaces, occupation densities and hours of use - has implications for the use of solar energy which are quite different from those which apply, for example, to residential buildings. As a building type, the office presents possibilities for solar and energy-saving applications at very satisfactory levels of cost-effectiveness. Even where solar design involves increased capital costs, which is by no means always the case, payback comes in the form of reduced running costs and reduced dependence on mechanical systems.

But, of equal interest is the potential to produce buildings of quality -more comfortable, more attractive, more stimulating to be in- which can improve productivity in the short term and, over the long term, the health and well-being of the users. These are opportunities that ought not to be missed.

## **2. The objective**

At EU latitudes it is usually unrealistic to expect solar energy to meet all, or even most, of the energy demands of an office building. What is entirely feasible is to use passive and active solar strategies to reduce overall energy demand. Conventional services are then used, in an energy-efficient manner, to meet the remaining needs. The real objective is to create, within realistic cost and time constraints, a comfortable, enjoyable and healthy working environment

in which the use of fossil-fuel based energies is as low as it can be. How that objective is achieved will vary from building to building. Successful projects tend to have three common characteristics:

- Energy and environmental issues are considered from the outset.
- Interaction between passive and active solar systems, and between solar and conventional systems, is carefully planned to create an integrated whole.
- All parties are involved in decision making: client, architect, engineer, building economist, and, in addition the people who will be responsible for managing the building in use.

Getting the concept right is fundamental. The very early stages of the design process - analysing the client's needs, responding to the site, choosing orientation, layout and massing, and preliminary assessment of life-cycle costs - are crucial. Good choices at this stage will allow a natural flow of sustainable design decisions to flow through to the details. Poor choices will ensure a continuing struggle, with one stratagem after another being adopted to correct intrinsic problems. This state of affairs is likely to last for the lifetime of the building.

### **3. Architects and low energy design**

*'Architectural design is a very complex procedure because the end product is a complex object produced to serve many needs ranging from the most abstract, poetic and philosophical to the most practical, economic and mundane. What happens all too often is that, depending on different external factors or his own knowledge or interests, the architect tends to isolate and develop only a small number of the parameters that should be involved. Thus we find that on many occasions, influenced by the trend of the times, buildings are exaggerated in one or more aspects, while at the same time they neglect many other issues of vital importance'*

.Alexandros Tombazis, Architect, Athens.

Technology has allowed us to isolate buildings from their context. Buildings which are designed in spite of their site, climate and environment must rely on technology to restore the balance. As architects are increasingly aware, this is an extravagance which the planet can no longer afford. There is growing demand from architects for material which relates to the 'how' of solar and energy-conscious design. This course has been prepared for architects who, while they may be aware of the issues, are not proficient in environment-friendly design.

The scientific and technical aspects of solar or low-energy architecture are sometimes separated from the cultural, social and aesthetic qualities of architectural design. This can inhibit the architect, leading him/her to believe that low-energy design places restrictions and limitations on the potential for appropriate and beautiful buildings, when in fact the opposite is true.

Solar design can appear complex and expensive; photovoltaics, solar collectors, transparent insulation, extravagant energy management systems. The materials in the package underlying this text demonstrate that it also encompasses simple measures, such as siting and orientation, the manipulation of the building envelope to optimise its passive potential, careful selection of building materials - matters at the core of architectural design.

The building industry is rooted in a culture of conservatism, and for very good reasons. The responsibility of building design and the associated liability in today's litigious society weighs heavily on the shoulders of the architect. But culture and society are changing, clients expect environmentally responsible design, and legislation increasingly demands it. Architects must lead the way and equip themselves with information in order to respond to the challenge.

In their daily work architects are vulnerable to information overload and tend to protect themselves by filtering this information in order to make decisions. Reliance on previous experience for design decisions has the advantage that the solutions used have been tested and shown to be reliable. However, the growing emphasis on environmental considerations demand that the architect is informed and educated about new developments, and aware of

the implications for design, practice, liability, and quality control.

Solar and low-energy design requires action on many fronts and critical decisions at different design stages. The architect relies on the other members of the design team to supply specialist information. The manner and timing of information input follows well-understood patterns of professional interaction. But solar design demands changes in the traditional relationships between architect, engineer, energy manager and building economist.

Architects need in particular to develop a new awareness of the services that could be provided by the engineer from the conceptual design stage, through detail design, analysis and testing of proposals, and monitoring of performance. Engineers in their turn must revise their perceptions of their role in the building design process, and be prepared to be involved from the outset of the design stage. Changing expectations require that both architect and engineer share responsibility and collaborate in such a way that input from the engineer is timed to be effective.

#### **4. Passive solar heating**

Solar energy can reduce the auxiliary heating costs in office buildings, without compromising occupant comfort. Thermal storage, efficient solar control, and shading devices are important and necessary components in buildings which make good use of passive solar energy. Solar heating strategies for office buildings should always be integrated with other energy saving measures, including lighting, ventilation and cooling.

Although the heating needs of office buildings are usually modest, it is nonetheless often necessary at certain times of the year to heat a building in the morning. Solar gains may contribute, thereby reducing the need for auxiliary heating.

The notion that heat gains from lighting, computers and other equipment render solar gains superfluous in commercial buildings is contradicted by field studies which indicate that lights and equipment are actually switched on for less time than is conventionally assumed. New office equipment reduces to very low power levels during standby. Furthermore, electricity consumption is drastically reduced when daylighting with smart controls is implemented.

Nevertheless, the usefulness of passive solar energy clearly depends on the extent and timing of internal gains from lighting, electrical equipment, and people. There is no way to avoid these internal heat sources, except by selecting equipment which uses little electricity or turning it off when not needed. Solar gains, on the other hand, may be controlled by appropriately sizing and orienting windows, and using shading devices. Thus from a design point of view, internal gains must be regarded as a primary heat source.

Of course, office buildings in regions with warm climates have less significant heating needs. However, even in warm areas, heating is essential in the absence of solar gains. Simulations concerning a modern office building, well-insulated and incorporating the latest technologies (the Nixdorf Building near Zurich), were performed within the framework of IEA Solar Heating and Cooling Task XI. These simulations used climatic data for Oslo, Zurich and Rome. Although the building is heavily insulated, solar gains met between 6 and 32% of its heating requirements (depending on the location and the time of year). If the building were located in Rome, solar and internal gains would be sufficient to heat it.

In cities, during the winter, it is often difficult to capture even small quantities of solar radiation because of neighbouring buildings. The legal definition of a right to sunlight may be an important issue. Various tools are available to facilitate solar geometry calculations. The availability of solar radiation on a given surface depends on its exposure and its slope. In the case of vertical surfaces, those facing south receive the largest quantity of radiation in winter throughout all of Europe. For southeast and southwest orientations, radiation decreases by about 20% during the heating season. However, during the summer surfaces facing east and west may receive more solar radiation than those vertical surfaces orientated towards the south, particularly at lower latitudes. This can lead to overheating due to the difficulty of protecting these surfaces from a sun low on the horizon. Inclined glazing performs better in winter but may create overheating in summer.

Because glass provides relatively poor insulation, a balance must be struck between useful solar gains and conduction losses in determining the appropriate glazing ratio.

Ventilation air can be preheated if air in collecting spaces such as atria and sunspaces is put

to use. There are several strategies for reducing heating energy consumed in an atrium building. All atria act as buffers for their adjacent spaces, reducing their heat loss. The energy savings in the adjacent spaces partially offset the atrium heating energy requirements. Some atria also reduce total building heating requirements, acting as buffers during the coldest parts of the heating season and contributing heat to adjacent spaces when more solar energy is available.

To ensure that the incorporation of an atrium does not lead to higher energy consumption

- Natural light in the space must be maximised to provide lighting to adjacent rooms and eliminate artificial lighting in the atrium during the day.
- The atrium must be supplied with fresh air to provide natural ventilation of the adjacent rooms (if feasible with local fire regulations).
- Movable shades and high ventilation rates are vital in summer to prevent overheating.

**Opaque walls:** part of the incident solar energy is absorbed while the remainder is reflected. Some of this absorbed solar energy is diffused to the other side of the wall after a certain time lag. Solar gains through an opaque element are also the product of the incident angle of solar beams, the orientation and the inclination of the wall, the colour and aspect of the surface of material used. Dark, unpolished surfaces absorb more solar energy than do light coloured polished ones.

Heat collection through walls applies mainly in hot climates where the heat absorbed during the day can be re-emitted through in-insulated walls to warm the interior at night. In colder climates heat losses would exceed heat gains unless the wall is insulated - in which case solar gains transmitted through the wall to the interior be negligible. However, the performance of opaque walls can be substantially improved through the use of transparent insulation, which provides distinct advantages, particularly in mild or cold and sunny climates.

**Storage** of solar energy is important in office buildings to reduce overheating and to make the best use of passive solar gains. Thermal storage requirements are quite different from those of residential buildings because of the different occupancy patterns, and characteristic constructions. To take full advantage of heat storage, the interior floors and walls of an office building must have a great deal of inertia, and the mass to be heated must not be insulated from solar radiation falling on the walls. This can be difficult to achieve given modern office design, where carpeting and light suspended ceilings are used to reduce noise and interior partitions are concealed behind furniture.

**Conservation:** In cold climates, heat losses transmitted by conduction, convection, and radiation as well as those due to ventilation or undesirable air infiltrations have to be kept to a minimum. The ability of a building to conserve heat is determined primarily by the form and the nature of the envelope. The shape of the building plays an important role as it determines the surface area of the external envelope. As heat losses are proportional to the envelope surface area, the more compact a building, the smaller its heat losses. In the case of non-rectangular plan shapes or of complicated cross-sections, joints between building elements in different planes threaten to cause thermal bridges and leakages.

In organizing the building spaces, it is sensible to make use of thermal zoning to create a rational distribution of heat and to reduce thermal losses. For instance, face the rooms with a high energy demand south and put other spaces on the north side of the building. Alternatively, the "hot core" of the building can be surrounded by concentric zones of rooms with decreasing temperature requirements. To optimize energy usage, it's important to analyse present, and if possible, future energy needs of end users in all parts of a building, tailoring interior plans and mechanical heating, lighting, cooling, and ventilation systems to meet these needs:

- Areas with similar energy requirements or interdependent functions should be grouped together.
- Areas requiring lower levels of environmental comfort, such as entrances and storage space, should be used as buffer zones to protect comfort sensitive sections.

- Areas producing surplus energy should be located adjacent to sections requiring supplementary energy.

**Conclusion:** The judicious use of solar energy and, more generally, the adaptation of a building to the local climate can lead to a significant decrease in needs for heating, artificial lighting and cooling. Moreover, buildings integrating climatic concepts may continue to function at some level even if the temperature-control system breaks down. In contrast, building designs that ignore these principles and are totally dependent on air-conditioning systems become unusable if the system falters. The three concepts of heating, cooling and daylighting with skilled design, may be incorporated without any conflict.

## 5. Natural Cooling and Ventilation

Cooling is the transfer of energy from a space, or from the air supplied to a space, in order to achieve lower temperature and/or humidity levels than those of the natural surroundings. Cooling processes can range from simple intuitive applications of natural cooling techniques, such as shading, evaporative cooling and ventilation to enhance comfort, to mechanical cooling systems, and air conditioning based on mechanical refrigeration cycles. The growth in energy consumption for the cooling of commercial buildings is a matter of very considerable concern throughout Europe.

“Natural and passive cooling” covers all natural processes and techniques for heat dissipation and modulation, as well as for overheating protection. Passive cooling techniques are also closely linked to the thermal comfort of occupants. In fact, some of the techniques used for passive cooling do not reduce the cooling load of the building itself, but instead extend occupants’ tolerance limits for thermal comfort in a given space.

Combining different passive and natural cooling techniques, it is possible to prevent overheating problems, decrease cooling loads and improve indoor thermal comfort. It is also possible to increase the effectiveness of passive cooling with mechanically assisted heat transfer techniques which enhance the natural cooling processes with “hybrid” cooling systems. Energy use is maintained at very low levels, but the efficiency of the systems and their applicability is greatly improved.

**Microclimate:** Plants can be used effectively for reducing insolation, providing shade during summer and improving ventilation conditions in buildings. They should be carefully chosen considering shape and character both in winter and summer. Broadleaved and deciduous trees are very useful as they drop their foliage in the autumn and permit solar access during winter.

The principal factors to be considered in the selection of deciduous trees are the mature height, growth rate, leaf appearance and fall patterns and distance of branches from the ground. The position of plants relative to the building should be carefully chosen in order to provide appropriate shading: most beneficial is shading of the windows. Horizontal shading, like pergolas, is preferable on the south side, as the sun is at a high position at this orientation. Trees on east-south-east and west-south-west sides act beneficially as the sun is at low altitudes in the morning and late afternoon. Bushes can be used as shading devices for east and west windows. In addition, climbing plants on the walls reduce the solar heating penetrating through the building’s envelope. Trees and bushes can also be appropriately positioned to improve ventilation conditions in and around the building, by guiding more of the cooling breezes into the building. Windbreaks on the windward side should be positioned at a distance not more than 1 to 1.5 times the height of the building.

The roof is the part of the building that absorbs the most solar radiation during summer. Grass planting on the roof sharply reduces the roof’s surface temperature and consequently the air temperature of the space below. Other solutions include simple horizontal vine covered trellis, trees and bushes planted in lightweight soils, and even the creation of fountains and pools.

**Solar control** is a key part of any natural cooling strategy. It may be achieved through appropriate combination of building orientation, size and tilt of the various openings on the

building's envelope, correct specification of the thermal properties of the glazed surfaces, and provision of appropriate shading.

The building itself (L or U-shapes, for example; roof overhangs, balconies, arcades, side walls and courtyards) may have a shading effect on some external surfaces. Shading devices may be external intermediate or internal, fixed or adjustable, or a combination of these. External shading is more efficient than internal, because it obstructs the incident radiation before it reaches building surfaces and is admitted. On the other hand internal shading is of lower cost and easier to control. Devices that cannot be adjusted to follow sun angles (fixed shading elements: horizontal overhangs, vertical fins, louvers, light-shelves) offer only partial solar control. On the other hand, adjustable shading elements (tents, awnings, blinds, pergolas, curtains, rollers, venetian blinds) require either manual or automatic intervention to be lifted, rolled or drawn back in response to radiation and daylight levels.

**Thermal mass** has a positive effect on indoor conditions during summer and winter periods, as already noted. Optimisation of thermal mass levels depends on the properties of building materials, building orientation, thermal insulation and the location of the mass, ventilation, climatic conditions, use of auxiliary cooling systems, and occupancy patterns.

**Natural ventilation** is the single most important passive cooling technique. In general, ventilation (passive, hybrid or mechanical) is also necessary to maintain required levels of oxygen and air quality in a space. Traditionally, ventilation requirements were achieved by natural means. In the majority of older buildings, infiltration levels were such as to provide considerable amounts of outdoor air, while additional requirements were satisfied by simply opening the windows.

Modern construction has reduced air infiltration to a minimum in an attempt to reduce its impact on the cooling or heating load. Better construction has resulted in buildings isolated from the outdoor environment. In particular, the construction of large glass-walled sealed office buildings has further eliminated the possibility of using natural ventilation for supplying fresh air to indoor spaces. Provided that outdoor climatic conditions are favourable, the use of natural ventilation can reduce the cooling load, enhance thermal comfort conditions, and maintain indoor air quality.

Natural ventilation is driven by pressure differences due to wind outside the building and/or differences in air temperature inside the building. Natural ventilation is achieved by infiltration and/or by allowing air to flow by opening vents windows and doors. The effectiveness of natural ventilation techniques is determined by the prevailing outdoor conditions and microclimate, and the building's characteristics (orientation; number, size, location of openings).

Successful design of a naturally ventilated building requires a good understanding of the air flow patterns around it and the effect of neighbouring buildings. The objective is to ventilate the largest possible part of the indoor space, which will depend on window location, interior design and wind characteristics. New buildings generally allow for 0.2-0.5 air changes per hour (ACH) by infiltration, while with the windows wide open during summer, it is possible to achieve 15-20 ACH. Even larger air changes, around 30 ACH, can be achieved by natural means, but this requires a large number of window openings carefully placed about the space.

**Evaporative cooling** uses the effect of evaporation as a natural heat sink. Sensible heat from the air is absorbed as water in its liquid phase is changed to water vapour. The amount depends on the amount of water that can be evaporated. Evaporative cooling is a very old process, with origins thousand years ago in ancient Egypt and Persia. Modern evaporative coolers are based on prototypes built in the early 1900s in the United States.

Evaporative cooling can be direct or indirect, passive or hybrid. In direct evaporative cooling, the water content of the cooled air increases because air is in contact with the evaporated water. In indirect evaporative cooling, evaporation occurs inside a heat exchanger and the water content of the cooled air remains unchanged. Since high evaporation rates might

increase relative humidity and create discomfort, direct evaporative cooling can be applied only in places where relative humidity is very low.

**Ground cooling** is based on heat dissipation from a building to the ground, which during the cooling season has a temperature lower than the outdoor air. This dissipation can be achieved either by direct contact of a significant section of the building envelope with the ground, or by injecting air that has been previously circulated underground into the building, usually by means of earth-to-air heat exchangers.

**Radiant cooling** is based on heat loss by long wave radiation emission from one body towards another of lower temperature, the heat sink. In the case of buildings the cooled body is the building and the heat sink is the sky. There are two methods of applying radiant cooling in buildings: direct, or passive radiant cooling, and hybrid radiant cooling. In the first, the building envelope radiates towards the sky and gets cooler, producing heat loss from the interior of the building. The part of the building envelope that radiates most is a flat roof. In the second case, the radiator is not the building envelope but usually a metal plate. The operation of such a radiator is the opposite of an air flat-plate solar collector. Air is cooled by circulating under the metal plate before being introduced into the building. Other systems are combinations of these two configurations.

The main problem associated with radiant cooling techniques is that they cannot be applied in humid areas, since atmospheric humidity absorbs long wave radiation. An additional problem is the cost of some systems. Radiators incorporated into the structural elements increase the cost of the building; sophisticated mechanisms for movable parts may be required, the structure of the building may need to be reinforced to support the weight of additional thermal mass in the roof, or additional treatment against damp is required where a movable water mass is involved. For these reason radiant cooling is not yet widespread and further research on practical applications is required.

## 6. Daylight

In the latter part of the previous century daylight became a minor issue because of the availability of efficient electric light sources, cheap abundant electricity, and the perceived superiority of artificial lighting. The energy crisis of the 1970s led to a re-examination of the potential for daylighting. In the beginning the energy implications were emphasized, but now daylight is also valued for its aesthetic possibilities and its ability to satisfy biological needs.

Offices often devote half of their energy consumption to lighting. Since office buildings are used primarily during daytime, a large proportion of the energy load can be eliminated by the utilization of daylight. The substitution of daylight for artificial light can provide energy savings in the range of 35 to 75%, provided that electric lighting installations are properly controlled.

In order to achieve maximum benefit from daylight an understanding of the interactions of elements in the built environment is required. The admission of daylight into buildings is associated with problems of heat exchange, noise, fire protection, security, rain and the effect of daylight and solar radiation on materials. The quantity and quality of light depends on the size of the window, its location, glazing type, shading type, orientation and obstructions. These design parameters are closely related to basic architectural considerations such as glare, heat balance, acoustic interference and views out.

Thus use of daylight has some inherent conflicts. To maximise daylight and save electricity the windows should be as large as possible. During the winter these may give rise to heat losses, and in summer to excessive heat gains and an increase in the cooling load. Daylight cannot be seen as a stand-alone parameter. The design of the building and its energy systems must be considered as a whole, taking thermal and visual comfort into consideration if use of daylight is to result in energy savings.

The qualitative aspects of human requirements for the interior environment are often expressed by visual and thermal comfort, but there are few parallels between the two comfort criteria. While the optimal thermal condition is achieved when occupants do not feel any need for a change towards warmer or colder conditions, visual comfort is a much more complex concept. The visual environment has more in common with the acoustic

environment, since both are related to receiving a message, rather than just referring to a state of neutral perception of the environment.

Subjective visual appearance will depend upon adaptation which is governed by the luminances of the various elements within the field of view, the sizes of the areas involved and their location. Glare occurs whenever one part of an interior is much brighter than the general brightness in the interior. The most common glare sources are luminaires and windows, seen directly or by reflection. Veiling reflections are high luminance reflections which overlay the detail of the task; they may therefore affect task performance and cause discomfort.

Light, besides being indispensable for visual perception, also regulates metabolic processes in the human body, and exerts an influence on its immunological state. Lighting conditions indoors also have a considerable influence on the state of mind, and so affect the psychological, psycho-emotional and general health of human beings. Daylight is also involved in the setting of the “biological clock” and its associated rhythms. A lack of light for long periods, as during the winter seasons in very high latitudes, can also manifest itself as seasonal affective disorder (SAD) where a general lethargy and depression may set in at the onset of winter

Daylight strategies will take account of

- collection of daylight (depending of orientation, window size etc.)
- distribution of light (depending of the use of the space)
- protection (to avoid overheating and glare) and
- control of electric light.

Deep spaces lit by conventional windows can produce unacceptable glare due to contrast between sky brightness close to the window and the relatively dark areas of the interior spaces. Additional reflected sunlight will increase the general light level by lighting the ceiling. This will reduce contrast and consequently reduce discomfort due to glare. Light-shelves are flat or curved elements in the window aperture above eye level. They redirect the incoming light and at the same time protect occupants from direct sun penetration.

Prismatic panels control transmitted light by refraction. The direction of the incoming daylight is changed by passing through a prism. Glare due to the sky brightness seen through a conventional window can be effectively reduced by these panels; but with fixed prismatic panels the view out is permanently obscured. And the cost can be considerably higher than conventional windows.

Holographic optical elements bend light by diffraction. The principle is that windows are coated with a transparent coating with an invisible diffraction pattern. The window will then deflect transmitted direct and diffuse solar radiation over a well defined angle. Studies have shown that the performance of holographic optical elements is very poor under overcast sky conditions. But when used under sunny conditions the elements can be sun-shading and light-directing devices in combination.

Floor reflectance is generally low, and often omitted from artificial lighting calculations. However, it may have a considerable effect on daylight distribution, particularly in large interiors. Light-coloured ceilings and walls improve the penetration of daylight deep into the interior and reduce the contrast between the bright windows and the other surfaces. The externally reflected components of daylight in some circumstances can contribute significantly to indoor illuminance, particularly in the deeper parts of large interiors. External obstructions reduce the view of the sky through the windows. They can be divided into two main groups

- obstructing surfaces which are part of the building and which can be modified during the design process (overhangs, balconies, shading devices) and
- ‘natural’ obstructions such as trees, sloping terrain, and structures of all kinds.

To realise electricity savings it is necessary to install control systems which make it possible to vary the artificial lighting levels according to actual daylight levels and use of the building. If not, the lights will be often switched on when first needed and not turned off until the

occupants are leaving the building in the evening. But it is important to be aware of reactions to these control systems: if control is purely automatic with no possibility for the occupants to override it, user satisfaction is often low and generally energy is wasted. Energy waste can occur when occupants block the sensors to ensure that artificial light is not turned off, even when the amount of daylight is sufficient.

Finally, dirty windows, dusty luminaires and grubby walls will reduce the effectiveness of both daylight and artificial light. Dirt on vertical windows can reduce performance by 10% or more, and there is no limit to the reduction in performance if dirt is allowed to build up on rooflights

## 7. Active Solar Heating and Photovoltaics

The limited heating needs of a new office building reduce the cost-effectiveness of active heating systems. However, the building still has a significant requirement for ventilation air. There can also be specific needs for hot water, particularly if the building includes an institutional kitchen. Hence the attraction of solar preheating in suitable climates.

The fraction of the ventilation air heating which can be met by the installation of solar collectors depends on several factors, including:

- The latitude at which the site is located
- The type of installation: how large a surface area will the collectors occupy? Will there be storage to compensate for fluctuations in solar energy?
- The configuration of the system: Will the system be used only for heating ventilation air or will it contribute to heating the building?

Solar energy can meet 50% of ventilation air heating needs in southern Europe. In cooler countries, a system of preheating by recovery of heat from the extracted air is probably more suitable, since it operates continuously. A considerable variety of reliable systems is available for solar space and water heating.

Generating electricity using **photovoltaic** or solar cells can be effective even in cloudy weather, and the devices operate more efficiently at low air temperatures. Photovoltaic (PV) systems have no moving parts, are noiseless and produce no emissions in operation. Because they are assembled in modules there are no limits, other than available space, to the size of an installation. They are most suited to buildings, such as offices, where peak electricity demand generally corresponds to daylight hours. Quite large PV installations fully integrated into building facades have been realised.

Maintenance of the PV panels themselves is low and their life is estimated at approximately 20 years. As panel temperature rises, efficiency falls, so the panels are more effective as rainscreen over-cladding with back ventilation than as front-sealed construction technology. It has been suggested that integrating PV panels into facade or roof structures may add only 2% to the cost of a typical commercial building, and provide one third of its electricity requirements. These figures are debated, but payback is improved if the heat removed by the back ventilation is captured to contribute to heating the building.

**Conclusion:** Solar heating systems for office buildings are in many cases a reasonable investment in southern Europe, and in northern Europe when they replace electric heating. In the office buildings sector, economies of scale resulting from large requirements tend to reduce the costs, but the higher rates of return which are generally required make the economics less favourable. Photovoltaics have advanced in reliability and sophistication in the last decade. The cost of PV cells is continuing to fall rapidly and the economics of photovoltaics are beginning to approach affordable levels for large scale prestige use in the mainstream market. PV is already cost-effective in certain off-grid installations. The use of a solar system may also benefit companies through the promotion of an environment-conscious image.

## Acknowledgement and References

This text draws extensively from material prepared within an EC ALTENER programme project which developed an integrated package of teaching materials on solar energy and energy efficiency in office buildings. The project focused on mid-career education and the primary audience targeted by the project consisted of the organisers and instructors of mid-career courses for building professionals in the fifteen EU Member States. The package includes eight Technical Modules, with four exemplar Case Studies, one of which covers the refurbishment of an existing building, and a training software program. Finally, the package also includes four Instructor's Modules, one for each of the four target audiences.

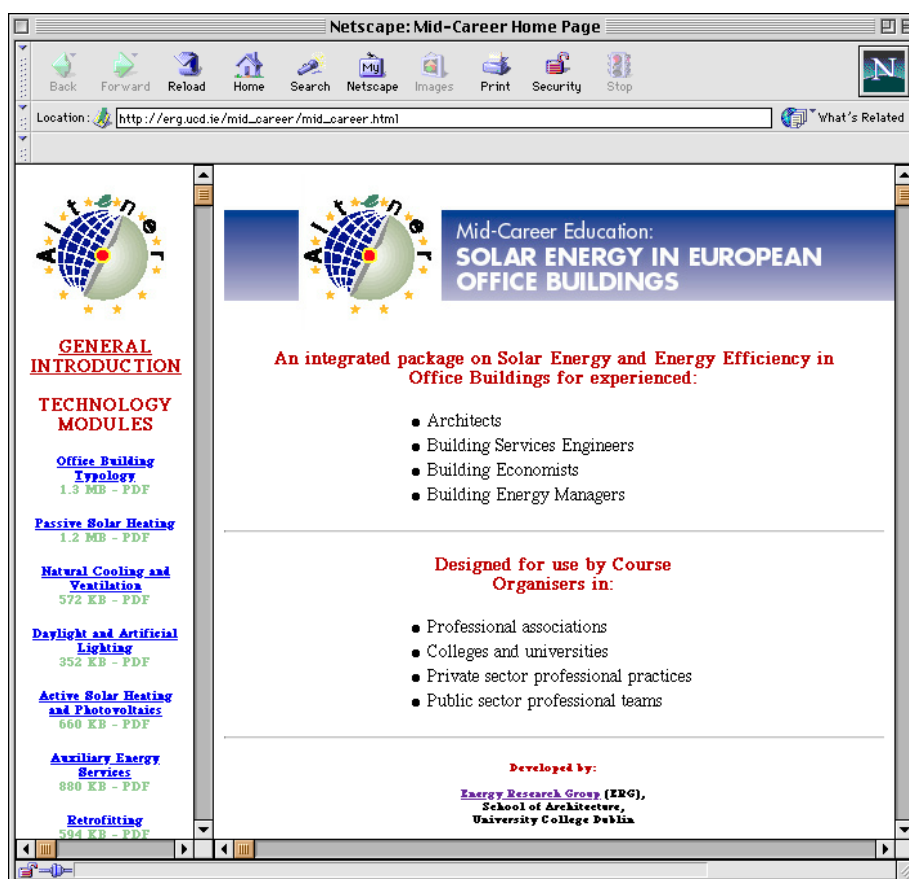
The ALTENER Project "Mid-Career Education: Solar Energy in European Office Buildings" was part-funded by the European Commission Directorate-General XVII for Energy within Contract No. XVII/4.1030/AL/77/95/IRL.

The collaborating partners were

- Architecture et Climat, Centre de Recherches en Architecture (CRA), Université Catholique de Louvain.
- Central Institution for Energy Efficiency Education (CIENE), Department of Applied Physics, University of Athens.
- Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin, Co-ordinator.
- Esbensen Consulting Engineers, Copenhagen.

The full package is available for free download on the World Wide Web at

[http://erg.ucd.ie/mid\\_career/mid\\_career.html](http://erg.ucd.ie/mid_career/mid_career.html)



# **ENERGIEEINSATZ IN BÜROGEBÄUDEN - FAKTEN, KONZEPTE UND BEISPIELHAFTE BAUTEN AUF DEM WEG ZU HO- HER ARBEITSPLATZQUALITÄT BEI GERINGEM ENERGIEVERBRAUCH**

Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss,  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, seit April 2003 Professor für Bau-  
physik und Technische Gebäudeausrüstung an der Universität Wuppertal

Dr. Günter Löhnert,  
solidar Architekten und Ingenieure, Berlin

Prof. Andreas Wagner  
Professor für Bauphysik und Technischer Ausbau an der Universität Karlsruhe

## **Kurzfassung**

Niedrigenergie- und Passivhäuser sind heute gängige Themen der Planungs- und Baupraxis bei Wohngebäuden. Ein anderes Bild zeigt sich im Nichtwohnungsbau. Um diesen Sektor zu erschließen, fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen des Förderprogramms Solaroptimiertes Bauen – kurz SolarBau - daher bereits seit 1995 Forschung und Demonstration auf dem Gebiet energiesparender Gebäude des Nichtwohnungsbaus. Neben einer Primärenergiekennzahl von 100 kWh/m<sup>2</sup>a als Zielwert für die gesamte technische Gebäudeausrüstung wird ein Verzicht auf aktive Kühlung und die sinnvolle Integration erneuerbarer Energien in die Energieversorgung gefordert. Zielsetzung aller Demonstrationbauten ist die Verbindung von hoher Arbeitsplatzqualität mit geringem Energieverbrauch. Die Förderung stellt keine Investitionszuschüsse zur Verfügung sondern unterstützt gezielt den Planungsmehraufwand und die messtechnische Erfolgskontrolle. Der vorliegende Beitrag berichtet über die Hintergründe, die durchgeführten Projekte und ein erstes Fazit.

Hinweis: Umfangreiche Zusatzinformation befindet sich unter „ <a href="http://www.solarbau.de">http://www.solarbau.de</a> “ im Internet.
--

## **1. Einleitung**

Der Energieverbrauch von Bürogebäuden ist bis heute nur selten zentraler Gegenstand des Interesses ihrer Bauherren und Planer. Zahlreiche Bürobauten der 80-er Jahre wurden zu Lasten des Energieverbrauchs daraufhin ausgerichtet, eine möglichst vollständige Entkopplung des Innenklimas vom Außenklima zu erreichen. Der thermische und visuelle Komfort in Büroräumen wird von der umfangreichen technischen Gebäudeausrüstung (TGA) für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung gewährleistet. Diese TGA wiederum ist zu Lasten der Investitionskosten so auszulegen, dass sie auch die durch eine großzügig verglaste Gebäudehülle extremen Betriebszustände beherrscht. In Verbindung mit den Ansprüchen an eine zeitgemäße Kommunikationstechnik – Doppelböden, abgehängte Decken – werden so nicht selten 20-30% des Bauwerksvolumens von der Technik eingenommen. Der überwiegende Teil des Stromverbrauchs wird nicht durch die Bürogeräte sondern durch die TGA verursacht [1,2].

Trotz der mit dem Stromverbrauch verbundenen Wärmeentwicklung im Gebäude (internen Wärmequellen) treten aufgrund des hohen Verglasungsanteils und der hohen Lüfterneuerungsraten hohe Wärmeverbräuche für die Raumheizung auf. Ein typisches Energieverbrauchsprofil als Funktion der Außentemperatur zeigt qualitativ Abbildung 1. Zusätzlich zu einem klimaunabhängigen Sockelbetrag des Energieverbrauchs wird unterhalb der Gleichgewichtstemperatur geheizt und befeuchtet, darüber gekühlt und entfeuchtet. Der Sockelbetrag resultiert aus der Geräteausstattung und dem Leerlaufbetrieb der technischen Gebäu-

deausrüstung. Dieser Sockelbetrag beeinflusst durch seine Abwärme die Lage der Gleichgewichtstemperatur: Je höher der Sockelbetrag ist, desto niedriger fällt die Gleichgewichtstemperatur aus. Darüber hinaus folgt die Zuordnung von Betriebstagen im jeweiligen Modus – Heizen / Kühlen - aus der Jahresdauerlinie der Außentemperatur nach Abbildung 2.

Bedingt durch die Entkopplung der Raumluft von der Gebäudemasse - abgehängte Decke, Doppelboden, Leichtbauwände – und das Ziel eines ganzjährig möglichst gleichmäßigen Innenraumklimas existieren in der Praxis kaum Tage, an denen weder geheizt noch gekühlt wird. Zeitweise wechseln sich zu Lasten des Energieverbrauchs Heizen und Kühlen im Tagesverlauf oder örtlich im Gebäude ab.

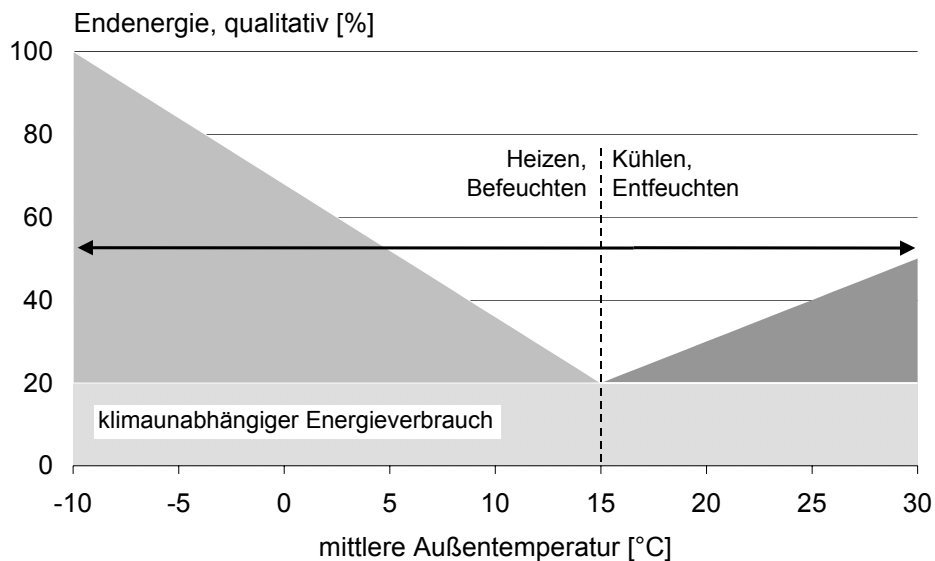


Abbildung 1: Qualitativer Verlauf des Endenergieverbrauchs eines Bürogebäudes aus dem Bestand mit mäßigem Wärmeschutz und aktiver Kühlung. Dargestellt ist die Abhängigkeit des Gesamtverbrauchs (TGA und Geräte) von der Außentemperatur auf der Basis von Tagesmittelwerten.

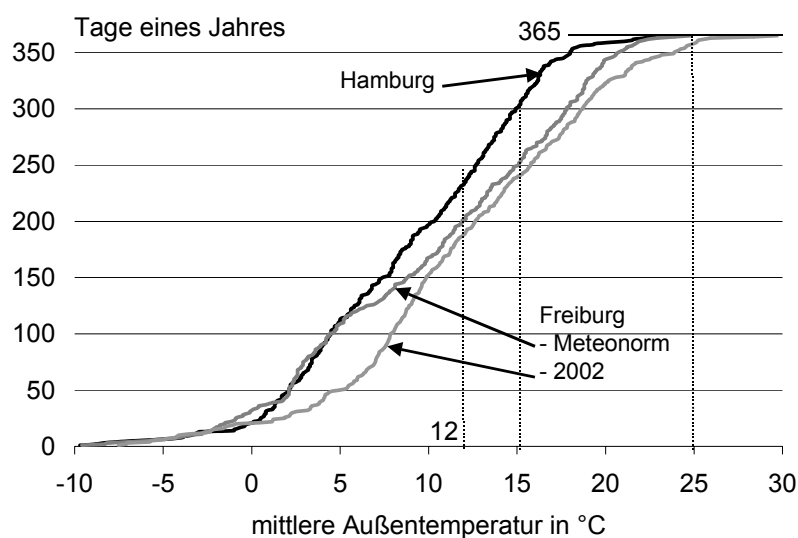


Abbildung 2: Sortierte Jahresdauerlinie der Außentemperatur für zwei Standorte in Deutschland. Basis sind Tagesmittelwerte der Außentemperatur nach METEONORM und Messungen der Klimastation des Fraunhofer ISE in Freiburg für das Jahr 2002.

Die vielfältigen technischen Bemühungen um ein gutes Raumklima wurden immer wieder begleitet von Klagen des Büropersonals über Befindlichkeitsstörungen unterschiedlichster Art, die unter dem sogenannten „Sick Building Syndrome“ zusammengefasst werden [3]. Eine aus diesem Anlass durchgeführte Studie, das sogenannte „ProKlima-Projekt“, kommt zu dem Ergebnis, dass Gebäude mit Klimaanlage zwar ein objektiv gutes Raumklima erreichen, von der Mehrzahl der befragten Personen jedoch trotzdem deutlich ungünstiger als natürliche belüftete Arbeitsplätze subjektiv bewertet werden [4]. Maßgeblichen Einfluss auf die Bewertung nehmen der Grad an individueller Beeinflussbarkeit des Raumklimas am Arbeitsplatz.

Neuerliche Tendenzen in der Architektur nehmen die Kritikpunkte der Nutzer auf. In zunehmenden Maße werden Bürogebäude realisiert, die ein hohes Maß an individueller Einflussnahme auf das Raumklima zulassen und die weitgehend Entkopplung vom Außenklima durch eine moderate Ankopplung ersetzen. Tageslichtorientierte Arbeitsplätze gehören ebenso wie die Möglichkeit zur freien Lüftung durch öffnensbare Fenster zu den Merkmalen solcher Gebäude. Der Verzicht auf eine sommerliche Aufbereitung der Zuluft durch aktives Kühlen oder Entfeuchten gelingt aber erst durch ein integral geplantes Maßnahmenpaket zur sogenannten „passiven Kühlung“ (siehe Kap. 7.2, Teil 2).

Aufgrund des geringeren Umfangs an raumlufttechnischen Anlagen wurde für derartige Konzepte der Begriff der „schlanken Gebäude“ eingeführt, (Abbildung 3) [5]. In Analogie zu der Entwicklung von Passivhäusern des Wohnungsbaus besteht die Aufgabe, Gebäude so zu konzipieren, dass über einen großen Variationsbereich des Außenklimas das Raumklima im Rahmen eines definierten Komfortbereichs bleibt, der mit den Erwartungen der Nutzer übereinstimmt. Dabei variieren die Raumluftzustände mehr als in einem vollklimatisierten Gebäude. Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des thermischen Komforts zeigen, dass dies keinen negativen Einfluss auf die empfundene Behaglichkeit haben muss [6].

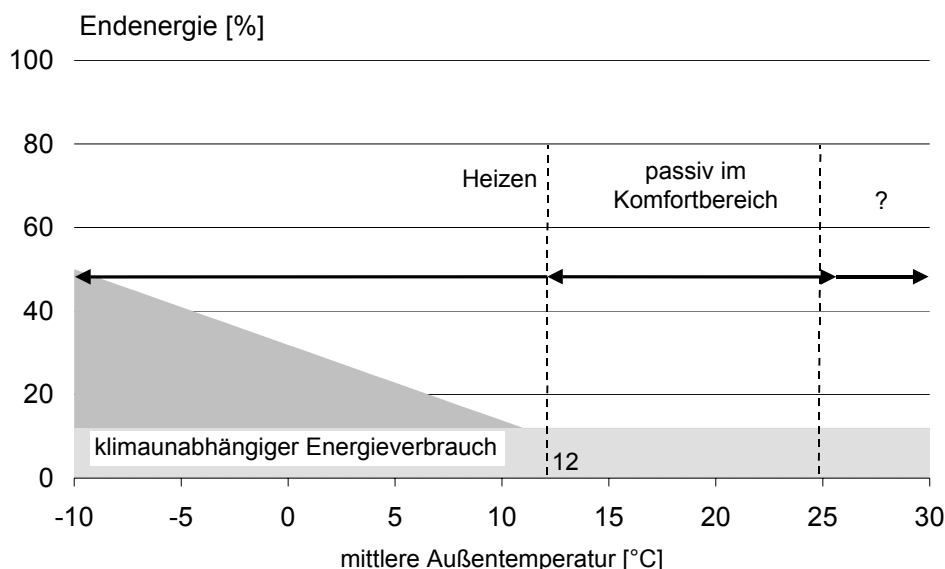


Abbildung 3: Qualitativer Verlauf des Energieverbrauchs eines „schlanken Bürogebäudes“ verglichen mit dem Bestandsgebäude gemäß Abbildung 1. Energieeffiziente Bürogeräte, sinkende Luftwechselraten und ein hohes Maß an Tageslichtnutzung senken den klimaabhängigen Energieverbrauch. Ein erhöhter Wärmeschutz reduziert den Heizwärmeverbrauch und senkt die Gleichgewichtstemperatur auf ca. 12°C. Oberhalb dieser Außentemperatur bleibt das Raumklima allein durch Maßnahmen der passiven Kühlung im Komfortbereich. Extremzustände (Tagesmittel der Außentemperatur >25°C) können kurzzeitig Komforteinbußen bewirken, sind allerdings in unserem Klima sehr selten, vergleiche Abbildung 2.

## 2. Gesetzliche Grundlagen

Mit der 2002 in Kraft getretenen Energieeinsparverordnung (EnEV) hat die Bundesregierung den Weg zu sinkendem Energieverbrauch von Gebäuden fortgeschrieben [7]. Gegenstand der neuen Verordnung sind neben dem Heizwärmebedarf auch der Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung und sämtliche elektrische Hilfsenergie im Sinne einer summarischen Primärenergiekennzahl. Da die EnEV den elektrischen Energieverbrauch von klimatechnischen Anlagen ebenso wenig wie den der künstlichen Beleuchtung behandelt, werden zwei zentrale Verbrauchssektoren aus dem Bilanzrahmen ausgeklammert und sozusagen dem gesetzlich verordneten Zwang zur integralen Energieplanung entzogen. Unter dem Eindruck der neuen EU-Richtlinie zur „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ vom Januar 2003 hat der Gesetzgeber bereits begonnen, das Beheben dieses Mangel in Angriff zu nehmen [8]. Die EU-Richtlinie sieht vor, dass zukünftige Energiebilanzverfahren die Klimatisierung und die Beleuchtung berücksichtigen [9]. Vorbild dazu könnte die bereits seit Anfang der 90-er Jahre im Sinne einer Empfehlung in der Schweiz etablierten SIA 380/4 des Schweizer Ingenieur- und Architektenvereins sein [10, 11].

Mit Blick auf die Forderung nach einem Verzicht auf eine aktive Kühlung sind insbesondere die gesetzlichen Vorgaben zum sommerlichen Raumklima von Bedeutung. Gegenstand von Mietverträgen für Büroräume sind Festlegungen zu den zulässigen Raumtemperaturen in der Regel nicht. Gemäß der Arbeitsstättenverordnung [12] und der darauf basierenden Arbeitsstättenrichtlinie muss speziell die sommerliche Raumtemperatur „der Gesundheit zuträglich sein“ und „sollte 26°C nicht überschreiten“. Die Formulierung „sollte“ nimmt Rücksicht auf die Tatsache, dass es in Räumen ohne aktive Kühlung bei extremen Außenbedingungen zwangsläufig zu höheren Raumtemperaturen kommt. Um dies in Maßen zu halten, formuliert die DIN 4108/2 hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes einen oberen Grenzwert für den sogenannten „Sonneneintragskennwert“ [13]. In die Berechnung gehen als wesentliche Parameter der Fensterflächenanteil an der Fassade und der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung einschließlich Sonnenschutzsystem ein. Berücksichtigt werden darüber hinaus die Bauart, die Klimazone und die Möglichkeit zur nächtliche Lüftung [14].

Zur Auslegung von raumluftechnischen Anlagen hinsichtlich der raumklimatischen Zustände ist die DIN 1946, Teil 2 maßgeblich [15]. Unter Definition der operativen oder empfundenen Raumtemperatur als arithmetischer Mittelwert der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur wird bis zu einer Außenlufttemperatur von 26°C eine maximale operative Raumtemperatur von 25°C empfohlen. Bei höheren Außentemperaturen steigt dieser Wert linear mit 0,33 Grad pro Kelvin Temperaturerhöhung der Außenluft über 26°C. Dabei wird ein kurzzeitiges Abweichen ausdrücklich zugelassen. Zu beachten ist die Tatsache, dass die DIN1946 ausschließlich für raumluftechnische Anlagen mit Einrichtungen zur Luftaufbereitung anzuwenden ist und demnach für die nachfolgend vorgestellten Gebäude nicht zutrifft. Trotz dieses Sachverhalts wurde in der Rechtsprechung mehrfach 26°C als maximal zulässige Raumtemperatur bis zu Außentemperaturen von 32°C eingefordert [16, 17]. Würde diese Rechtsprechung bei der Gebäudeplanung streng berücksichtigt, wäre damit in der Mehrzahl von Verwaltungsgebäuden aktive Kühlung notwendig. Die Zielsetzungen des Förderprogramms SolarBau wären damit weder in energetischer noch in raumklimatischer Hinsicht erreichbar. Normungsarbeit und daraus abgeleitete Rechtsprechung müssen heute mehr als in der Vergangenheit unter Berücksichtigung von gesellschaftlichen Nachhaltigkeitszielen gesehen werden.

## 3. Energieverbrauch- und Verbrauchsstruktur von Verwaltungsgebäuden

Knapp ¼ des deutschen Gebäudebestands fiel 1995 in die Kategorie des Nichtwohnungsbaus. Dies entspricht einer Nettogrundfläche von knapp 1 Mrd. m<sup>2</sup>, darunter 110 Mio. m<sup>2</sup> für reine Büronutzung [18, 19]. Innerhalb der bundesdeutschen Energiestatistik werden diese Gebäude im Sektor „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)“ geführt. Während beim Sektor der Haushalte die Bereitstellung von Wärme für die Raumheizung und Warmwasser

mit anteilig 92% als dominante Energiedienstleistung identifiziert werden kann, sinkt die Bedeutung der Wärme im GHD-Sektor auf bereits 71% [20]. Diese Zahlen lassen sich jedoch nicht auf Verwaltungsgebäude übertragen, da sie nur einen Bruchteil des Energieverbrauchs im GHD-Sektor verursachen. Daher werden im Folgenden Referenzgruppen von Gebäuden ausgewertet, um zu generalisierbaren Aussagen für erfolgversprechende Energieverbrauchs- und CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien speziell für Verwaltungsgebäude zu gelangen.

Mit der VDI-Richtlinie 3807 liegt eine einheitliche Darstellung von Energiekennzahlen für eine Vielzahl von Gebäudearten vor, darunter rund 1.000 Bürogebäude [21]. Energiekennzahlen im Sinne der VDI 3807 bezeichnen Verbrauchswerte von Endenergie - fossile Energieträger, Fernwärme oder Strom - bezogen auf eine gebäudespezifische Flächeneinheit. Im weiteren wird abweichend von der VDI-Richtlinie als Flächeneinheit die beheizte Nettogrundfläche NGF als Bezugseinheit vereinbart [22]. Diese Vorgehensweise hat sich für Wohngebäude bewährt. Auf einen Volumenbezug der Energiekennwerte wurde verzichtet, da bei Bürogebäuden nutzungsbedingt zumeist keine großen Raumhöhen erforderlich sind. Energierrelevante Lüftungsvolumenströme werden nicht über das Innenvolumen, sondern über die lufthygienischen oder raumklimatischen Anforderungen bestimmt. Dies ändert sich erst beim Vergleich mit Industrie- oder Laborbauten. Abbildung 4 zeigt die Energiekennzahlen nach VDI 3807 in einer Gegenüberstellung mit Daten aus weiteren nationalen Quellen [18, 24, 25], einer Schweizer Querschnittsstudie [26] und einem frühen deutschen Pilotprojekt [27].

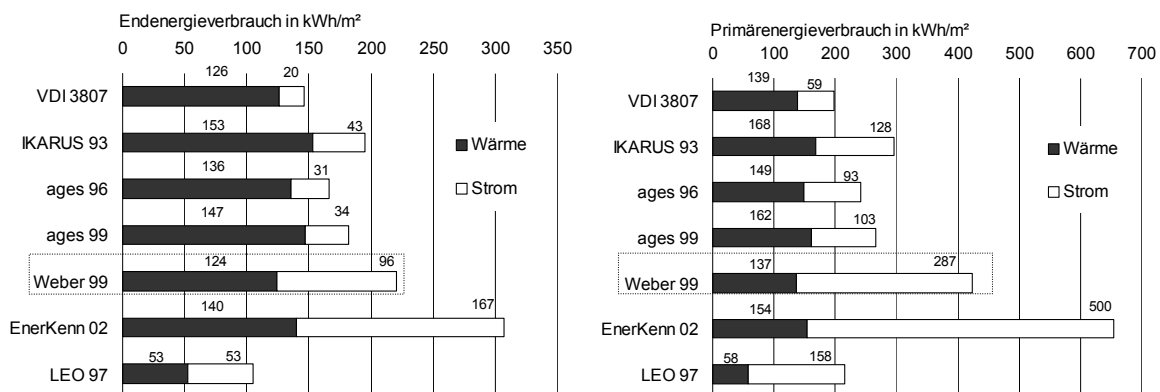


Abbildung 4: Messtechnisch ermittelte Endenergie- (oben) und Primärenergieverbrauchs-kennzahlen (unten) von Verwaltungsgebäuden. Als Energiebezugsfläche dient die beheizte Nettogrundfläche NGF. Daher wurde auf die Bruttogeschossfläche bezogenen Daten mit einem Faktor von 1,15 nach [21] auf NGF umgerechnet. Die Umrechnung von End- auf Primärenergie erfolgte ausgehend von einer Beheizung mit fossilen Brennstoffen auf der Basis der Primärenergiefaktoren nach DIN 4701/10 [23].

Ein Vergleich der Daten setzt in strengem Sinne eine einheitliche Methodik in der Vorgehensweise bei der Auswahl und Auswertung der zu Grunde liegenden Gebäude voraus. Trotz diesbezüglicher Unterschiede ergeben sich einige Tendenzen aus der Analyse der zitierten Quellen ableiten:

- Die Daten der VDI 3807 (1.000 Bauten, Messdaten 1993-97) und der ages (1.000, 1992-94, bzw. 1.700 Bauten, 1997-98) basieren auf einer sehr großen Anzahl von Gebäuden. Diese stammen allerdings nahezu ausschließlich aus dem Bestand öffentlicher Liegenschaften. Die Wärmeverbrauchswerte sind auf die mittlere Gradtagzahl von Würzburg bereinigt. Verbrauchsmittelwerte beruhen auf einer Summation aller Flächen und Verbräuche bei nachfolgender Berechnung einer mittleren Energiekennzahl. Auffällig ist der verglichen mit anderen Studien sehr geringe Stromverbrauch. Daraus ist erkennbar, dass es sich um Gebäude mit einfacher technischer Ausstattung und keinen bis geringfügigen klimatechnischen Anlagen handelt.

- Die Ikarus-Daten wurden im Rahmen eines umfassenden Forschungsprojektes Anfang der 90-er Jahre auf der Basis von Modellrechnungen entwickelt. Sie werden in [24] als Vergleichswerte zitiert.
- Die für die Schweiz erhobenen Daten nach [26] stammen aus einer statistisch repräsentativen Auswahl von 100 Bürobauten mit Messdaten aus dem Zeitraum 1986 bis 96. Dokumentation und Datenaufbereitung sind vorbildlich veröffentlicht. Als Mittelwert wird das arithmetische Mittel der Energiekennzahlen der Einzelgebäude bezeichnet. Dies bevorzugt im Unterschied zu den VDI / ages-Daten kleine Bauten. Der Strombezug liegt deutlich über den Werten nach VDI / ages. Dass der Wärmebedarf nicht in gleichem Maße sinkt, liegt daran, dass die damit verbundene Abwärme nur im Winter zur Senkung des Wärmeverbrauchs anteilig wirksam wird. Stromverbrauch für Klimakälte mindert nicht den Heizwärmeverbrauch.
- Die im Rahmen des Forschungsprojektes ENERKENN erfassten Daten beziehen sich auf neun vergleichbare Bürogebäude mit hohem Technisierungsgrad. Die Gebäude stammen aus den Baujahren 1995-2002, die Messwerte beziehen sich auf das Jahr 2001. Der Technisierungsgrad spiegelt sich in einem noch höheren Stromverbrauch wieder [25].
- LEO 97 steht für Messdaten des bereits 1995 im Vorfeld des Förderprogramms in Köln entstandene „Low Energy Office“. Dabei handelt es sich um ein Niedrigenergiegebäude für ein Software Unternehmen [27].

Die Tatsache, dass alle Quellen mit Ausnahme des Niedrigenergiebürogebäude Endenergieverbräuche in der Größenordnung von  $140 \text{ kWh/m}^2$  (+/- 13) für den Bereich Wärme aufzeigen, deutet auf eine gute statistische Absicherung hin. Dagegen ist die Streubreite des Stromverbrauchs größer. Dies zeigt sich auch innerhalb der Einzeluntersuchungen. Die dominierenden Einflussfaktoren auf den Stromverbrauch sind der Grad der Ausstattung mit raumluft- und klimatechnischen Anlagen und der Technisierungsgrad der Büroausstattung. Die Primärenergieverbrauchs- und Emissionszahlen nach Abbildung 4 unterstreichen die Wichtigkeit eines ganzheitlich definierten Energiezielwertes. Je mehr die gesetzlichen Bemühungen zur Senkung des Wärmeverbrauchs Früchte tragen, um so stärker werden Energieverbrauch und Emissionen vom Stromverbrauch dominiert.

Bisher beinhalteten die Analysen den Gesamtenergieverbrauch einschließlich der nutzungsspezifischen Verbraucher (EDV,.....). Mit Blick auf die Entwicklung von Zielwerten für die Planung energiesparender Bürogebäude ist es zweckmäßig, sich auf diejenigen Energieverbraucher zu beschränken, die unmittelbar Gegenstand der Planungsaufgabe sind und eine übliche Nutzung voraussetzen (Standardnutzung z.B. nach [11]). Schwerpunktmäßig energierelevante Planungsaufgabe ist die technische Gebäudeausrüstung für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung. Dieses Vorgehen deckt sich mit dem in der neuen EU-Verordnung und wird in den kommenden Jahren in Deutschland eingeführt werden [Hegner]. Mit dem Förderprogramm SolarBau des BMWA wurden die dazugehörigen Vorläuferprojekte initiiert [28].

Die Kernpunkte für ein Demonstrationsprojekt im Sinne des Förderkonzepts SolarBau sind :

- Primärenergiebezug für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung unter  $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ,
- Heizwärmeverbrauch unter  $40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- keine flächendeckende, aktive Kühlung,
- verbesserte Tageslichtnutzung, und
- Integration erneuerbarer Energien in die Versorgungstechnik.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine mögliche Zusammensetzung des Energiebezugs für ein Gebäude aus dem Förderprogramm verglichen mit der Querschnittserhebung im Bestand nach [26]. Von den vorgestellten Energiestatistiken vertieft nur diese Arbeit die Detaillierung des Energieverbrauchs auf die unterschiedlichen Stromanwendungen. Die Teilenergiekennzahlen stimmen gut mit Erwartungswerten aus Simulationsrechnungen überein [29]. Eine Primärenergiekennzahl von 100 kWh/m<sup>2</sup>a entspricht einer Verbrauchsreduktion annähernd um den Faktor 3. Zielführend dafür ist zunächst eine Minderung des Heizwärmeverbrauchs auf unter 40 kWh/m<sup>2</sup>a und der Verzicht auf eine Klimatisierung. Verbesserte Tageslichtnutzung in Verbindung mit effizienter künstlicher Beleuchtung senkt den Stromverbrauch. Die Integration erneuerbarer Energien in die Wärme- und Stromversorgung mindert den Energiebezug (Solarkollektoren, Biomasse) oder ersetzt in einer Bilanzbetrachtung einen Teil des Netzstrombezugs.

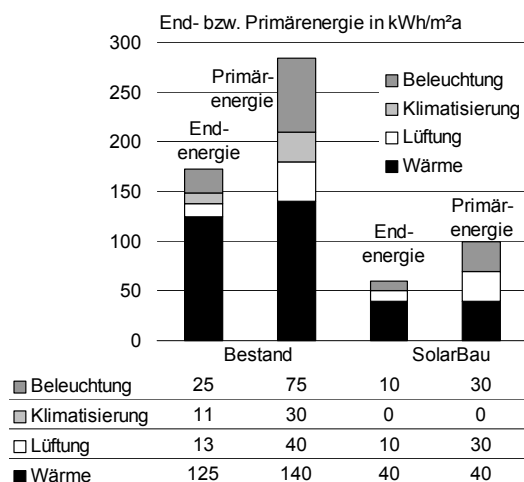


Abbildung 5: Zielwerte aus dem Förderkonzept SolarBau verglichen mit Verbrauchswerten für Bürogebäude aus dem Bestand nach [26].

#### 4. Energiekennzahlen der SolarBau-Demonstrationsprojekte

Zu Beginn 2003 befanden sich 20 Projekte in der Förderung. Ein Teil davon ist bereits abgeschlossen (6 Projekte), weitere befinden sich der Messphase (11), andere in Planung und Bau (3). Einen Überblick zeigt Tab. A1 im Anhang zusammen mit einer kurzen Charakterisierung. Neben individuellen Forschungsthemen war es Ziel aller Projekte, Energieverbräuche und Energiekennzahlen detailliert zu erfassen und zu analysieren [28].

Abbildung 6 fasst die Ergebnisse von Projekten mit überwiegend büroähnlicher Nutzung und Anfang 2003 zur Verfügung stehenden Jahresmessdaten grafisch zusammen. Die grafischen Darstellung haben wir wegen der in einigen Fällen schwierigen Abgrenzung zu nutzungsspezifischen Stromverbräuchen einer genaueren zahlenmäßigen Auflistung vorgezogen. Hiervon sind quantitative Verschiebungen, aber keine qualitativen Veränderungen zu erwarten. Zahlenwerte werden mit Abbildung 8 für solche Gebäude vorgestellt, bei denen eine Aufschlüsselung in Teilenergiekennzahlen möglich ist. Diese Art der Aufschlüsselung benötigt vor allem für die elektrische Energie ein sehr detailliertes Zählkonzept. Eine nutzungsorientierte Zuordnung von Stromkreisen ist in der Gebäutechnik nicht üblich. In vielen Fällen hat die detaillierte Stromverbrauchsanalyse dazu beigetragen, Mängel im Anlagenbetrieb aufzudecken und zu beseitigen.

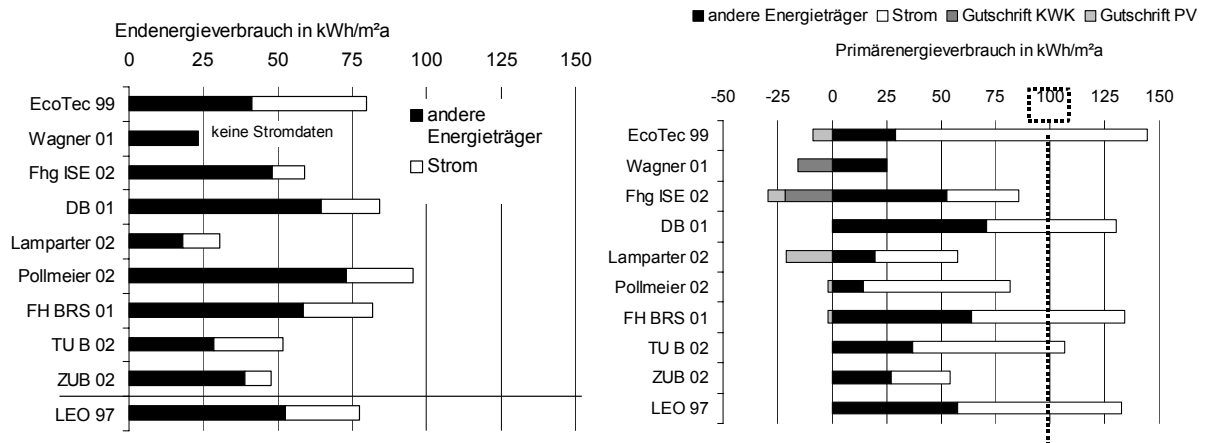


Abbildung 6: Messtechnisch ermittelte Endenergie- (oben), und daraus abgeleitete Primärenergiekennzahlen (unten). Primärenergiefaktoren und Stromgutschriften basieren auf DIN4701/10. Zur Vereinfachung der Bilanzierung wurde Solarstrom (PV) mit der gleichen Stromgutschrift wie die Kraft-/Wärmekopplung (KWK) bewertet, Biomasse für Heizzwecke erhält den Primärenergiefaktor 0,2. Die Verbrauchswerte beziehen sich analog zu Abbildung 5 auf sämtliche TGA für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten; nutzungsbedingte Verbräuche sind nicht eingeschlossen. Die Jahreszahlen hinter den Projektkürzeln weisen auf das Bezugsjahr der Messwerte hin. Eine Gradtagbereinigung erfolgte nicht. Datenquelle ist jeweils die mit dem Messprogramm beauftragte Hochschule, siehe Tabelle A1. Im Falle des Gebäudes „FhG-ISE“ wurde aus dem 14.000 m<sup>2</sup> großen Institutsgebäude ein 525 m<sup>2</sup> großer Bereich mit ausschließlicher Büronutzung einschließlich zugehöriger Verkehrsflächen bilanziert. Die Primärenergiezahl des Gesamtgebäudes liegt auf Grund der überwiegenden Labornutzung bei 366 kWh/m<sup>2</sup>a.

Von neun dargestellten Gebäuden liegen sechs unter dem vereinbarten Grenzwert des Primärenergiebezugs von 100 kWh/m<sup>2</sup>a, vier darüber. Auch das 1996 fertiggestellt LEO bleibt noch oberhalb des Grenzwertes. Erfreulich ist, dass sämtliche Gebäude weit unterhalb der Vergleichswerte nach [Weber] liegen, Abbildung 5. Die Gründe für die Überschreitung des Zielwertes liegen in einem unerwartet hohen Heizwärmeverbrauch (DB, FH BRS) oder hohen Stromeinsatz für die Beleuchtung (FH BRS, ECOTEC). Im Falle ECOTEC ist der Stromeinsatz für Heizen und Kühlen der Zuluft über reversible Wärmepumpen eine weitere Ursache. Einige der Ursachen sind konzeptionell bedingt, andere lassen sich durch eine verbesserte Betriebsführung zukünftig vermeiden.

Unter „andere Energieträger“ wird überwiegend der Energieeinsatz für die Wärmeerzeugung bilanziert (Gas, Fernwärme, Biomasse). Auf der Ebene der Endenergie weisen die Gebäude Lamparter und Wagner als Deutschlands erste Passivhäuser des Nichtwohnungsbaus erwartungsgemäß die niedrigsten Werte auf [30, 31]. Das Pollmeier-Gebäude vermeidet hohen Primärenergieeinsatz bei einem im ersten Betriebsjahr unerwartet hohen Heizwärmeverbrauch von 58 kWh/m<sup>2</sup>a (ca. 73 kWh/m<sup>2</sup>a Endenergie) durch weitgehend CO<sub>2</sub>-neutrale Restholzverbrennung aus dem eigenen Sägewerk. Anlagen zur Kraft-/Wärmekopplung führen gemäß EnEV zu einer Primärenergiegutschrift (Wagner, ISE), da der gemessene Gasbezug auch zur Stromerzeugung und damit zur Substitution von Netzstrom beiträgt. Günstig wirkt sich auch der Wärmebezug aus einem Fernwärmenetz mit Kraftwärmekopplung aus (ECOTEC, ZUB).

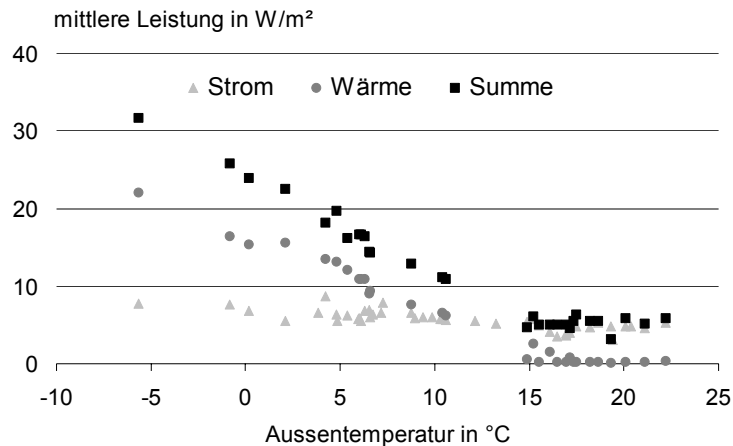


Abbildung 7: Endenergieverbrauch 2002 des Verwaltungsgebäudes Pollmeier in Kreuzburg auf der Basis von Wochenwerten. Die Heizgrenztemperatur liegt bei 15°C. Unterhalb dieser Außentemperatur fallen 98% des Wärmeverbrauchs an. Die Zunahme des winterlichen Stromverbrauchs ist auf den Betrieb der Abluftwärmepumpe und den erhöhten Beleuchtungsstromverbrauch zurückzuführen. (Datenquelle: ZUB, Kassel).

Abbildung 7 zeigt in Analogie zu Abbildung 2 exemplarisch für das Gebäude Pollmeier eine Darstellung des Endenergiebezugs als Funktion der Außenlufttemperatur. Wegen des noch vergleichsweise hohen Wärmeverbrauchs sind 60 % des jährlichen Endenergiebezugs klimaabhängig. Eine mittlere Strombezugsleistung von fast 6 W/m<sup>2</sup> bewirkt den wesentlichen Anteil der internen Wärmequellen. Die Darstellung nach Abbildung 7 erlaubt eine einfaches und schnelles Energiecontrolling auf der Basis wöchentlicher Zählerablesungen. Daher wurde dieses Verfahren für alle Demonstrationsgebäude zusätzlich zu rechnerbasierten Messverfahren der Hochschulen eingeführt. Die abgelesenen Werte werden durch die Projektpartner über eine Internetschnittstelle in eine zentralen Datenbank des Fraunhofer ISE eingegeben.

Einen genaueren Blick auf die Verbräuche ausgewählter Gebäude erlaubt Abbildung 8. Dabei wird deutlich, wie eng bei hohem Energiebezug zum Heizen der Spielraum für den Strombezug ist, soll der Grenzwert von 100 kWh/m<sup>2</sup>a nicht überschritten werden. Erst bei sehr niedrigem Wärmeverbrauch dominiert der Strombezug die Primärenergiebilanz (Lamparter). Dies ist bei vollklimatisierten Gebäuden durch den höheren Strombezug nicht der Fall. Auffällig hoch ist der Strombezug für Beleuchtung beim Gebäude Pollmeier, ausgesprochen niedrig dagegen bei ZUB und ISE. Die Ursachen dafür können eindeutig den jeweiligen Tages- und Kunstlichtkonzepten zugeordnet werden. Unterschiede im Stromverbrauch für die Lüftung ergeben sich ebenfalls aus den Anlagenkonzepten und dem Einsatz mechanischer oder freier Lüftung für die nächtliche Entwärmung der Gebäude im Sommer. Diesbezügliche Ergebnisse werden in Kap 7.2 diskutiert. Dass trotz Forderung nach ausschließlich passiver Kühlung Energie für die Klimatisierung bezogen wurde, liegt an Räumen mit besonderen Nutzungsanforderungen (Seminarräume, Rechnerzentralen, etc.).

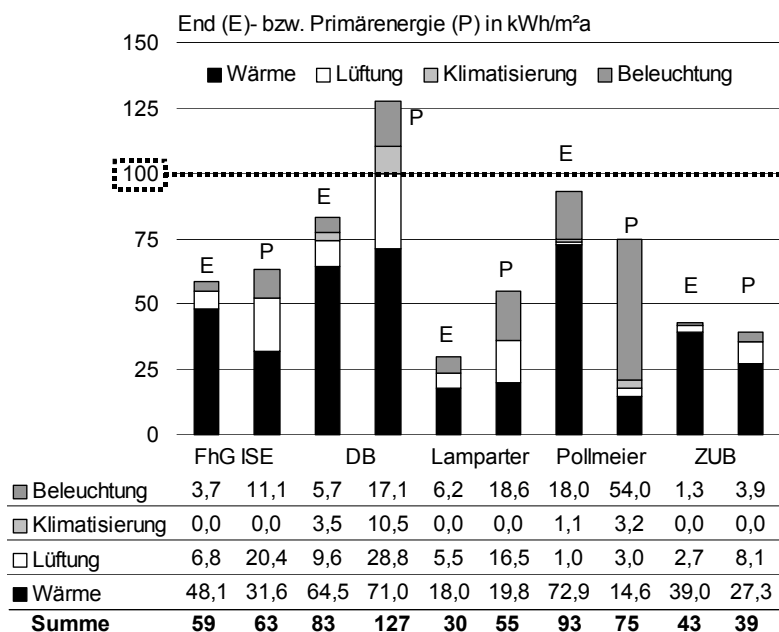


Abbildung 8: End- und Primärenergieverbräuche (Index E bzw. P) ausgewählter Demonstrationsprojekte. Datenquelle ist jeweils die mit dem Messprogramm beauftragte Hochschule, siehe Tabelle A1 im Anhang

## 5. Bauwerkskosten

Im Förderkonzept SolarBau sind ausschließlich die Planungsmehrkosten und das Monitoring förderfähig. Demzufolge orientieren sich die zur Verfügung stehenden Investitionskosten ausschließlich an dem Budget des jeweiligen Bauvorhabens. Als Indikator für einen Vergleich wurden die Bauwerkskosten, also die Kosten der Gewerke „Baukonstruktion“ und „Technische Anlagen“ gewählt [32]. Nicht erfasst sind damit u.a. die Planungskosten mit dem darin enthaltenen Förderanteil. Eine Darstellung von Differenzkosten zu einer „Standardplanung“ ist nicht sinnvoll, da Anforderungen und Budget von Beginn an festlagen und damit die Planung als Gesamtes darauf ausgerichtet war. Nur in dieser Weise wird frühzeitig erkannt, wie bei einer integralen Gebäudeplanung Mehrkosten durch Einsparungen im Sinne einer ausgeglichenen Bilanz bereinigt werden können [33].

Neben Einflüssen aus der baukonjunkturellen Lage und der spezifischen Situation am Standort (Gründung, Tiefgarage, etc.), werden die Bauwerkskosten maßgeblich durch den jeweiligen Ausstattungsstandard beeinflusst. Die im Baukostenindex [34] ausgewiesenen Vergleichskosten spannen daher ein weiten Bereich auf, Abbildung 9. Als Bankgebäude können die hohen Kosten des KfW-Gebäudes zum großen Teil der gehobenen Ausstattung zugeordnet werden. In Maßen gilt dies auch für ECOTEC. Im Falle GIT resultieren ungeplant hohe Kosten u.a. aus der komplexen Gebäudeformgebung (z.T. gekrümmte und geneigte Wände). Trotz Vorteilen aus der Situation als Anbau bewirkt die umfangreiche experimentelle Ausstattung und zusätzliche, gestalterisch motivierte externe Bauten die hohen Kosten beim ZUB. Interessant ist die Tatsache, dass das in der Praxis durch einen besonders niedrigen Energieverbrauch auffallenden Gebäude der Fa. Lamparter dasjenige mit den niedrigsten Bauwerkskosten ist. Dies unterstreicht die Erfahrung, dass Aufwendungen zur Energieeinsparung und Solarenergienutzung die Baukosten bei konsequenter Planung in wesentlich geringem Umfang beeinflussen als der allgemeine Ausstattungsstandard.

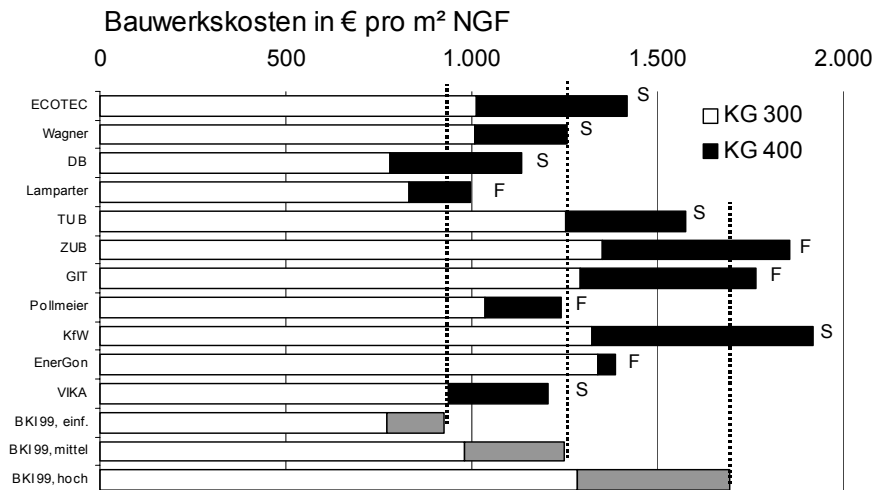


Abbildung 9: Flächenspezifische Baukosten der Gebäude mit überwiegender Büronutzung. Dargestellt sind die Bauwerkskosten aufgeteilt auf die Kosten der Baukonstruktion (KG 300) und der Technischen Anlagen (KG 400), jeweils einschl. Mehrwertsteuer. Je nach Verfügbarkeit der Daten handelt es sich um Angaben der Projektarchitekten als Kostenschätzung (S) oder Kostenfeststellung (F). Als Vergleichskosten sind die Mittelwerte für Bürogebäude mit drei verschiedenen Ausstattungsstandards nach dem Baukostenindex, Stand 1999, angegeben [34].

## 6. Flächennutzung

Kennzeichen für ein besonders wirtschaftliches Gebäude ist ein möglichst hoher Anteil der Hauptnutzfläche (also dem Zweck entsprechend z.B. die Büroräume) an der Nettogrundfläche, dargestellt durch eine hohe Flächenkonzentration (Abbildung 10). Für Verkehrs- und Nebennutzflächen wird aufgrund niedriger Anforderungen an Licht und Raumtemperatur meist weniger Energie als für Hauptnutzflächen aufgewendet. Ein Gebäude mit niedriger Energiekennzahl, aber geringer Flächenkonzentration „verdünnt“ damit den Energieverbrauch auf eine große NGF. Die Bauwerkskosten steigen.

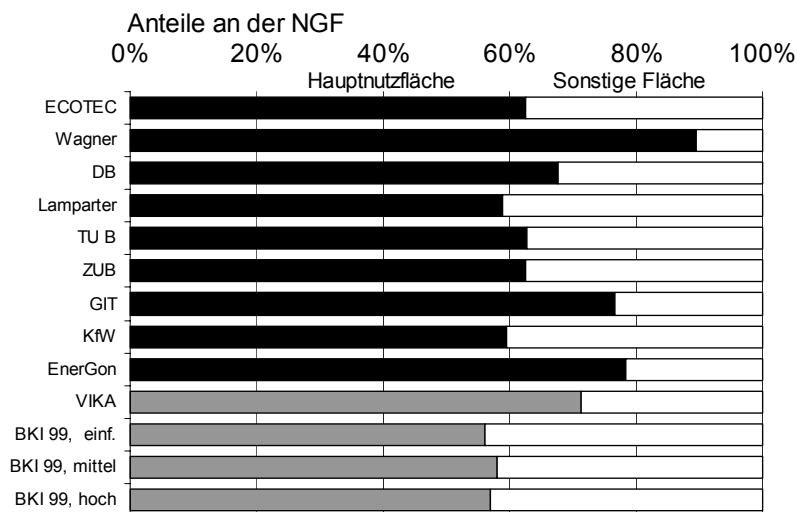


Abbildung 10: Prozentuale Aufteilung der beheizten Nettogrundfläche in die Hauptnutzfläche und sonstige Flächen nach Angabe der Projektarchitekten gemäß DIN 277

Wenngleich die Zuordnung zu Flächenkategorien in der Praxis eine hohe Unschärfe aufweist, lassen sich einige Tendenzen erkennen: Vorbildliche Projekte weisen bei niedriger Energiekennzahl gleichzeitig eine hohe Flächenkonzentration auf (Wagner). Anbauten sind prinzipiell im Vorteil, da ein Teil der Infrastruktur und Erschließung oft gemeinsam genutzt werden kann (ZUB, TU B). Verglichen mit den Werten des Baukostenindex weisen erfreulich viele Projekte eine höhere Flächenkonzentration auf.



















## Literatur

- [1] Leibundgut, H.: Neue Gebäude mit leichtem Gepäck, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 26, S. 16-20, 2000
- [2] Hörner, M. : Energiekennwerte und Benchmarking für Elektrizität in Bürogebäuden, Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsbauten, Impuls und VDI Kongress, Frankfurt, 1998
- [3] Redlich, C.A. Sparer, J., Cullen, M.R.: Sick-building syndrome, The Lancet, vol. 349, p. 1013-1016, 1997
- [4] Kruppa, B., Bischof, W., Bullinger-Naber, M.: Positive und negative Wirkungen raumlufttechnischer Anlagen auf Behaglichkeit, Leistungsfähigkeit und Gesundheit, GI, Jg. 123, Heft 2, S. 88-95, 2002
- [5] Voss, K.: Schlanke Gebäude – Hohe Arbeitsplatzqualität bei geringem Energieverbrauch, Energieeffizientes Bauen, Heft 3, S. 12-17, 2001
- [6] Energy and Buildings – Special Issue on Thermal Comfort, volume 34, nr. 6, 2002
- [7] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden - Energieeinsparverordnung, <http://www.enev-online.de>, 2002
- [8] Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings of 16.12.2002, Official Journal of the European Communities, 4.1.2003
- [9] Hegner, H.-D., Die neue EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, Bauphysik 24, H. 5. S. 303-304, 2002
- [10] Energie im Hochbau SIA 380/4, Schweizer Ingenieur & Architektenverein, Zürich, 1995, im Internet unter: [www.380-4.ch](http://www.380-4.ch)
- [11] Leitfaden Energie im Hochbau, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden, Neufassung, 2000
- [12] Verordnung über Arbeitsstätten, 1997
- [13] DIN 4108, Teil 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin, 2001
- [14] Sommerlicher Wärmeschutz – eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz, Deutscher, R., Elsberger, M., Rouvel, L., Bauphysik Jg. 22, Hefte 2 und 3, 2000
- [15] DIN 1946, Teil2: Raumluftechnik – Gesundheitstechnische Anforderungen, Beuth-Verlag, Berlin, 1994
- [16] Stellungnahme der Konferenz der Ständigen Bauphysik-Professoren an wissenschaftlichen Hochschulen zu einem Urteil des Oberlandesgerichtes Hamm, Bauphysik 19, Heft. 3, S. 97-98, 1997
- [17] Urteil des Oberlandesgerichts Rostock, in GI 123, Heft 6, S. 313, 2002
- [18] Ikarus Datenbank, Version 3.1, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 1999
- [19] Erhorn, H., Gierga, M.: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland, Fraunhofer IBP, Bericht WB 72, Stuttgart, 1992
- [20] Endenergieverbrauch in Deutschland 2001, VDEW Drucksache M-23/2002, Frankfurt, 2002, <http://www.ag-energiebilanzen.de>
- [21] VDI 3807: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Blatt 1, 1994, Blatt 2, 1997, Beuth-Verlag, Berlin

- [22] DIN 277: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin, 1987
- [23] DIN 4701 Teil 10: Energetische Bewertung Heiz- und raumluftechnischer Anlagen Beuth-Verlag, Berlin, 2001
- [24] Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland, Ausgaben 1990, 1996, 1999, ages, Münster, [www.ages-gmbh.de](http://www.ages-gmbh.de)
- [25] Froehlich, S., Wagner, A., Wambsganss, M., Schlums, M.: Enerkenn – Web-Based Method to Generate specific Energy Consumption data for Evaluation and Optimization of Office Building Operation, , proceedings of the EPIC Conference Lyon, 2002, [www.enerkenn.de](http://www.enerkenn.de)
- [26] Weber, L.: Energie in Bürogebäuden – Verbrauch und Energierrelevante Entscheidungen, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, CH, 2002
- [27] Willbold-Lohr, G.: Das Kölner Low-Energy-Office, Impuls-VDI Kongress, Frankfurt, 1998
- [28] Voss, K., Löhnert, G., Wagner, A.: Energieeffizienz und Solarenergienutzung im Nichtwohnungsbaubau – Konzepte und Bauten, Fraunhofer ISE, Freiburg, Bezug: Informationsdienst BINE, <http://bine.fiz-karlsruhe.de>, 2001
- [29] Knissel, J.: Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1999, <http://www.iwu.de>
- [30] Spieler, A. et. al.: Ein Jahr im Passiv-Solarhaus von Wagner Co. Solartechnik, Energieeffizientes Bauen, 2000, im Internet unter [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de)
- [31] Seeberger, P.: Passiv-Bürohaus Lamparter – Projektpräsentation und erste Messergebnisse, 5. Passivhaus Tagung, Tagungsband, S. 320-326, Böblingen, 2002, im Internet unter [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de)
- [32] DIN 267 Kosten im Hochbau Beuth-Verlag, Berlin, 1993
- [33] Löhnert, G.: Der Integrale Planungsprozess, Energieeffizientes Bauen, Heft 1-4, 2002
- [34] Baukostenindex des Baukosteninformationszentrum, Stuttgart, 1999

## Anhang

**Tabelle A1:** Die Demonstrationsprojekte im Förderkonzept SolarBau und ihre Besonderheiten, Stand 02/2003,  
Weitere, laufend aktualisierte Information ist unter <http://www.solarbau.de> im Internet dokumentiert.

	Projektname	Bild	Bezugs-jahr	NGF in m <sup>2</sup>	Hochschule	Projektstatus	Bauwerk			Technische Gebäudeausrüstung								
							Passivhaus	Tageslicht / Kunstlicht	Atrium	Nachtlüftung	Betonkern-temperierung	Erdwärme / Erdkälte	Wärmerück-gewinnung	KraftWärme-kopplung	Solar-systeme	Biomasse-nutzung	Wärme-pumpen	
Büro und Verwaltung	ECOTEC		1997	2.941	Uni Bremen	abge-schlos-sen		x					x				x	
	Passivhaus Wagner		1998	1.948	Uni Marburg	abge-schlos-sen	x	x		x			x	x	x			
	DB Netz		1999	5.974	TU Karlsruhe	abge-schlos-sen		x	x	x			x	x				
	Passivhaus Lamparter		1999	1.000	FHT Stuttgart	Monito-ring	x	x		x			x	x				
	ZUB		2001	1.732	GH/Uni Kassel	Monito-ring		x		x			x	x				
	GIT		2002	3.243	GH/Uni Siegen	Monito-ring		x		x			x	x			x	x
	Pollmeier		2001	3.510	ZUB	Monito-ring		x	x	x			x	x		x	x	x
	Kreditanstalt für Wieder-aufbau KfW		2002	15.192	TU Karlsruhe	Monito-ring		x	x	x			x			x	x	
	Internationa-les Solarzent-rum		2002	18.500	TU Braun-schweig	in Bau		x	x				x			x		
	Passivhaus EnerGon		2002	6.912	FH Ulm	Monito-ring	x	x	x		x	x	x			x		
	Technologie-zentrum Erfurt		2001	8.976	FH Erfurt	Monito-ring					x	x				x		x
VIKA		2002	2.151	FH Köln	Monito-ring		x			x	x	x					x	
Produktion	Hübner		1998	2.122	Uni Hanno-ver	abge-schlos-sen							x	x			x	
	SurTec		2000	4.113	TU Darm-stadt	abge-schlos-sen	x		x	x			x	x				
	Solvis		2002	8.215	FH Wolfen-büttel	Monito-ring		x		x			x	x	x	x	x	x
	Lebenshilfe				TU Mün-chen	in Pla-nung												
Bildung und Forschung	Fraunhofer ISE		2001	13.150	FH Biberach	Monito-ring		x	x	x			x	x	x	x		
	FH Bonn-Rhein-Sieg		1999	27.381	Uni Dort-mund	abge-schlos-sen		x	x	x			x	x	x	x		
	Informatik-zentrum TU B		2001	8.570	TU Braun-schweig	Monito-ring		x	x	x								
	Berufsschul-zentrum Biberach				FH Biberach	in Pla-nung												

## **THE FRAUNHOFER-ISE BUILDING**

Karsten Voss, Sebastian Herkel, Jan Wienold, Andreas Gerber  
Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE  
Oltmannsstr. 5, D-79100 Freiburg  
Germany  
Tel: +49 761 4588 5135  
Fax: +49 761 4588 9135  
E-mail: karsten.voss@ise.fhg.de

### **The task: Exemplary Building with the Sun**

In 2001, a new building with a floor area of 13,000 m<sup>2</sup> replaced the existing rented buildings for the 300 employees of the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE in Freiburg, Germany. Following the motto, "Exemplary Building with the Sun", the aim was to combine a high-quality working environment and functionality with a low energy consumption and a high design quality. The planning team responsible consists of the Danish architects Dissing + Weitling, the Stuttgart engineering consultants Rentschler & Riedesser and engineering experts from the Solar Building group at Fraunhofer ISE. Construction began in May 1999. The building project is one of those supported for the integrated process design and performance monitoring in the programme "Solar-Optimised Building", funded by the German Federal Ministry of Economics.

### **1. From the initial idea to a building concept**

The building site is located to the north west of Freiburg's inner city. After thorough evaluation, the design which was selected and further developed is based on wings connected by an access tract. This concept has proved its value in similar applications and is appropriate to the pronounced north/south orientation of the block (fig. 1). The three building wings are oriented east/west and are widely separated to allow daylighting. The offices, which are not air-conditioned, are located on the sunny side, while the air-conditioned laboratories are on the shady side. The flat roofs of the wings have been designed to function as outdoor test areas. The wing structure and the internal distribution of zones combine passive use of solar energy for heating in winter (sun low in the sky) with low (over)-heating loads in summer (sun high in the sky). A central access tract extends more than 120 m in the north/south direction and protects the inner courtyards and the wing facades from the summer afternoon sun. An entrance block at the southern end of the access tract houses the administration and central services. The technical prototype laboratory, clean room and workshops adjoin the access tract to the west (figures 2).

The building structure consists of a steel-concrete frame with ceilings/floors and vertical supports. The functional and design concept for the facades reflects the planners' reaction to the building purpose, orientation and cost parameters:

- Curtain walls as a dominant design element of the entrance block and the southern facades of the wings, with steel facing panels. The construction material is wood, with compound wood/aluminium window frames. The thermal insulating material in the spandrel areas is 160 mm thick.
- Continuous window and spandrel bands on the northern wing facades and the entire technical prototype laboratory. Compound wood/aluminium window frames and combined external insulation and finish panels are applied here.
- Glass facade with wood/aluminium framework for the access tract.

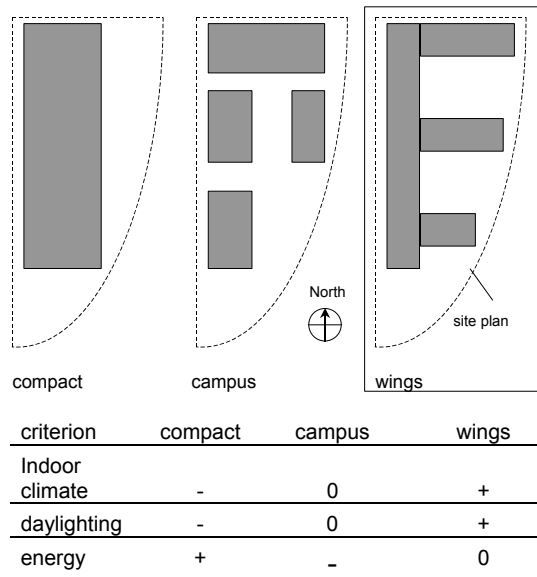


Fig. 1. :The three competing design concepts and the result of their evaluation.



Fig. 2: Visualisation of the detailed design on the basis of the 3-dimensional CAD model and lighting simulation with RADIANCE, south-western aspect.

Table 1: The building specifications. (Price indications refer to construction costs excluding land and planning costs , including VAT).

land area	12,000 m <sup>2</sup>	planning start	11/1997
net floor area	13,150 m <sup>2</sup>	start of construction	5/1999
total volume	62,800 m <sup>3</sup>	end of construction	2001
main usage area	6,500 m <sup>2</sup>	construction costs	app. 1,880 Euro /m <sup>2</sup>
form factor A/V	0.31 1/m	-	-

## 2. Ventilation concepts for high functionality and pleasant indoor conditions

### 2.1. Ventilation for laboratories and production areas

As two thirds of the main working area is occupied by laboratories and production areas with some extremely high demands on the constancy of the interior conditions (including a clean room), one main emphasis of the energy planning process was to achieve an energy-saving ventilation and air-conditioning concept. It aims to

avoid unnecessary ventilation by adapting the air volume currents to the instantaneous demand (controlled laboratory exhaust hoods), and recover heat with high efficiency from the exhaust air in an integrated cycle. Access to the laboratories for building services is provided with vertical shafts. Correspondingly, the ventilation and air-conditioning plant is located in the basement (air inlets) and the roof areas (air outlets), respectively. A system for sorptive dehumidification of the large quantities of inlet air for the clean room will be implemented for the first time. The concept is based on work at Fraunhofer ISE on solar-assisted air-conditioning. The sorption technology applied transforms cooling to heating loads, allowing a more favourable operating mode with respect to primary energy consumption and avoiding electric load peaks, while offering high dehumidification power.

## 2.2 Ventilation for offices and circulation areas

The offices are characterised both by a high occupancy and a high density of computer facilities. Deciding against active air-conditioning means consistently reducing the electricity consumption and utilising all possibilities offered by integrated planning for passive air-conditioning:

suitable building design (fig. 1)

appropriate glazing areas and glazing types in the facade,

effective, automatic solar control,

intensive thermal coupling of the room air to the building mass via freely suspended ceilings,

active nocturnal ventilation to cool down the building mass in summer and

pre-cooling of the air with an air-to-earth heat exchanger in particularly critical zones.

An essential planning tool to develop a passive air-conditioning concept is dynamic computer simulation. This is the only way to combine and evaluate the influence of the building structure, the climate and the utilisation correctly. The thermal planning is supported by lighting simulation (see annex) so that convincing integrated solutions result. Both types of simulation can be dynamically coupled with tools developed at Fraunhofer ISE.

Figure 3 illustrates the concept chosen for the offices in the three wings: In winter, an exhaust air system for the offices ensures a basic air exchange rate of 30 m<sup>3</sup>/h per person. The outside air flows into the offices through slit valves in the window frames and onward into the corridor through ventilation slats above the doors, due to a pressure gradient. The exhaust air is removed centrally from the corridors and the heat it contains is supplied via the heat recovery system to the laboratories. The controlled ventilation improves the air quality in the densely occupied offices significantly. The system concept minimises the energy needed to achieve this, while taking account of the necessary fire precautions and noise protection.

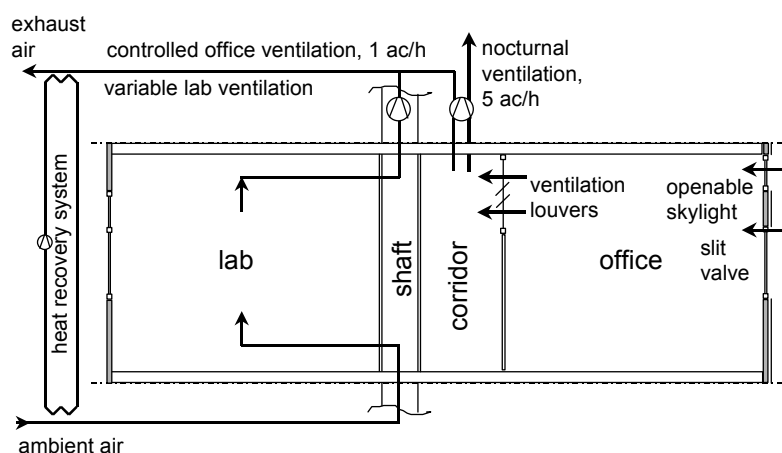


Fig. 3: The ventilation concept for the three wings, schematic cross-section through one storey

During the night, the exhaust air system operates with a higher air exchange rate and, combined with the freely suspended steel-concrete ceilings, ensures that the building is effectively cooled in summer. The nocturnal cooling prevents the room temperature from increasing steadily throughout long heat waves (see annex). In addition, the skylights will be opened manually, to reduce the pressure drop that would otherwise be caused by the high volume currents. It was only by dispensing with automatically operated windows that the investment costs for nocturnal ventilation could be justified.

An air-to-earth heat exchanger for cooling and pre-heating the inlet air is an additional component for the ventilation of the entrance block (figure 4). The seminar room, kitchen and canteen are located there, rooms with a higher heat generation rate and ventilation demand. The central atrium space functions as an inlet air volume for the offices, with the air flowing through slit valves in the office windows to the outside. Being a circulation area (in contrast to continuously occupied offices or laboratories), the atrium can tolerate a wide range of temperatures down to 15°C in winter. Costs were saved by installing the air-to-earth heat exchanger, with a throughput of 9,000 m<sup>3</sup>/h, in the service room for the shafts in the second underground storey of the access tract.

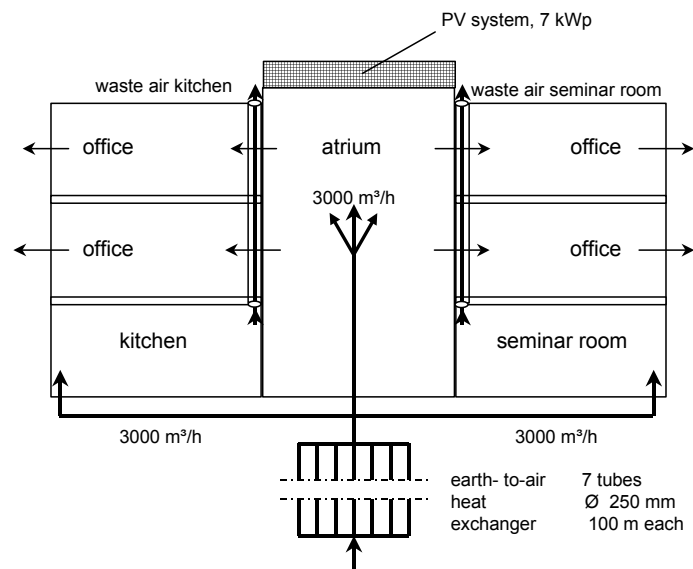


Fig. 4: The ventilation concept for the entrance building with central atrium and air-to-earth heat exchanger

In its function as a thermal buffer, the access tract does not have any heating. Again, the wider comfort tolerance in a circulation area was exploited to lower the investment costs. High thermal quality of the facade construction is a pre-requisite. Instead of installing shading devices for the fully glazed facade, summer overheating is prevented with free updraught ventilation facilitated by large ventilation flaps. Reversing the orientation of low-e glazing is a cost-neutral means for reducing the summer overheating load. This measure reduces the total solar energy transmittance of the glazing by 15 %.

### 3. Natural and artificial lighting for a high-quality working environment

Pleasant daylight conditions for the (computer) working areas already represented a decisive criterion in the initial design selection (cf Tab. 1): The wing structure results in favourable room depths, the chosen orientation minimises the area of east and west facades, which are undesirable due to the low position of the sun from these directions throughout the year (glare!). A room height of 3.3 m results from the functional distribution of offices and

laboratories over one storey. Combined with room depths of 5 m, the potential for making good use of daylighting is high.

The dialogue between the architects and engineers led to a facade type with four segments: spandrel, window, panel, clerestory. The clerestory extends up to ceiling height, so that light can enter from as high as possible. Solar control is provided by an external blind which can be let down to cover both the clerestory and the view window. If it is lowered completely, the blind slats close to block glare through the window, but remain in a horizontal position in front of the clerestory. Glass panes in the back walls above door height ensure that there is also plenty of daylight available in the corridors (fig. 5).

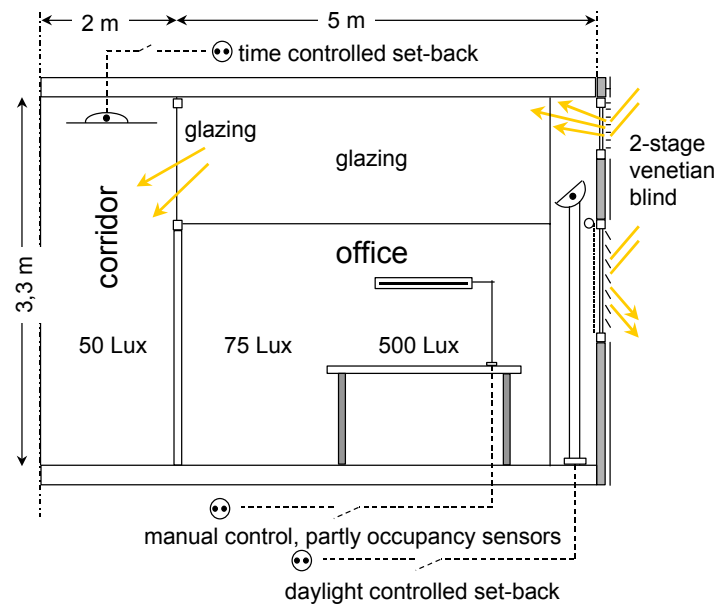


Fig. 5: The interaction between natural and artificial lighting.

In the first step, lighting simulation was applied to optimise the facade design and choice of luminaires with regard to the achievable illuminance distribution. The results of the subsequent annual simulations showed that daylight-regulated dimming of the artificial lighting cannot lead to significant savings, due to the high daylight supply (see annex). It is then decisive to install electronic controls which do not have any stand-by consumption. The resulting appropriate and flexible artificial lighting concept: Basic lighting with one indirectly illuminating standard floor lamp, which is turned off centrally once the daylight is bright enough; desk illumination with individual desk lamps. In zones with less favourable daylighting conditions, the desk lamp includes a module which turns the lamp off if the desk is unoccupied and dims the intensity in response to the amount of daylight. Costs for lighting control are incurred only where they will be amortised!

#### 4. The energy supply

Because of the high electricity demand throughout the year for the clean room, laboratories and workshops (including electric diffusion ovens with 300 kW power rating), the choice of an in-house, heat/electricity co-generation plant was obvious. A pre-requisite for its success is that the waste heat can be used throughout the year. This is achieved by combining a gas-powered heat/electricity co-generation plant with an absorption cooling machine to form a power/heat/cooling complex (fig. 7): Whereas the waste heat is used in winter for room heating, it can also be converted to cooling power for air-conditioning as needed. An auxiliary compression chiller and a gas-heated boiler allow the system to respond to power demand fluctuations. Despite the favourable operating conditions, the system only becomes

economically viable once the high priority for guarding against power failures is taken into account: The co-generation plant operates during a grid black-out as an emergency power supply and reduces the investment that would otherwise be needed for this function. Despite the ecological advantages, the present tariff structure of the electricity utility acts against night operation of the co-generation plant for economic reasons, so that a total of only 4500 operating hours per year had to be taken as the basis for calculation. With night operation, 5800 operating hours would be possible.

The investment costs are almost twice as high as for a conventional energy. However, the annual costs for energy supply are lower due to the consumption costs being 15 % lower. The amortisation period is expected to be eight years.

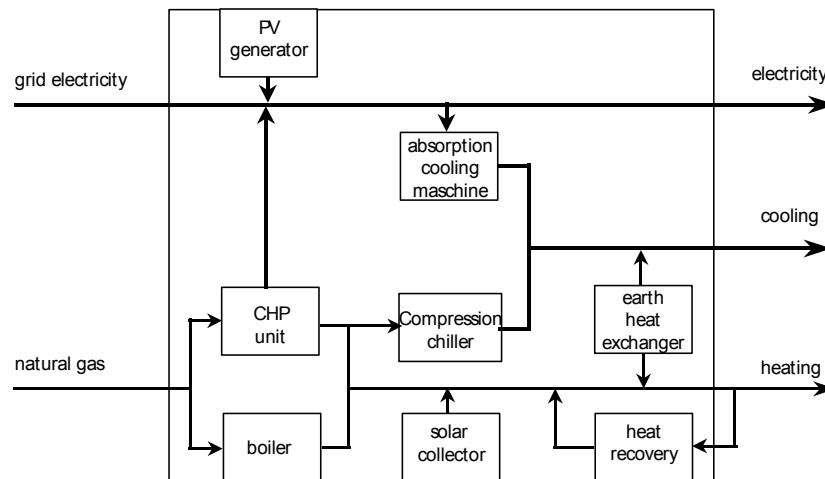


Fig. 6: The energy supply system.

The solar components in the power supply are:

70 m<sup>2</sup> of photovoltaic cells installed between double glazing in the southern faces of the sawtooth roof construction for the atrium (fig. 7) and 30 m<sup>2</sup> in the facade at the southern end of the access tract. With a TSET value of about 25 %, the modules contribute not only to thermal insulation but also to solar control.

100 m<sup>2</sup> photovoltaic modules installed inclined at the parapets of the wing buildings, and 20 m<sup>2</sup> solar collectors on the roof of the entrance block to heat water for the canteen.

Table 2: The energy supply specifications CGP: heat/electricity co-generation plant, ACM: absorption cooling machine, CCM: compression cooling machine, PV: photovoltaics)

	electricity kW	heating power kW	cooling power kW	area m <sup>2</sup>
CGP	230	370	-	-
boiler	-	690	-	-
AKM	-	-	350	-
CCM	-	-	780	-
PV	20	-	-	200
collectors	-	-	-	20

The aims of the concept, which combines energy saving and efficient energy supply, are to achieve a heating demand which is 40 % lower than that required by the legal regulations for building insulation, and to prevent an increase in the total demand for primary energy compared to the present situation, although the equipment and functionality of the laboratories and workshops have been upgraded significantly. In the new building, much of

the process cooling will be integrated into a central cooling system rather than using mains water and air cooling as at present.

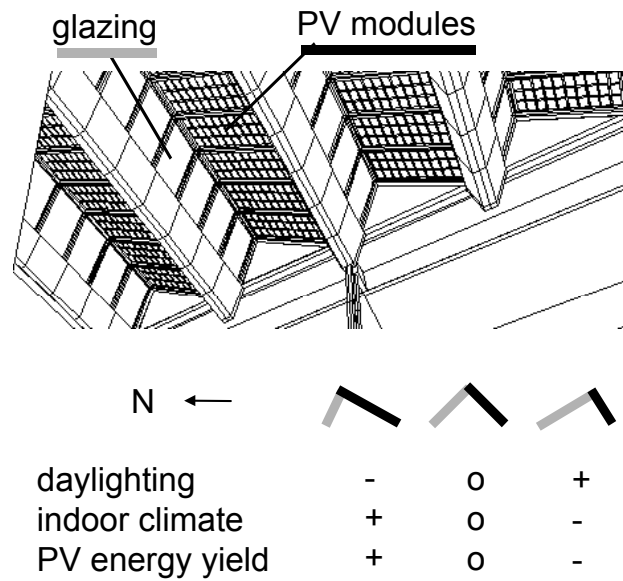


Fig. 7: Evaluation table for three different designs of the atrium roof glazing with photovoltaics.

In fig. 8, the primary and final energy demand is compared for the current situation, a conventional type of new building and the concept presented here. The electricity consumption of the equipment and the resulting process cooling demand dominate both in the existing buildings and the new premises. Critically checking the power connection ratings and energy consumption during the equipment purchase phase can reveal significant potential for energy saving and stimulate the market for energy-saving products !

Despite an increasing final energy demand, the primary energy demand will remain constant, above all due to the low heating energy demand and the power/heat/cooling complex. The same applies for emission of CO<sub>2</sub>. If the co-generation plant is also operated during the night, the primary energy demand will decrease. Around half of the electricity demand is met by the co-generation plant.

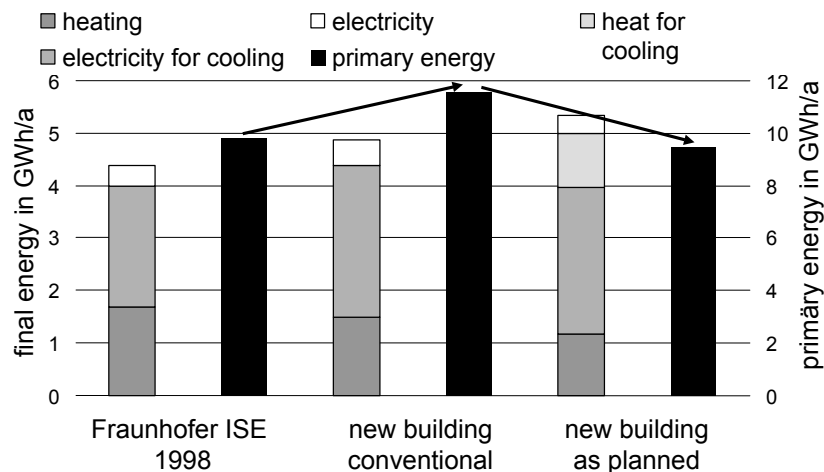


Fig. 8: Comparison of the final and primary energy consumption for three building variants.

## **5. Summary**

Institute buildings for high-technology research are energy gluttons. A successful approach to change this situation cannot rely primarily on architecture, but must aim for appropriate operating modes of the facilities and application of energy-saving criteria when equipment is purchased. The building concept presented here provides a motivation for such steps, because it is exemplary with respect to construction and building services technology. It fully deserves the label "exemplary", as it is an integrated concept which fulfils the diverse demands made on it, namely to be user-friendly, economically viable and environmentally beneficial.

## ANNEX

### Building simulation

The thermal performance of the building was dynamically simulated to evaluate its temperature behaviour in summer. As an example, figure A1 shows results used to optimise the nocturnal ventilation for a southern office: Without nocturnal ventilation, the number of hours characterised by overheating is unacceptably high (520 h). The mechanically assisted nocturnal ventilation via the exhaust air system halves this period. The effect is significantly smaller if only passive ventilation through window openings is possible.

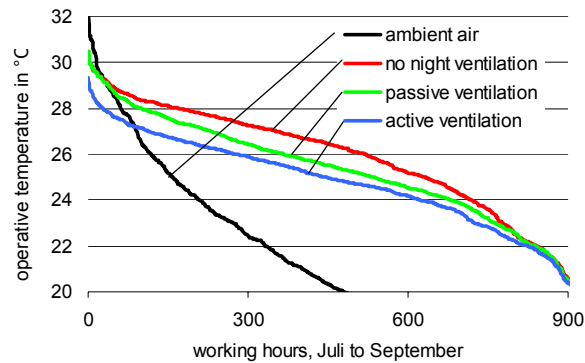


Fig. A1: Cumulative frequency distribution of the operative temperature in an office.

### Lighting simulation

Figure A2 shows the results of an annual simulation for a southern office and the adjoining corridor section. The daylighting autonomy factor describes the proportion of time during a year in which the investigated position in a room receives sufficient light from daylight alone. The reference period consists of the 2500 working hours per year, in which daylight is present. Enough daylight is available if the minimum illuminance of 300 lux for daylight-orientated working areas is exceeded (50 lux for circulation areas). For example, artificial light needs to be switched on during only 15 % of the daylight hours at a position 3 m into an unshaded office, as a result of the good planning!

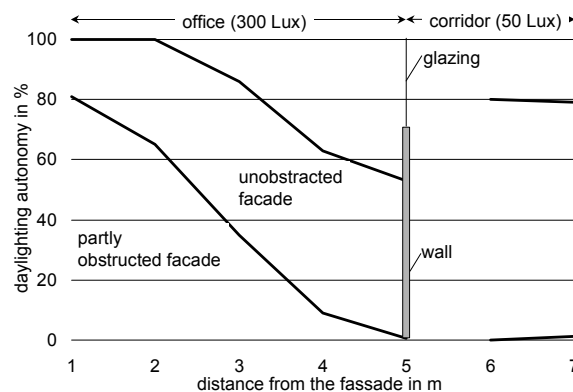
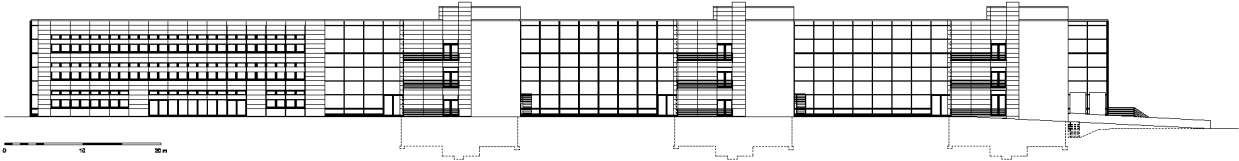
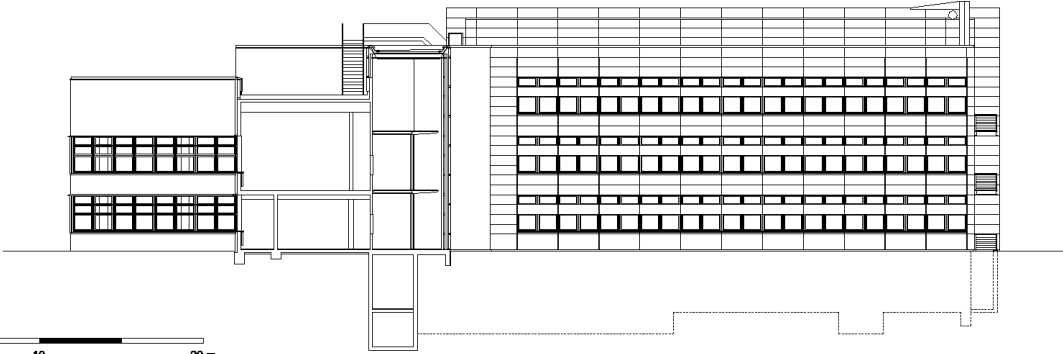


Fig. A2: Daylighting autonomy factor

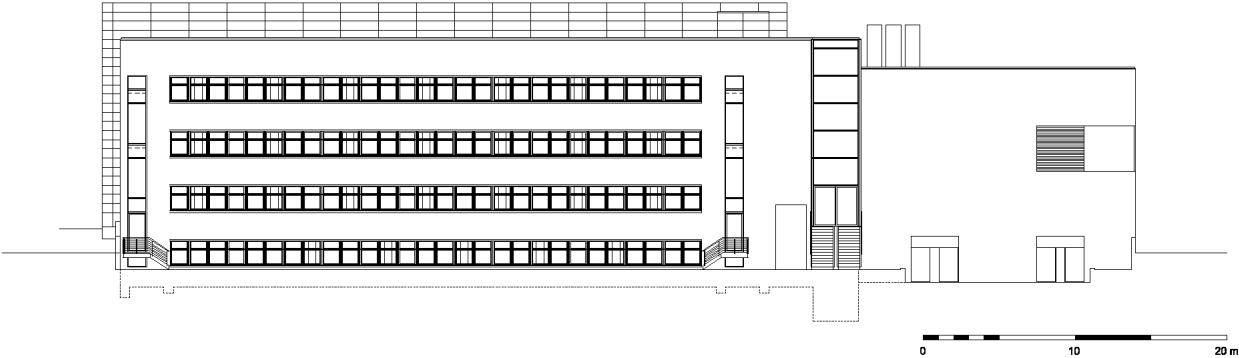
Plans  
Source: Dissing + Weitling, Kopenhagen



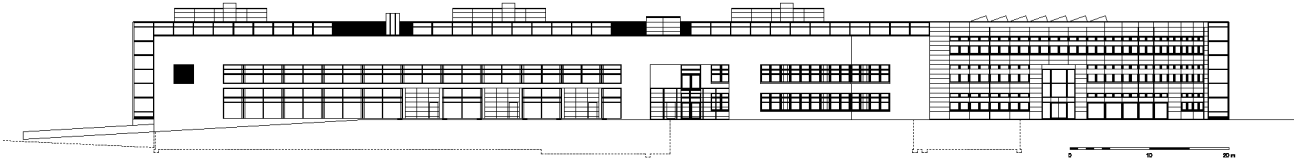
Aspect east



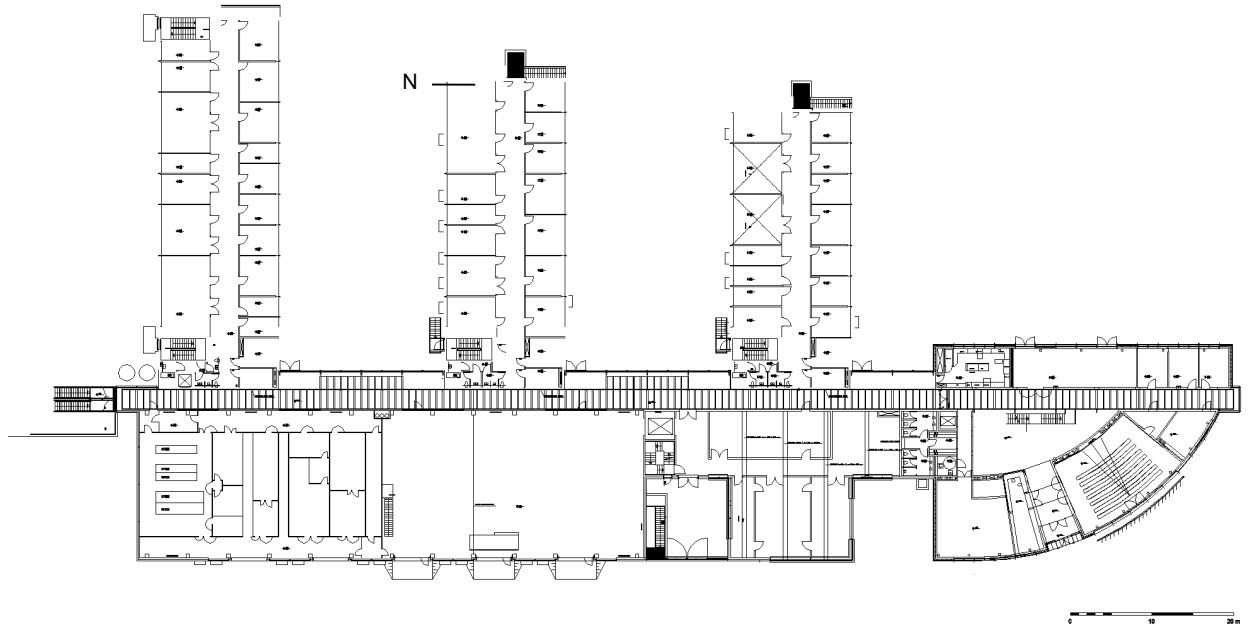
Aspect south



Aspect north



Aspect west



Floor plan of the ground storey

# THE INTEGRATED DESIGN PROCESS FOR LOW ENERGY OFFICE BUILDINGS

Ernst Blümel, Christian Fink, Werner Weiß  
 AEE INTEC, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE  
 Institut für Nachhaltige Technologien  
 Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf  
 Tel.: +43-3112 / 5886, Fax: DW -18  
 e-mail: office@aee.at

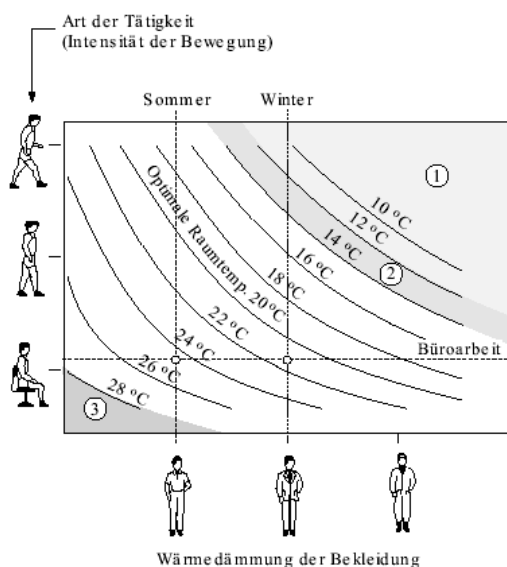
## 1 Einleitung

Der Betrieb von hunderttausenden Büro- und Verwaltungsgebäuden in Europa sorgt für einen enormen jährlichen Energieverbrauch. Nicht nur die Wärmeversorgung spielt in dieser Hinsicht eine Rolle, sondern in zunehmendem Maße ist es die Klimatisierung, die entscheidende Anteile am Energieverbrauch einnimmt. So beträgt alleine der Kühlbedarf im Jahr 2000 in Büro- und Verwaltungsgebäuden innerhalb der EU 193 PJ, was einem Erdöläquivalent von 4.608 Mto gleichkommt (EU, 2000) - bei steigender Tendenz.

In Jahreskostenbetrachtungen von Dienstleistungsunternehmen dominieren in der Regel die Gehälter der Mitarbeiter. Energiekosten machen in solchen Aufstellungen zumeist nur einen kleinen Teil aus. Wegen der hohen Bedeutung der Personalausgaben, stehen für die Betriebe optimale Bedingungen am Arbeitsplatz im Mittelpunkt bei Gebäudeplanungen bzw. sind häufig Anlass für Sanierungsarbeiten. Nur mit Gebäuden hoher Nutzungsqualität (Behaglichkeit) lassen sich langfristig gesehen sichere Renditen erzielen.

## 2 Behaglichkeit bei geringstem Energieverbrauch

Ein wesentlicher Faktor bei der Beurteilung von „Nutzungsqualität“ und „Behaglichkeit“ ist die Temperatur am Arbeitsplatz. Wobei sich Menschen gegen niedrige Temperaturen sogar besser schützen können als gegen hohe. Eine Schweizer Studie (M. Zimmermann, 1999) zeigt deutlich, dass ein Mensch in sommerlicher Bekleidung und sitzender Beschäftigung bei einer Raumtemperatur von 23°C seine höchste Leistungsfähigkeit besitzt. Steigt die Temperatur darüber, sinkt die Leistungsfähigkeit enorm. Bei Temperaturen am Arbeitsplatz von beispielsweise 28°C sinkt die Produktivität um 25%.



einer Raumtemperatur von 23°C seine höchste Leistungsfähigkeit besitzt. Steigt die Temperatur darüber, sinkt die Leistungsfähigkeit enorm. Bei Temperaturen am Arbeitsplatz von beispielsweise 28°C sinkt die Produktivität um 25%. Berücksichtigt man die Ergebnisse einer Studie der Arbeiterkammer Wien (Arbeiterkammer Wien, 2001), die besagt, dass 28,3 % aller Erwerbstätigen über zu hohe Temperaturen am Arbeitsplatz klagen, zeigen diese Zahlen enormes Steigerungspotenzial der Produktivität durch Steigerung der Behaglichkeit.

Abbildung 1: Mittlere behagliche Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Art der Tätigkeit und der Bekleidung (ISO EN 7730)

Raumtemperatur = Mittelwert von Lufttemperatur und Temperatur der Umgebungsflächen

- ① für Arbeitsplätze zu tiefer Temperaturbereich
- ② für Arbeitsplätze bedingt geeigneter Temperaturbereich (z.B. in Kühlbereichen in der Lebensmittelverarbeitung)
- ③ für Arbeitsplätze zu hoher Temperaturbereich (Ausnahme: einige heiße Sommertage)

Im Vergleich zu Wohngebäuden benötigen Büro- und Verwaltungsgebäude bei meist geringerem Wärmebedarf (höhere interne Lasten) also wesentlich mehr elektrische Energie (durch

Beleuchtung, EDV und Klimatisierung). Innerhalb einer Schweizer Studie (Weber et al, 1999) wurden 100 Bürogebäude hinsichtlich ihres Energieverbrauchs (Strom und Wärme) messtechnisch untersucht. Im Durchschnitt ergab sich für die untersuchten Objekte ein Endenergieverbrauch von 215 kWh/m<sup>2</sup>a, wobei 56% auf die Wärmeversorgung (Raumwärme und Brauchwasser) bzw. 44% auf die Stromversorgung (EDV, Klimatisierung, Beleuchtung, etc.) entfielen. Bezogen auf den Primärenergiebedarf ergab sich ein spezifischer Verbrauch von 408 kWh/m<sup>2</sup>a, worin 2/3 der Elektrizität und 1/3 fossile Brennstoffe ausmachen. In der isolierten Betrachtung des Stromverbrauchs liegt Klimatisierung mit 36% voran. Eine andere Untersuchung aus Deutschland (Eicker, 2001) ergab, dass für die Klimatisierung von durchschnittlichen bestehenden Bürogebäuden etwa 50 kWh/m<sup>2</sup>a an Endenergie aufgewendet werden muss. Aus diesen Zahlen wird deutlich, dass die Betriebskosten für die Klimatisierung aufgrund des höheren Strompreises über den Betriebskosten für die Wärmeversorgung liegen. Diese Entwicklung wurde in den letzten Jahren noch durch folgende Aspekte unterstützt:

- Die internen Wärmelasten haben - bedingt durch den verstärkten Einsatz von EDV und Bürogeräten - stark zugenommen.
- Es wurden in den letzten Jahren zunehmend Strategien entwickelt (auch in den Wärmeschutzverordnungen), den Heizenergiebedarf zu minimieren. Dazu zählen Maßnahmen wie die Verbesserung der opaken Wärmedämmung, die passive Sonnenenergienutzung über Verglasungen, die verbesserte Luftdichtigkeit der Gebäudehülle, der Einsatz von Lüftungsanlagen, etc.. Für die Kühllast im Sommer haben diese Maßnahmen aber häufig negative Auswirkungen. Einerseits können durch die verbesserte Qualität des Gebäudes die hohen internen Wärmelasten nicht mehr abgeführt werden und andererseits bedeutet ein hoher Verglasungsanteil am Gebäude sowie eine konventionelle Lüftungsanlage (durch eintretende wärmere Außenluft) erhöhte externe Lasten.

Somit müssen in Büro- und Verwaltungsgebäuden grundsätzlich andere bzw. zumindest ergänzende Ansätze zur Reduktion des Primärenergiebedarfs und zur Schaffung von behaglichen Raumbedingungen verfolgt werden, als beispielsweise im Wohnungsbau. Sämtliche Maßnahmen müssen nicht nur für den Winterfall, sondern auch für den Sommerfall betrachtet werden, da vielfach kontraproduktive Auswirkungen auftreten. Lastenreduktion für Heizung und Kühlung sowie Deckung der verbleibenden Heiz- und Kühllasten mit möglichst erneuerbaren Energieträgern in Kombination mit einfacher Gebäudetechnik zeichnen innovative Energiekonzepte aus, erfordern aber integrale Planungs- und Bauabläufe bei frühzeitiger Einbindung von Energietechnikern.

### **3 Wärmeschutz und Heizlasten**

Die konsequente Entwicklung von Niedrigenergie- und Passivhausstandards im Wohnbau machte es möglich, dass mittlerweile auch zahlreiche Büro- und Verwaltungsbauten mit geringstem Wärmebedarf errichtet wurden. Die thermische Qualität von Bauteilen (opak und transparent) wurde dabei soweit reduziert, dass im Falle des Passivhausstandards spezifische Heizlasten von 10 W/m<sup>2</sup> und kleiner erreicht werden können. Neben der Verbesserung der U-Werte der Bauteile (opake Bauteile < 0,12 W/m<sup>2</sup>K, transparente Bauteile < 0,7 W/m<sup>2</sup>K) kommt der Lüftungswärmerückgewinnung höchste Bedeutung zu. Die hygienisch erforderliche Mindestluftmenge für Bürogebäude (20 – 30 m<sup>3</sup>/h und Person in Nichtraucherbüros, 40 bis 70 m<sup>3</sup>/h und Person in Raucherbüros) kann aus hygienischer und energetischer Sicht nur über eine kontrollierte Be- und Entlüftung sinnvoll bereitgestellt werden, was entsprechende Anforderungen an die Luftdichtigkeit des Gebäudes voraussetzt (Drucktestluftwechsel  $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ ). Die hier verwendeten Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung besitzen Rückgewinnungsgrade über 80%. Aufgrund der geringen spezifischen Heizlasten kann sogar die Beheizung über den hygienischen Luftwechsel erfolgen und ein konventionelles Wärmeverteilsystem entfallen.

In Büro- und Verwaltungsgebäuden können im Vergleich zu Wohnbauten aufgrund der hohen internen Gewinne (Personen, EDV, Beleuchtung, Geräte) und der zumeist kompakteren Bauformen sogar noch geringere spezifische Heizlasten erreicht, oder die Bauteilqualität kann etwas verschlechtert (ökonomische Vorteile) werden. Wärmeschutz auf höchstem Niveau kann also auch im Büro- und Verwaltungsbau bei vertretbaren Kosten und höchster Behaglichkeit realisiert werden.



Abbildung 2: Einfamilienwohnhaus entsprechend des Passivhausstandards

## 4 Kühllasten und Passive Kühlsysteme

Eine Gebäudekühlung ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht nur dann sinnvoll und zu vertreten, wenn zuerst kostengünstigere bauliche Maßnahmen für einen sommerlichen Wärmeschutz berücksichtigt wurden. Das Gebäudeverhalten bei hohen Außentemperaturen und hoher Einstrahlung kann wesentlich durch Parameter, wie Büroorientierung, Speichermasse, Sonnenschutz (Verschattung) beeinflusst werden. Bei guter Abstimmung dieser Parameter kann sowohl die maximale Gebäudekühllast als auch der Jahresenergiebedarf für die Gebäudekühlung erheblich reduziert bzw. im Optimalfall eine Kühlung überhaupt eingespart werden.

### 4.1 Speichermassen, externe und interne Kühllasten

#### 4.1.1 Speichermassen

Die Speichermasse des Gebäudes ist das Stabilisierungselement der Raumtemperatur. Je größer die Speichermasse, desto gleichmäßiger die Innentemperaturen. Die Funktion der Speichermasse beruht darauf, dass am Tag ein Teil der im Innenraum anfallenden Wärme gespeichert und nachts wieder entladen wird. Dies bewirkt einen Ausgleich der Raumtemperatur zwischen Tag und Nacht. Wird in der Nacht die Speichermasse mit kühler Luft „umspült“, so kann auf diese Weise ein Kühleffekt für die folgenden Tagstunden bewirkt werden. Die Auskühlperiode sollte dabei mindestens 5 Stunden dauern, um eine merkbare Verbesserung zu erzielen.



Abbildung 3: Speichermassen in einem Bürogebäude

Voraussetzung für den thermischen Tag-Nacht-Ausgleich ist, dass die thermische Speichermasse im Raum wirksam ist. Dazu ist notwendig, dass die als

thermische Speicher vorgesehenen Bauteile aus geeignetem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und guter Wärmespeicherfähigkeit bestehen (Beton, schweres Mauerwerk, usw.). Entscheidend für die Wirkung sind die raumseitig obersten 10 cm.

#### 4.1.2 Externe Lasten

Die externen Lasten setzen sich überwiegend aus solaren Gewinnen und Lüftungswärmegewinnen zusammen.

Für externe Lasten durch Solargewinne kann, ausgehend von einer sehr guten Außenverschattung ( $b$ -Wert  $< 0,15$ ) in Verbindung mit unterschiedlichen Verglasungsarten, ein Richtwert von  $10 - 20 \text{ W/m}^2$  Büro Nutzfläche angegeben werden. Basis dafür sind sommerliche Einstrahlungsmaxima auf vertikale Fassaden von  $600 \text{ W/m}^2$  bis  $700 \text{ W/m}^2$  und ein Verhältnis zwischen Verglasungsfläche und Büro Nutzfläche von 1:5.

Bei einem Luftaustausch zwischen innen und außen entsteht ein Lüftungswärmegewinn, da warme Raumluft durch heiße Außenluft ersetzt wird. Er wird bei der Auslegung der Kühleinrichtungen und Kühlflächen zur Kühlung von Gebäuden durch den Norm-Lüftungsbedarf berücksichtigt. Der Lüftungskühlbedarf ist die stündlich aufzubringende Kühlmenge, um die Luft des aus dem Luftwechsel herrührenden Luftvolumenstromes von der Außentemperatur auf die Innentemperatur zu kühlen. Für Nichtraucherbüros und einer durchschnittlichen Flächenbelegung von  $18 \text{ m}^2/\text{Person}$  ergibt sich erfahrungsgemäß eine Wärmelast von bis zu  $5 \text{ W/m}^2$ .

#### 4.1.3 Interne Lasten

Interne Lasten setzen sich aus der Abwärme von EDV- und Bürogeräten, der Beleuchtung sowie aus der Personenabwärme zusammen.

##### Einfluss von EDV- und Bürogeräten

Für die Bestimmung des Kühlleistungsbedarfs stellen in der warmen Jahreszeit die elektrischen Geräte in der Regel die bedeutendste interne Last dar. In der Quantifizierung der Geräteabwärmen ist allgemein zu bemerken, dass die Leistungsaufnahmen der meisten EDV- und Bürogeräte in den letzten Jahren durch den technologischen Fortschritt signifikant reduziert wurden. Der elektrische Jahresverbrauch eines PC's (ohne Monitor) reduzierte sich beispielsweise in den letzten Jahren von rund  $170 \text{ kWh}$  unter  $40 \text{ kWh}$ . Trotzdem hat die dem Raum zugeführte Wärmelast in der Regel eher zu- als abgenommen. Die Gründe dafür liegen einerseits in der erhöhten Gerätedichte und andererseits in der Zunahme der täglichen Betriebsdauer. Bei Verwendung von effizienten Bürogeräten kann von spezifischen Lasten zwischen  $5$  und  $10 \text{ W/m}^2$  ausgegangen werden.

##### Einfluss der Beleuchtung

Durch ineffiziente Geräte bzw. ineffizienten Einsatz kann das Beleuchtungssystem zu großen Wärmelasten führen. Deshalb ist es primär wichtig, dass die künstliche Beleuchtung bedarfsabhängig ein- und ausgeschaltet wird und nicht automatisch einem Ganztagesbetrieb unterworfen wird. Die dafür notwendige moderne Lichtregelung verbindet Präsenzmelder und Tageslichtsensoren. Letztere unterscheiden zwischen Tages- und Kunstlicht um eine Selbstbeeinflussung zu vermeiden. Moderne Bürobeleuchtungen sind mit einer installierten Leistung von  $5 - 10 \text{ W/m}^2$  und einer Beleuchtungsstärke von  $300$  bis  $400 \text{ Lux}$  realisierbar. Voraussetzung dafür sind möglichst direkt leuchtende Leuchtstofflampen in hellen Räumen. Ebenso reduzieren Konzepte zur speziellen Nutzung des Tageslichtes den Energiebedarf für Beleuchtung in Bürogebäuden erheblich.

##### Einfluss der Personen

Bei Ausführung von typischen Bürotätigkeiten und einer Raumlufttemperatur von  $23^\circ\text{C}$  produziert eine Person etwa  $120 \text{ W}$  Wärmeleistung (VDI 2078). Stellt man weiters typische Belegungsdichten für Bürogebäude in Rechnung, so müssen für die Raumlastbestimmung im Einzelbüro bspw.  $5 \text{ W/m}^2$  über max.  $9$  Std. und im Großraumbüro  $7 \text{ W/m}^2$  über durchschnittlich  $6$  Std. berücksichtigt werden (Zimmermann, 1999). In Sitzungsräumen ist

der Anteil der Personenabwärmen noch wesentlich höher. Hier beträgt er oft die Hälfte bis 2/3 der gesamten Wärmelast.

## 4.2 Passive Kühlsysteme

### 4.2.1 Natürliche und mechanische Nachtlüftung

Das mitteleuropäische Klima bietet gute Voraussetzungen für die passive Kühlung mit natürlicher und mechanischer Lüftung, da auch während der heißesten Sommertage die Nächte auf etwa 20°C abkühlen. Diese Temperaturen können bei der Einhaltung definierter Rahmenbedingungen ausreichen, um die Wärmelasten des Tages abzuführen.

Die wesentlichen Rahmenbedingungen für das Konzept der Nachtlüftung sind:

- Begrenzung der Wärmelasten (Summe aus internen und externen Lasten max. 150 Wh/m<sup>2</sup>)
- Speichermasse im Gebäudeinneren
- Auf die Nachtlüftung abgestimmtes Lüftungskonzept

Die natürliche Lüftung braucht Lüftungsöffnungen und Druckdifferenzen, wobei die Lage der Lüftungsöffnungen keine wesentliche Rolle spielt. So können über offene Fenster große Luftbewegungen mit Luftwechselraten von über 10 h<sup>-1</sup> erreicht werden (Zimmermann, 1999). Der große Vorteil bei der natürlichen Lüftung liegt im effizienten Luftaustausch mit geringen Betriebskosten. Nachteilig kann sich jedoch bei natürlicher Lüftung ein unerwünschter Wärmeeintrag am Tag auswirken, wenn die Fenster nicht geschlossen werden.

Die mechanische Lüftung bietet im Gegensatz zur natürlichen Lüftung konstante, planbare

Luftwechselraten, stößt hingegen, auf Grund der stark steigenden Investitions- und Betriebskosten, rasch an ihre Grenzen. Sinnvolle Luftwechselraten liegen daher nur im Bereich des hygienischen Luftwechsels.

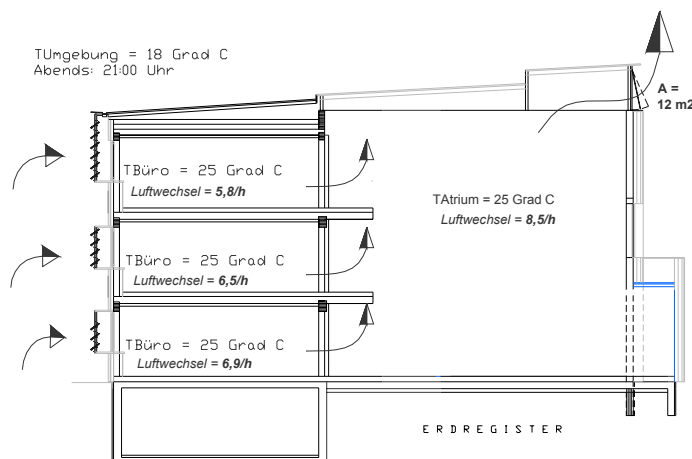
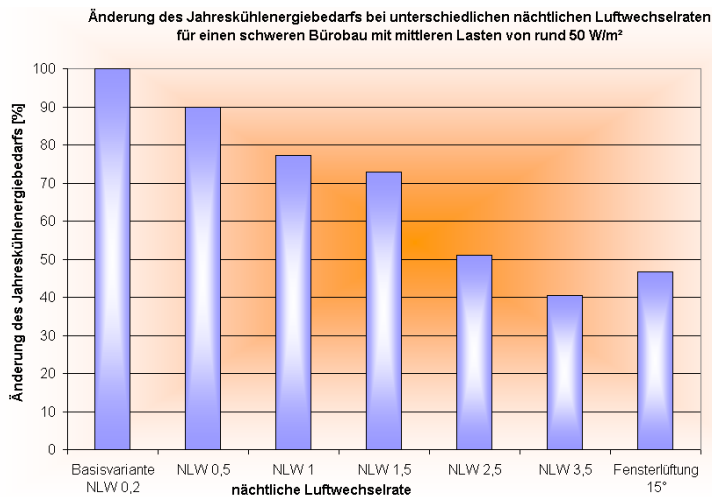


Abbildung 4: Prinzipschema der natürlichen Nachtlüftung über ein Atrium

Nachfolgend werden sowohl mechanische also auch natürliche Nachtlüftungsvarianten auf ihre energetische und ökonomische Effizienz betrachtet. Dazu wurden unterschiedliche Nachtlüftungsvarianten an Hand eines „schweren“ Bürogebäudes mit mittleren spezifischen Lasten von rund 50 W/m<sup>2</sup> Büronutzfläche untersucht (Fink et. al., 2002).

Bei sechs Varianten wurde der stündliche Nachtluftwechsel mechanisch bereitgestellt (NLW 0,2 bis 3,5), bei einer Variante wurde eine Fensterlüftung über 15° geneigte Fenster gewählt.

Im Vergleich zum Reduktionspotenzial der maximalen Kühllast können Nachtlüftungskonzepte den Jahreskühlenergiebedarf erheblich senken (Abbildung 5). Bei dem betrachteten Gebäude („schwere“ Bauweise und spezifische Kühllast von 50 W/m<sup>2</sup>) kann durch einen 3,5-fachen Nachtluftwechsel der Kühlenergiebedarf um bis zu 60% reduziert werden. Auch die Fensterlüftung schneidet in dieser Betrachtung mit einer Verringerung von über 50% sehr gut ab.



Ein sorgfältiges Abwägen zwischen Kühlenergieeinsparung und Erhöhung der Kosten für den Lufttransport ist somit sinnvoll und notwendig. Grundsätzlich sollten jedoch aus energetischer und ökonomischer Sicht natürliche Nachtlüftungskonzepte bevorzugt werden.

Abbildung 5: Änderung des Jahreskühlenergiebedarfs bei unterschiedlichen nächtlichen Luftwechselraten für einen schweren Bürobau mit mittleren Lasten von rund 50 W/m<sup>2</sup> (Fink et. al., 2002)

Die hier aufgezeigten Potenziale von Nachtlüftungen sind als Richtwerte zu sehen. Für eine detaillierte Auslegung ist eine Systemsimulation bzw. eine dynamische Gebäudesimulation, durchzuführen.

#### 4.2.2 Luftdurchströmter Erdreichwärmetauscher (L-EWT)

Das Prinzip, auf welchem der Einsatz von luftdurchströmten Erdreichwärmetauschern (L-EWT) basiert, ist grundsätzlich ein sehr einfaches. Im allgemeinen nutzen sie die saisonale thermische Speicherfähigkeit des Erdreichs, die sich in einer zeitlichen Verzögerung des Temperaturverlaufs im Erdreich gegenüber dem Temperaturverlauf der Umgebungsluft zeigt.

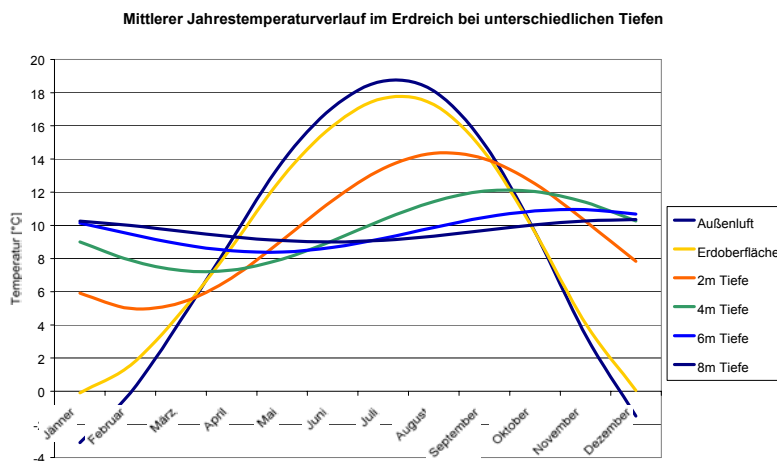


Abbildung 6: Jahrestemperaturverlauf der Außenluft, Erdoberfläche und dem Erdreich in verschiedenen Tiefen für den Bodentypen „Kies – trocken“, Standort Graz. Die Grafik basiert auf Monatsmittelwerten.

Abbildung 6 zeigt deutlich, dass mit zunehmender Tiefe eine größere, nutzbare Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Erdreichtemperatur erreicht werden kann. Werden zudem statt der Außentemperaturen im Monatsmittel beispielsweise Stundenmittelwerte betrachtet, können kurzfristig wesentlich höhere Temperaturdifferenzen festgestellt werden. Dieser Zusammenhang zeigt klar, dass der prädestinierte Einsatzfall von L-EWT die Dämpfung von hohen Außentemperaturspitzen (und damit Leistungsspitzen) im Zusammenhang mit zu konditionierenden Gebäuden ist.

Der L-EWT als passives Kühlkonzept kann im Büro- und Verwaltungsbau sowohl monovalent als auch bivalent eingesetzt werden. Als alleiniges Kühlsystem macht ein L-EWT aus ökonomischer Sicht nur dann Sinn, wenn die Luftwechselrate nicht wesentlich über den hygienischen Luftwechsel erhöht werden muss. Sind die Raumlasten deutlich höher, so

empfiehlt es sich, den L-EWT für die hygienische Luftmenge auszulegen und die Rest-Kühlleistung über ein Wassersystem abzuführen.

Um den Einfluss der wesentlichen energetischen Größen zu verdeutlichen, wurde anhand eines definierten L-EWT (Eckdaten: Einzelrohr, unter freiem Gelände verlegt, 500 m<sup>3</sup>/h Dauerbetrieb, Rohrmaterial PVC, DN 200, Länge = 50 m, Verlegetiefe = 2 m, feuchte Erde, Standort Graz) eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Jede der betrachteten Einflussgrößen (Volumenstrom, Querschnitt, Verlegetiefe, Länge, Rohrmaterial und Erdreich) wurde einzeln verändert und die Auswirkungen auf die Energieerträge untersucht. Aus Abbildung 7 kann gelesen werden, in welchem Ausmaß sich die Veränderung einer Einflussgröße (in Prozent) auf den Energieertrag (ebenfalls in Prozent) auswirkt. Dabei wurden die Ergebnisse der Ausgangsvariante (siehe obige Angaben) mit 100% definiert.

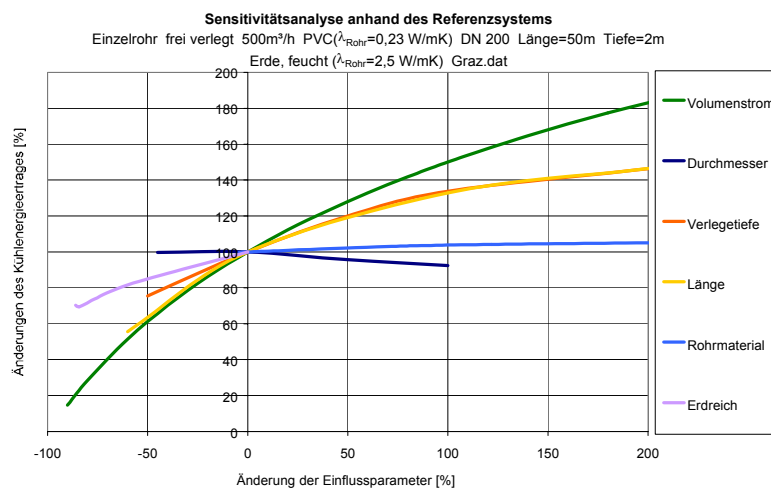


Abbildung 7: Prozentuelle Änderung des Gesamtenergieertrages für Heiz- und Kühlbetrieb des definierten L-EWT in Abhängigkeit einzelner Einflussgrößen

Die größte Sensitivität zeigt der Parameter Volumenstrom. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass für einen sinnvollen Betrieb

des L-EWT auch der entstehende Druckverlust von entscheidender Bedeutung ist. Weitere Größen mit entscheidender Sensitivität sind die L-EWT Länge, die Verlegetiefe sowie die Zusammensetzung des Erdreichs. Als Parameter mit eher geringem Einfluss auf die Energieerträge des definierten L-EWT zeigen sich der Querschnitt sowie das Rohrmaterial. Für eine Grobauslegung eines L-EWT können folgende Erfahrungswerte herangezogen werden:

- Luftgeschwindigkeit im L-EWT: 1 – 5 m/s (mit einem maximalen Druckverlust von 1 – 1,5 Pa/m Rohr)
- Achsabstand: ~ 1 m
- Rohrlänge: > 30 m
- Verlegetiefe: 1,5 – 4 m

Bei dieser Dimensionierung erreichen L-EWT's einen spezifische Kühlenergieertrag von bis zu 300 Wh/m<sup>2</sup>d. Bezogen auf die Verlegefläche kann eine spezifische Kühlleistung von 40 – 60 W/m<sup>2</sup> angesetzt werden.

Für eine detaillierte Auslegung ist ein Simulationsprogramm zu verwenden.

### 4.3 Wasserdurchströmter Erdreichwärmetauscher (W-EWT) und Betonkernaktivierung (BKA)

Der wesentliche Unterschied zum Funktionsprinzip von L-EWT ist, dass die spezifische Wärmekapazität und die Dichte von Wasser bedeutend größer sind als die von Luft. Das hat beim Transport von Energie grundsätzlich den Vorteil, dass für die gleiche Leistung ein geringerer Volumenstrom erforderlich ist. Damit einher geht auch ein geringerer Bedarf an Förderenergie.

Neben der Variante des erdreichverlegten, wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschers besteht auch die Möglichkeit, die Betonfundamente (Fundamentplatten oder Pfähle) mit integrierten Rohrleitungen zu versehen. Allerdings ist es notwendig, zwischen

Fundamentplatten und den Räumen des Gebäudes eine Dämmschicht anzuordnen, um einen direkten Wärmefluss zwischen der Wärmesenke und den Räumen zu vermeiden.

Als besonders interessant haben sich Tiefensonden bzw. hydraulisch durchströmte Erdpfähle – vor allem bei der Kopplung mit Wärmepumpen auch zur Raumwärmeversorgung – gezeigt. Wasser wird dabei in erdverlegten Leitungssystemen (30 – 150 m tiefe Bohrungen) umgewälzt. Zur direkten Nutzung der Erdkühle ist hier vor allem die Bauteilaktivierung zweckmäßig

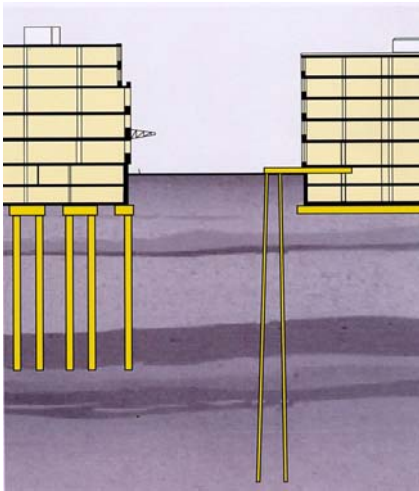


Abbildung 8: Energiepfähle und Tiefensonden (Bildquelle: EMPA, Dübendorf, Schweiz)

Die Realisierung von W-EWT bzw. Tiefensonden eignet sich sehr gut in Verbindung mit einer Bauteilkühlung. Es wird dabei die Speichereigenschaft der wasserdurchströmten Gebäudebauteile (z.B. massive Betondecken, Fußböden, etc.) genutzt. Mit diesem Konzept müssen die im Raum anfallenden Wärmelasten von Personen, Geräten und der solaren Einstrahlung nicht sofort abgeführt, sondern können in der Bauteilmasse zwischengespeichert werden. Die anfallenden Kühlwassertemperaturen zur Beaufschlagung des W-EWT werden dadurch geglättet

und bewegen sich, im Vergleich zu Außentemperaturschwankungen (L-EWT), in einem relativ engen Bereich.

Die Bauteilmasse hat eine größere Energiemenge gespeichert, wodurch der W-EWT im Stande sein muss, das vorhandene Temperaturniveau über einen längeren Zeitraum abführen zu können, ohne bleibende Ermüdungserscheinungen im Erdreich zu verursachen. Treten Ermüdungserscheinungen auf, würde die Leistungsfähigkeit des W-EWT dadurch sinken. Gezielte Regelstrategien mit ausreichenden Regenerationsphasen sind somit vorzusehen.

Zur Verdeutlichung der Wirkungsweise einer Betonkernaktivierung werden nachfolgend Temperatur- und Leistungsverläufe eines Büroraums mit Bauteilaktivierung (Simulation eines Büroraums mit TRNSYS (TRNSYS, 2000)) dargestellt. Als fixe Randbedingung wurde der BKA in diesem Beispiel eine konstante Kühlvorlauftemperatur 20°C aufgeprägt. Abbildung 9 zeigt die sich unter diesen Rahmenbedingungen ergebenden Verläufe der Raumtemperaturen, Kühlwassertemperaturen und Bauteilleistungen für eine heiße Sommerwoche (Fink et. al., 2002).

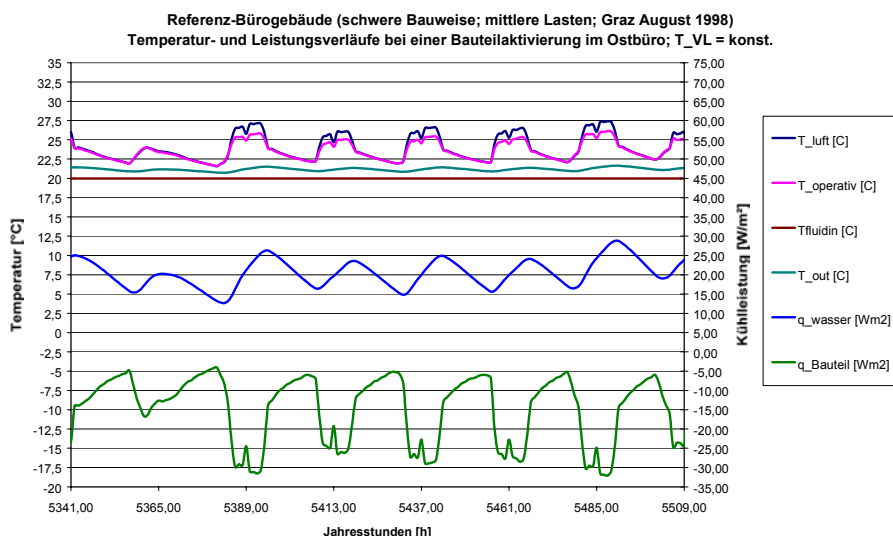


Abbildung 9: Beispielhafte Darstellung der Temperatur- und Leistungsverläufe einer Bauteilaktivierung bei einer konstanten Kühlwassertemperatur von 20°C (Fink et. al., 2002).

Deutlich ist unter diesen Annahmen das Prinzip der Bauteilaktivierung erkennbar. Tagsüber werden wesentlich höhere Energiemengen im massiven Bauteil eingelagert (Kühllasten von bis zu  $32 \text{ W/m}^2$  werden aus dem Raum abgeführt), als über den Kühlwasserkreislauf abgeführt werden. In den Abend- und Nachtstunden wird dann zeitverzögert die Energie über das Kühlwassersystem aus den massiven Bauteilen transportiert und der Wärmesenke zugeführt (in diesem Fall einer idealen Kühlung). Dieses Prinzip lässt sich sehr gut mit dem Prinzip des W-EWT koppeln.

Die Rücklaufftemperatur aus der Betonkernaktivierung (Vorlauf des W-EWT) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit eines W-EWT. Je geringer die Differenz zwischen Raumtemperatur und Wassertemperatur gehalten werden kann, desto effizienter wird ein W-EWT. Simulationsrechnungen haben gezeigt, dass bei operativen Raumtemperaturen von  $26^\circ\text{C}$  Vorlauftemperaturen von  $22^\circ\text{C}$  in die Betonkernaktivierung die Grenzen des Systems darstellen.

Zahlreiche Parametervariationen lassen den selben Schluss zu: Horizontale W-EWT ermöglichen bei dauerhaftem Betrieb eine Kühlleistungsentnahme aus dem Erdreich von maximal  $10 \text{ W/m}^2$  Verlegetfläche, was gleichzeitig etwa einem Energieentzug von  $240 \text{ Wh/m}^2\text{d}$  entspricht. Nur feuchtes Erdreich mit Grundwassereinfluss zeigt eine höhere Sensitivität und kann  $20 \text{ W/m}^2$  bzw.  $480 \text{ Wh/m}^2\text{d}$  erreichen. Tiefensonden liefern im Vergleich hierzu spezifische Kühlleistungen von 20 bis  $50 \text{ W/m}$  Sondenlänge (in Abhängigkeit der Erdreichzusammensetzung, der Auslegung und des Betriebs).

## 5 Energieverteilung und Energieabgabe

Wie bereits behandelt, ist in Bürogebäuden eine hygienische Mindestluftmenge von  $20 - 30 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Person erforderlich. Diese Mindestluftmenge kann aus hygienischer und energetischer Sicht nur über eine kontrollierte Be- und Entlüftung sinnvoll bereitgestellt werden.

Die erforderliche Frischluftmenge kann dabei gleichzeitig zur Beheizung und Kühlung der Büroräume herangezogen werden, ohne dass zusätzliche Kosten für den Transport der Heiz- oder Kühlenergie anfallen. Das heißt, die Außenluft wird zentral angesaugt und nach der Erwärmung bzw. Abkühlung dem Raum zugeführt. In Passivhäusern reichen die Luftmengen in der Regel aus, um die sehr geringen Heizlasten durch Erwärmung der Zuluft kompensieren zu können. Können auch die Kühllasten sehr gering gehalten werden (komfortable Lufteinblastemperaturen sind zu beachten), stellt das Lüftungssystem ein vollwertiges Wärme- und Kälteverteilssystem dar.

Vielfach reichen die hygienisch notwendigen Luftmengen aber nicht aus um Heizlasten und Kühllasten unter geforderten Behaglichkeitskriterien zu kompensieren. Werden die Luftvolumina über den hygienisch erforderlichen Luftwechsel hinaus erhöht, steigen sowohl Investitionskosten (Kanalnetz mit großen Dimensionen, größere Ventilatoren) als auch Betriebskosten (mehr Antriebsenergie) empfindlich.

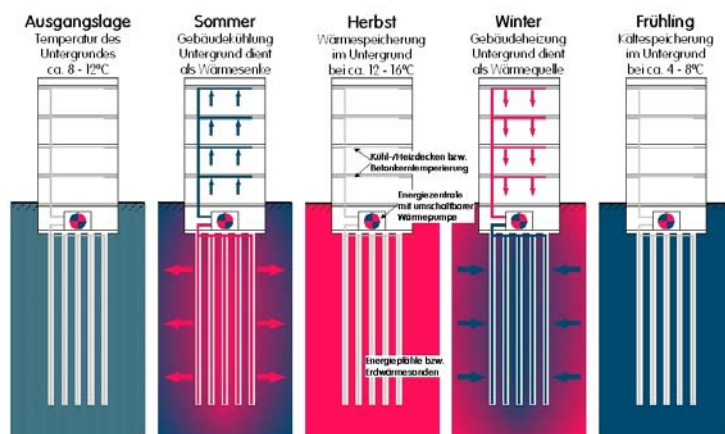


Abbildung 10: Funktionsprinzip von Erdpfählen/Tiefensonden für Heizung und Kühlung.

Aufgrund der deutlich höheren spezifischen Wärmekapazität und der höheren Dichte von Wasser gegenüber Luft bietet sich viel eher eine Kombination des Lüftungssystems mit einem wassergeführten Verteil- und

Abgabesystem (kombinierte Heiz- und Kühlflächen, am besten gekoppelt mit Bauteilaktivierung) an. Die Lüftungsanlage übernimmt primär die Frischluftversorgung, wobei

die Zuluft soweit konditioniert in das Gebäude eingebracht wird, dass durch den Luftwechsel weder zusätzliche Heizlasten noch Kühllasten entstehen. Der wassergeführte Kreislauf übernimmt die Deckung der verbleibenden Lasten.

## 6 Beispielhafte Bürogebäude

Von der AEE INTEC wurden in den letzten Jahren einige Energiekonzepte für Bürogebäude erstellt. Nachfolgend finden sie eine Übersicht über drei unterschiedliche Ansätze zur Schaffung von behaglichen Arbeitsplatzbedingungen bei gleichzeitig geringen Energieverbräuchen in Bürogebäuden.

### 6.1 Bürogebäude der AEE INTEC – Niedrigenergiehaussiedlung Gleisdorf

Im Rahmen eines von der Europäischen Union (THERMIE), der Wissenschaftsabteilung des Landes Steiermark sowie des Innovations- und Technologiefondes des FFF geförderten Projekts wurde in Kooperation von AEE INTEC, Architekturbüro Reinberg und dem Fertighausunternehmen HOLZ-BAU-WEIZ ein Niedrigenergie-Reihenhaus entwickelt und ein Demonstrationsprojekt mit sechs



Reihenhäusern und einer Büroeinheit in Gleisdorf errichtet.

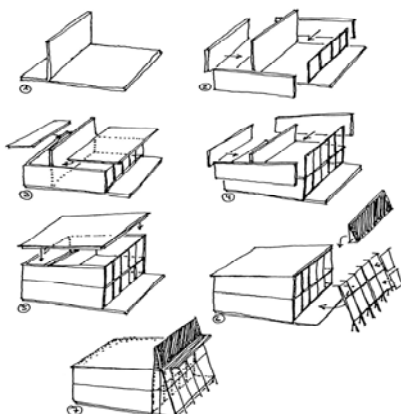
Abbildung 11: Südansicht der drei Gebäude

Neben Energie- und Kostenoptimierung bildete die Entwicklung eines innovativen und ökologischen Holzbaukonzeptes einen wesentlichen Schwerpunkt des Projektes. Durch eine speziell für diesen Haustyp entwickelte

Wandkonstruktion mit hohem Wärmedämmstandard, sowie durch thermische Zonierung und kontrollierte Be- und Entlüftung über Erdreichwärmetauscher konnte der Heizenergieverbrauch dieser Gebäude auf Werte zwischen 20 kWh/m<sup>2</sup>a beim Bürogebäude und 33 kWh/m<sup>2</sup>a bei den Reihenhäusern reduziert werden.

Da der Heizenergiebedarf zu rund 60% von einer Solaranlage gedeckt wird, beträgt der Restheizenergieverbrauch, der über einen Biomasse-Pelletkessel zugeführt werden muss für das Bürohaus 8 kWh/m<sup>2</sup>a und für die Reihenhäuser 13 kWh/m<sup>2</sup>a.

#### 6.1.1 Das Bausystem



Durch eine speziell für diesen Haustyp entwickelte Wandkonstruktion, konnte der geforderte Wärmedämmstandard ( $U = 0,11$  bzw.  $0,17$  [W/m<sup>2</sup>K]) kosten- und flächensparend erreicht werden. Sowohl die Außenwände, wie auch die Decken- und Dachkonstruktion bestehen aus 10 bzw. 12 cm dicken, mehrschichtig verleimten Vollholzplatten (KLH).

Abbildung 12: Systemskizze - Baukonzept

Die Wärmedämmung, bestehend aus 20 bis 35 cm dicken Holzweichfaserplatten, wurde außen aufgebracht. Durch diesen Wand- und Deckenaufbau können die üblichen – und in der Praxis oft nur schwer zu bewältigenden –Detailprobleme von Holzständerkonstruktionen mit hoher Wärmedämmung vermieden werden. Die Mittelwand und Wohnungstrennwände wurden als massive mit Lehm verputzte Betonwand ausgeführt. Damit stehen entsprechende Speichermassen für die passiv gewonnene Solarenergie zur Verfügung, die sich zudem ausgleichend auf das Raumklima auswirken.

## 6.1.2 Das Energiekonzept

### Passive Solarenergienutzung

Die im Wintergarten gewonnene Wärme kann einerseits in den Speichermassen der Massivwand und des Estrichs gespeichert werden und kann andererseits zur Nacherwärmung, der über das Erdregister in den Wintergarten gelangenden Zuluft genützt werden.

Im Sommerbetrieb gewährleisten die am Wintergartenfußpunkt liegenden Zuluft- und am höchsten Punkt liegenden Abluftklappen eine effiziente Nachtlüftung mit Aktivierung der Speichermassen. Weiters besteht eine innenliegende Verschattungsmöglichkeit mit Faltjalousien.

### Aktive Solarnutzung

Die Bereitstellung des Warmwassers und des Raumwärmebedarfs erfolgt überwiegend über thermische Kollektoren. Die Kollektorflächen im Ausmaß von 213 m<sup>2</sup> (Nettofläche) wurden in die Wintergardendächer integriert. Der verbleibende Restwärmebedarf wird durch einen Biomasse-Pelletkessel gedeckt. Damit erfolgt die Wärmebereitstellung der Gebäude zu 100% mit erneuerbaren Energien. Die Energiespeicherung erfolgt in einem 14 m<sup>3</sup> Stahlspeicher. Die einzelnen Häuser werden aus diesem zentralen Speicher über ein Nahwärmenetz versorgt. Die Wärmeabgabe erfolgt über ein Niedertemperatur- Wandheizsystem mit mittleren Vorlauftemperaturen von etwa 30°C.

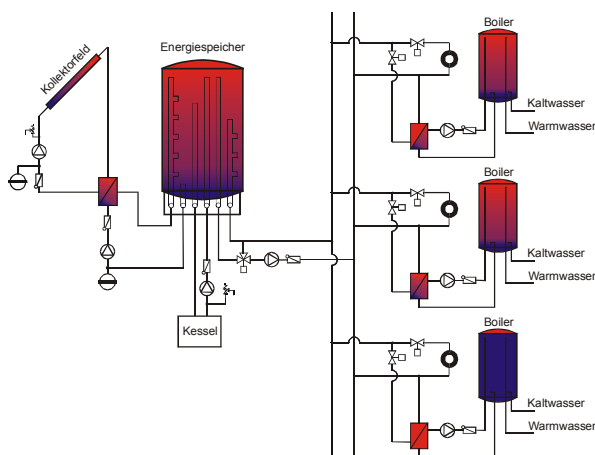


Abbildung 13: Hydraulikkonzept für das „Mikronetz“

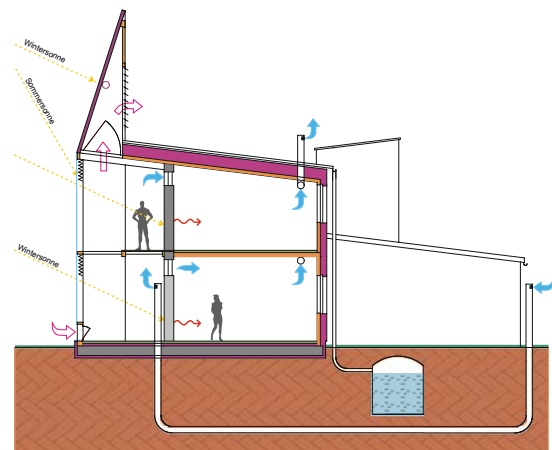


Abbildung 14: Schnittdarstellung - Bürogebäude

Zur Abrundung des solaren Gesamtkonzeptes liefert eine dachintegrierte, netzgekoppelte Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 1,44 kW<sub>peak</sub> einen Teil des elektrischen Strombedarfs.

### Kontrollierte Be- und Entlüftung über luftdurchströmte Erdwärmetauscher

Die Frischluft wird über einen luftdurchströmten Erdwärmetauscher angesaugt und vorgewärmt (Winterbetrieb) bzw. gekühlt (Sommerbetrieb). Im Bürogebäude wird diese Frischluft in den Wintergarten eingebracht und dort bei Wintersonne weiter erwärmt und über entsprechende Lüftungsklappen durch die Speicherwand in die Räume eingebracht. Von hier wird die Luft über einen zentralen Abluftventilator abgesaugt. Die Funktionstüchtigkeit dieser

Anlage wird durch die sehr dichte Gebäudehülle gewährleistet. Die erste Stufe des Kühlkonzeptes ist die Nutzung der Nachtkälte über freie Lüftung, die zweite Stufe ist der luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher.

### 6.1.3 Messergebnisse

Um detaillierte Aussagen bezüglich des dynamischen Gebäudeverhaltens und der Wechselwirkungen und Funktion der eingesetzten Technologien (Solare Warmwasserbereitung und Raumheizung, Biomassefeuerung, kontrollierte Lüftungsanlage mit Erdreichwärmetauscher) zu erhalten, wurden die Gebäude mit Messgeräten und Sensoren ausgestattet.

Der Gesamtenergieverbrauch setzt sich aus Wärme (Warmwasser und Raumheizung) sowie elektrischem Strom (Bürostrom sowie der anteiliger Strom für haustechnische Geräte wie Pumpen oder Regelungen für das Heizungssystem) zusammen.

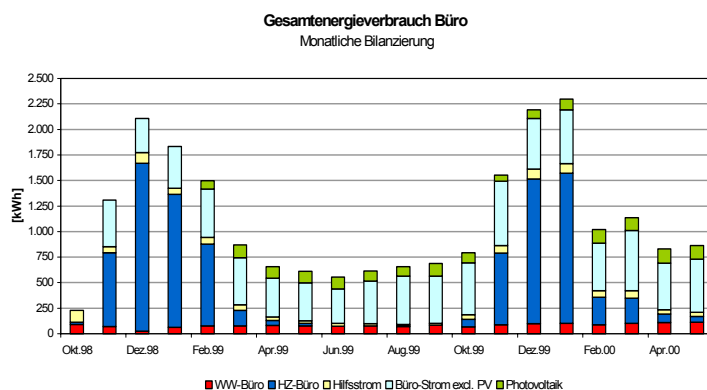


Abbildung 15:  
Gesamtenergieverbrauch von Oktober 98 bis Mai 2000 (Bürogebäude)

Der Gesamtenergiebedarf des Bürogebäudes betrug in der Periode Oktober 1998 bis September 1999 pro Quadratmeter

beheizter Nettonutzfläche lediglich 43,41 kWh. Davon entfallen 20,67 kWh auf Raumwärme, 3,81 kWh auf Warmwasser, 2,7 kWh auf Hilfsstrom (Antriebsenergie für haustechnische Einrichtungen wie Pumpen, Regelungen etc) und 20,02 kWh auf Bürostrom (Beleuchtung, EDV...). Der spezifische Stromertrag aus der Photovoltaikanlage beträgt 3,79 kWh/m<sup>2</sup>. Dieser wurde beim Gesamtenergieverbrauch in Abzug gebracht.

## 6.2 Bürogebäude des W.E.I.Z.

Im Fall des Weizer Energie- und Innovationszentrums war es erklärtes Projektziel, für rund 100 Personen ein Bürogebäude in Passivhausstandard zu errichten. Zu diesem Zwecke wurde die Simulation als Planungshilfe in einem frühen Stadium konsequent eingesetzt (TRNSYS).

Die Wechselwirkungen zwischen den U-förmig angeordneten Büros und dem darin eingeschobenen Atrium beeinflusst im Winter- als auch im Sommerfall das Gebäudeklima entscheidend mit. Diese Wechselwirkungen zu erfassen, war nur durch eine komplexe Nachbildung des gesamten Gebäudes mit insgesamt 18 thermischen Zonen möglich.

### 6.2.1 Optimierung der Gebäudehülle

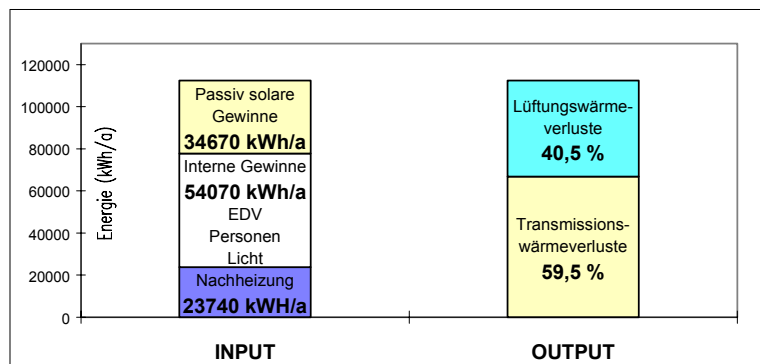
Die Größe und Kompaktheit des Gebäudes erlaubte mittels Parameterstudien ein ausloten der erforderlichen Außenwandqualität zum Erreichen des angestrebten Passivhausstandards – immer im Zusammenspiel mit der zum Einsatz kommenden Anlagentechnik. Der Dämmstandard konnte so gegenüber einem kleinen unverdichteten Passivhaus um 15 bis 20 % reduziert werden. Bei den Verglasungen kamen k- Werte von 0,7 W/m<sup>2</sup>K zum Einsatz. Dies erfordert im Passivhaus nicht nur die Energiebilanz, sondern auch der Komfort, da die Frischluftheizung einem Kaltluftabfall im Fensterbereich nicht entgegenwirken kann.



Abbildung 16: Ansicht des W.E.I.Z.

Im Atrium wurden auf Grund erster Simulationsergebnisse wesentlich mehr speicherrelevante Massivbauteile eingesetzt als ursprünglich geplant. Die hohe Außenwand als auch die innenliegenden Funktionsräume erhielten eine Stahlbetonkonstruktion.

Das W.E.I.Z. erreicht nach den Simulationsergebnissen  $10,5 \text{ W/m}^2$  maximal erforderliche Heizlast für einen sehr extremen Auslegungsfall außerhalb der Nutzung mit Umluftbetrieb in den frühen Morgenstunden. Dabei sind die U-Werte der opaken Bauteile 15 bis 20% schlechter als bei Passivhausprojekten im Einfamilienhausbereich. Trotzdem kann im W.E.I.Z. ein Heizwärmebedarf unter  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  erreicht werden. Die Größe und Kompaktheit des W.E.I.Z. mit der Folge eines sehr guten Oberflächen-Volumenverhältnisses

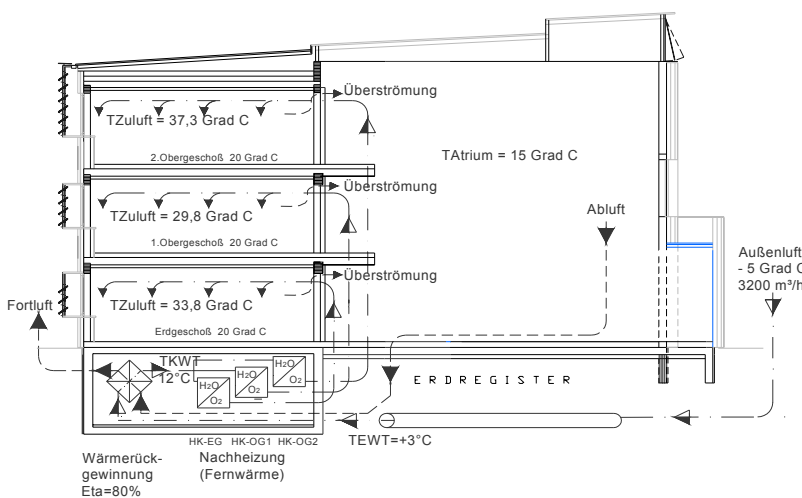


waren hier die Voraussetzungen für gewisse Kompromisse bei der Gebäudehülle.

Abbildung 17: Jährliche Gesamtenergiebilanz (Simulationsergebnis)

## 6.2.2 Heizungs- und Lüftungskonzept sowie sommerlicher Überhitzungsschutz

Das kompakte dreigeschossige Gebäude weist U- und L-förmig angeordnete Büros auf, in denen das eingeschobene Atrium weitere Funktionsräume wie Besprechungsraum, Medien- und Konferenzraum und die Geschäftsführung aufnimmt. Die Erschließung der Räume erfolgt über das Atrium mittels Laubengängen vor den Geschossen.



Die Erschließung der Räume erfolgt über das Atrium mittels Laubengängen vor den Geschossen.

Abbildung 18: Prinzipschema des Heizungs- und Lüftungssystems.

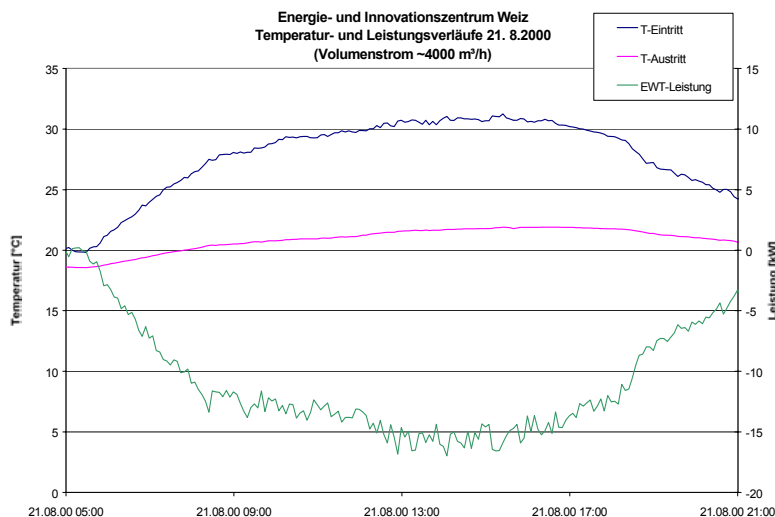
Oberlichtfensterbänder in den Bürotrennwänden zum Atrium ermöglichen eine indirekte Beleuchtung über die großflächige Atriumdachverglasung, unterstützt durch Reflexionswände, wodurch eine gleichmäßigere Tageslichtsituation in der Raumtiefe der Büros realisiert wurde. In Verbindung mit der tageslichtabhängigen Beleuchtungsregelung an den Arbeitsplätzen werden die internen Lasten reduziert.

Neben seinen elementaren Funktionen steht das Atrium auch energetisch und lüftungstechnisch in Wechselwirkung mit dem gesamten Gebäude und ist somit ein fester Bestandteil des Gesamtkonzeptes. Die Kosten für die Lüftungsanlage konnten reduziert werden, da das Atrium selbst als luftführender Raum für die Abluft aus den Büros verwendet wird.

Bereits zu Beginn der Planungsphase galt als erklärtes Ziel, auf eine konventionelle kostenintensive Klimatisierung im Sommer zu verzichten. Die durch passiv solare Gewinne verursachten unerwünschten Temperaturerhebungen werden durch außenliegende variable Verschattungselemente an den Bürofenstern reduziert. Die transparenten Anteile mit ca. 40 % in der Außenhülle der Büros wurden für Verwaltungsverhältnisse moderat in Grenzen gehalten.

Bei Bedarf wird am frühen Abend und in der Nacht über geöffnete Oberlichter und die Überströmöffnungen zum Atrium eine Querlüftung mit Außenlufttemperaturniveau erzeugt. Der Motor dazu ist der Auftrieb der warmen Luftmassen im Atrium. Ein Aufschaukeln der Innentemperaturen während längerer Hitzeperioden wird so abgedämpft und weitestgehend in einem akzeptablen Rahmen gehalten. Die Nachtkühlung mit Hilfe des Atriums bringt gegenüber der reinen Fensterlüftung etwa eine Verdoppelung des Außenluftwechsels für die Büros, ohne dass zusätzliche Antriebsleistung für Ventilatoren erforderlich wird.

Mit der hygienisch notwendigen Frischluftmenge von 30m<sup>3</sup>/h und Person wurde für eine Belegung von rund 100 Personen somit eine Gesamtluftmenge von 3200 m<sup>3</sup>/h veranschlagt. Eine Vorkonditionierung der Außenluft findet in einem luftdurchströmten Erdreichwärmetauscher statt, der unter dem Kellerfundament verlegt wurde. Dieser übernimmt einerseits die Aufgabe der Vereisungsvermeidung an der Fortluftseite der Lüftungswärmerückgewinnung (Rückgewinnungsgrad von 80%, Nacherwärmung aus einem Biomasse-Nahwärmenetz im Heizbetrieb) und andererseits die Kühlung der Zuluft im Sommer. Die Auslegung des L-EWT wurde so gewählt, dass er in Kombination mit einer freien Nachtlüftung und Massenaktivierung (Atrium) die Behaglichkeitsgrenzen innerhalb des geforderten Bereiches (<28°C) gehalten werden können. Infolge eines EU-Projektes wurde der luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher im Detail vermessen. Abbildung 19 zeigt hierzu



den Leistungsverlauf des L-EWT an einem beispielhaften Sommertag im Jahr 2000.

Abbildung 19: Gemessener Temperatur- und Leistungsverlauf am 21.08.00. Die Erdreichwärmetauschertrittstemperatur steigt bei Umgebungstemperaturen von über 30°C nicht über 22,5°C. Die maximale Leistung beträgt ca. 15 kW über einen Zeitraum von 4 Stunden

Nicht nur die Erfahrungen mit dem luftdurchströmten Erdreichwärmetauscher sondern auch die Erfahrungen mit dem gesamten Gebäudekonzept waren für die über 100 Nutzer hinsichtlich Behaglichkeit und Betriebskosten sehr zufriedenstellend.

### 6.3 Bürogebäude der MIVA

Im Februar 2003 erfolgte der Baubeginn zum multifunktionalen Verwaltungsgebäude auf Passivhausstandard der MIVA in Stadl-Paura, Oberösterreich.

Motiviert durch das sehr früh involvierte Planungsteam (Architekten, Energietechniker, Holzbautechniker) entschied sich die Geschäftsführung zum Bau eines multifunktionalen Gebäudes mit Büro-, Logistik- Geschäfts- und Veranstaltungsräumlichkeiten in Passivhausbauweise.

#### 6.3.1 Architektur und Konstruktionen

Der Hauptbaukörper ist 3-geschoßig und birgt in seiner Mitte eine über alle Geschosse reichende Aula mit Galerien, welche durch ihr Glasdach bis in das Erdgeschoss belichtet wird. Im Erdgeschoss der Aula wird die Veranstaltungs- und Kulturstätte für bis zu 100 Personen situiert sein. Das Logistikzentrum schließt im Süden an und wird als eigenständiger Baukörper ausgeführt. Ihm sind Verladezonen und ein KFZ-Lagerplatz zugeordnet. Insgesamt werden die 2000m<sup>2</sup> Nutzfläche (beheizt werden rund 1200 m<sup>2</sup>) zukünftig von bis zu 50 Personen genutzt.



Abbildung 20: Ansicht des Gebäudes

Die Basis zur Erreichung des Passivhausstandards wird durch die Umsetzung einer innovativen Holzbauweise gelegt. Die U-Werte der Außenwände bzw. der Dachkonstruktionen liegen bei 0,11 W/m<sup>2</sup>K, die der transparenten Bauteile (Fenster und Oberlichten) bei 0,7 W/m<sup>2</sup>K. Die runde Gebäudeform gewährleistet eine besonders gute Belichtung der Flächen, so dass auch größere Raumtiefen möglich sind. Neben den Nutzerwünschen und diversen Gegebenheiten wurde die Architektur des MIVA-Gebäudes entscheidend durch die Optimierung energietechnischer Aspekte (Fensterflächen, Beschattung, Speichermassen, Luftdichtigkeit, Wandstärken, Heiz- und Kühllasten, etc.) mitbestimmt, was sich innerhalb eines integralen Planungsprozesses gut und frühzeitig realisieren ließ.

#### 6.3.2 Energiekonzept und Energieversorgung

Die AEE INTEC war in diesem Projekt über den gesamten Planungsprozess eingebunden und konnte durch Modellierung und Simulation in der dynamischen Simulationsumgebung TRNSYS Architektur, Bauweise und Konstruktionen entscheidend beeinflussen (sämtliche Arbeiten erfolgten innerhalb der Planungsgemeinschaft mit dem IWT an der TU Graz). Nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung des Heiz- und Kühlenergiebedarfes über den integralen Planungsprozess, wobei für „Heizung“ als auch „Kühlung“ mit dem jeweils extremen regionalen Klimadatensatz der letzten zehn Jahre gerechnet wurde. Der Hintergrund für die jeweils zwei extremen Klima-Szenarien liegt darin, dass sich beispielsweise die Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes häufig negativ auf das Sommerverhalten des Gebäudes auswirken und umgekehrt.

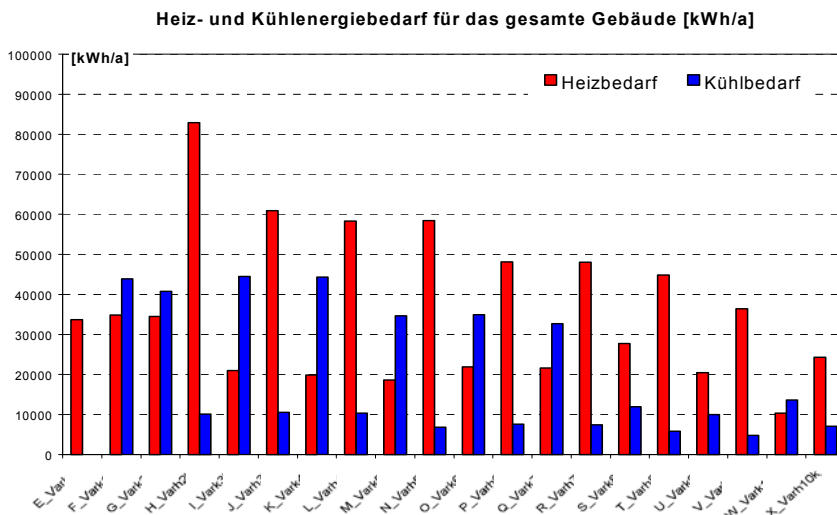


Abbildung 21: Konsequente Reduktion des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen.

Durch consequente Optimierungsarbeiten in Kombination mit der dynamischen Gebäudesimulation konnte schlussendlich erreicht werden, dass für die jeweils extremen Klimate der Heizwärmebedarf unter  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  sowie der Kühlenergiebedarf unter  $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  liegt.

Die Frischluftversorgung erfolgt über eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad 80%, Luftvolumenstrom von etwa  $4000 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Die Vereisungsvermeidung an der Fortluftseite der Wärmerückgewinnung übernimmt entweder ein luftdurchströmter Erdreichwärmetauscher oder eine hydraulische Auskopplung aus dem Erdsondenkreis. Die Erdsonden wurden so dimensioniert, dass sowohl im Winter der Raumwärmebedarf in Kombination mit einer hocheffizienten Wärmepumpe, als auch im Sommer die Kühllasten des Bürogebäudes alleine aus Umweltenergien (nach dem Prinzip des „direct cooling“) kompensiert werden können. Eine zugrundegelegte natürliche nächtliche Entlüftung des Atriums war die Basis für die Dimensionierung der Erdsonden, was zu einer Sondenlänge von rund 700 m geführt hat. Schwerpunkt der Auslegung war der Betriebsfall „direct cooling“ im Sommer. Neben der Zuluft wird Wärme und Kälte auch über Flächenelemente abgegeben.

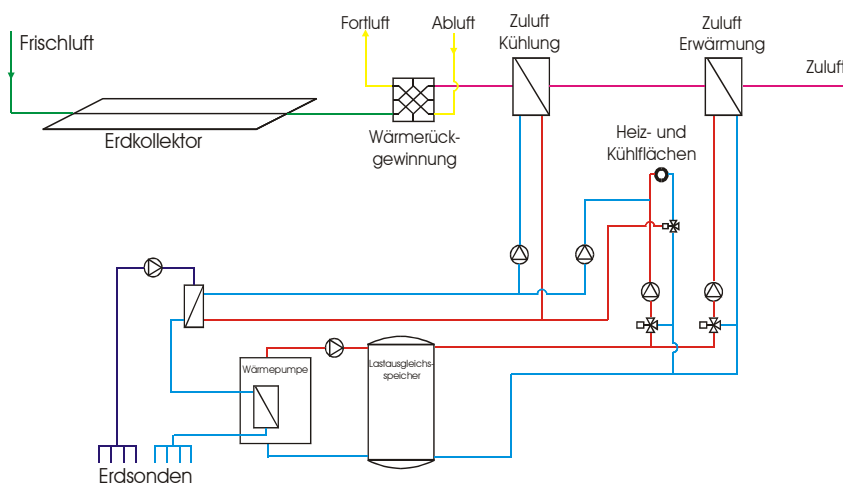


Abbildung 22: Blockschild zur Wärme- und Kälteversorgung des MIVA-Bürogebäudes

Durch die consequente Lastenreduktion und die effiziente Bereitstellung von Wärme und Kälte kann der Energiekennwert für Primärenergie (Passivhausstandard: max.  $80 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , ohne Bürogeräte, EDV und Beleuchtung) deutlich unterschritten werden. Zusätzlich wird der Strombedarf der Wärmepumpe mit einer  $80 \text{ m}^2$  netzgekoppelten Photovoltaikanlage kompensiert.

Im Februar 2003 erfolgte der Spatenstich, im Oktober 2003 soll das insgesamt über  $2000 \text{ m}^2$  umfassende Passiv-Verwaltungsgebäude seiner multifunktionalen Nutzung übertragen werden. Umfassende Bauüberwachung sowie ein detailliertes Gebäude-Monitoring bilden einerseits die Säulen der Qualitätssicherung sowie andererseits die Möglichkeit zum Erfahrungsaustausch und zur Verbreitung der Ergebnisse.

## 7 Literaturverzeichnis

Arbeiterkammer Wien, 2001: Studie der Wiener Arbeiterkammer; Wien, 2001

Eicker, 2001: Ursula Eicker: Tagungsbeitrag „Solares Kühlen: Einführung in die Technologie“ zum ersten Symposium „Solares Kühlen in der Praxis, Stuttgart, 2001.

EU, 2000: Europäische Union; Green Paper – Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, Technical Document, Brussels, 2000

Fink et. al., 2002: Christian Fink, Ernst Blümel, Robert Kouba, Richard Heimrath: Endbericht zum nationalen Projekt „Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels luft- bzw. wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern“, GZ 178.044/1-V/A/6/2000, AEE INTEC, Gleisdorf, 2002.

TRNSYS, 2000: Klein, S. A.; Beckmann, W. A. et. al.; A Transient System Simulation Programm – Version 15; Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin – Madison, USA; Vertrieb in Deutschland: Transsolar Energietechnik, Stuttgart.

Weber et al, 1999: Lukas Weber et al : Energieverbrauch in Bürogebäuden, ETH Zürich, Zürich, 1999

Zimmermann, 1999: Mark Zimmermann: Handbuch der passiven Kühlung, ISBN 3-905594-06-4, EMPA ZEN, CH-8600 Dübendorf, 1999.