

Les travaux en cours et le bilan de la saison 86-87 apporteront, nous l'espérons, une réponse positive.

### 10 - Références

Schweitzer J., Logiciels de régulation-optimisation-pilotage implantés sur des satellites de télégestion des chaufferies. Thèse de docteur-ingénieur, déc. 86 (à paraître).

Bianco B., Boutin C., Chambrun G. et Lafond A., Gestion optimisée d'un système de chauffage. Mémoire de fin d'études, INSA de RENNES, juin 84.

SOFREL, Télématicque pour la gestion des chaufferies. Rapport AFME, 1986.

### EFFECT OF THE THERMAL STORAGE CAPACITY OF BUILDINGS ON THE ANNUAL HEATING ENERGY CONSUMPTION

H. ESDORN

Hermann-Rietschel-Institut für Heizungs-und Klimatechnik,  
Technische Universität Berlin, D-1000 Berlin 10, Germany

A. JAHN and K.E. SOMMER

Klimasystemtechnik Esdorn Jahn Ingenieurgesellschaft mbH,  
D-1000 Berlin 10, Germany

#### 1. Purpose of the work

Since 1977 in F.R.Germany there is a building code, called "Wärmeschutzverordnung" (1), which sets standards for building heat loss coefficients and coefficients for air infiltration through window cracks in order to limit heat losses from buildings. It is easier to fulfill the code requirements using the lightweight construction than the traditional heavyweight construction. Advocates of the heavyweight construction in the industry criticized the code, noting that the thermal storage capacity of buildings is not considered. They maintain, that the reduction in energy consumption due to added thermal storage can be as great as or greater than the reduction due to added thermal insulation. To provide a factual basis for further discussion the federal minister for buildings funded a study to determine the influence of thermal storage capacity and thermal insulation of residential buildings on the annual heating energy consumption with the variation of all relevant parameters (2). The most important results of the parametric study are presented here.

#### 2. Method of approach

The annual heating energy consumption is calculated with a computer simulation using hourly steps (3). In the model the unsteady thermal behavior of the building is calculated using the finite-element-method, weighting factors and a convolution algorithm. A mathematical model simulates the heating system and control system. The occupant behavior is modelled in detail. Weather data from the test-reference-year for Berlin (3) are used. The data set consists of hourly values for 14 meteorological parameters for an average year. The models above are coupled together in the simulation. Fig.1 shows the residential building models which were studied. Each model is composed of equally-sized rooms. When considering single rooms the rooms were treated separately. When considering the

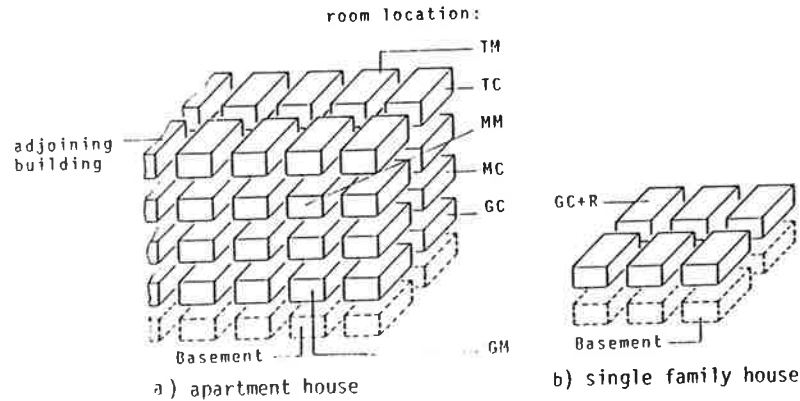


Fig. 1. Residential building models studied

entire building the rooms were treated as ideally thermally coupled. The limiting cases of all kinds of constructions are represented by a wood-frame construction (Lightweight construction "L") and by a concrete and sand-lime brick construction (Heavyweight construction "H"). Values for those parameters not mentioned in each specific case are listed in table 1. All parameters mentioned there are varied and many other parameters too.

parameter	parameter value
rel. window size $A_F/A_{WF}$	0,18 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> floor area frame 30 per cent
glazing	double-glazed insulating glas,
heat transfer coefficients:	
exterior wall (W)	$U_W = 0,7$ W / (m <sup>2</sup> .K)
window (F)	$U_F = 2,6$ W / (m <sup>2</sup> .K)
roof (R)	$U_R = 0,3$ W / (m <sup>2</sup> .K)
floor to basement (G)	$U_G = 0,55$ W / (m <sup>2</sup> .K)
absorption coefficients (sun):	
exterior wall	0,7
roof	0,9
heating element	100 per cent convective
controlled variable	ambient temperature, set point = 20 °C
air exchange rate $\beta_L$	$0,5 \leq \beta_L \leq 10,0$ (1/h)
internal gains	mean value about 6 W/m <sup>2</sup>

Table 1. parameter values for the base case

### 3. Significant results

#### Influences of thermal insulation and thermal storage:

Fig. 2 in the upper part shows that the influence of the thermal insulation on the annual heating energy consumption with respect to the floor area is much greater than the influence of the thermal storage capacity. In the lower part of the figure the so called "influence factor of thermal storage capacity ( $\zeta_{SP}$ )" - ratio of the annual heating energy consumption for heavyweight construction "H" to the annual heating energy consumption for lightweight construction "L" - is shown. The figure illustrates that the positive effect of thermal storage capacity grows with a decrease in the heat loss with respect to the building volume.

#### Passive use of solar energy :

The greatest influence of the thermal storage capacity is shown by the variation in the ratio of the window area ( $A_F$ ) to the floor area ( $A_{WF}$ ), fig.3. For extreme building parameters ( $A_F/A_{WF}=0,36$ , south facade, room location "MM") the required heating energy is 25 per cent less with the heavyweight construction ("H") than with the lightweight construction ("L"). But with the best conditions and by using the heat transfer coefficients listed in table 1, the annual heating energy consumption does not decrease by increasing the window area.

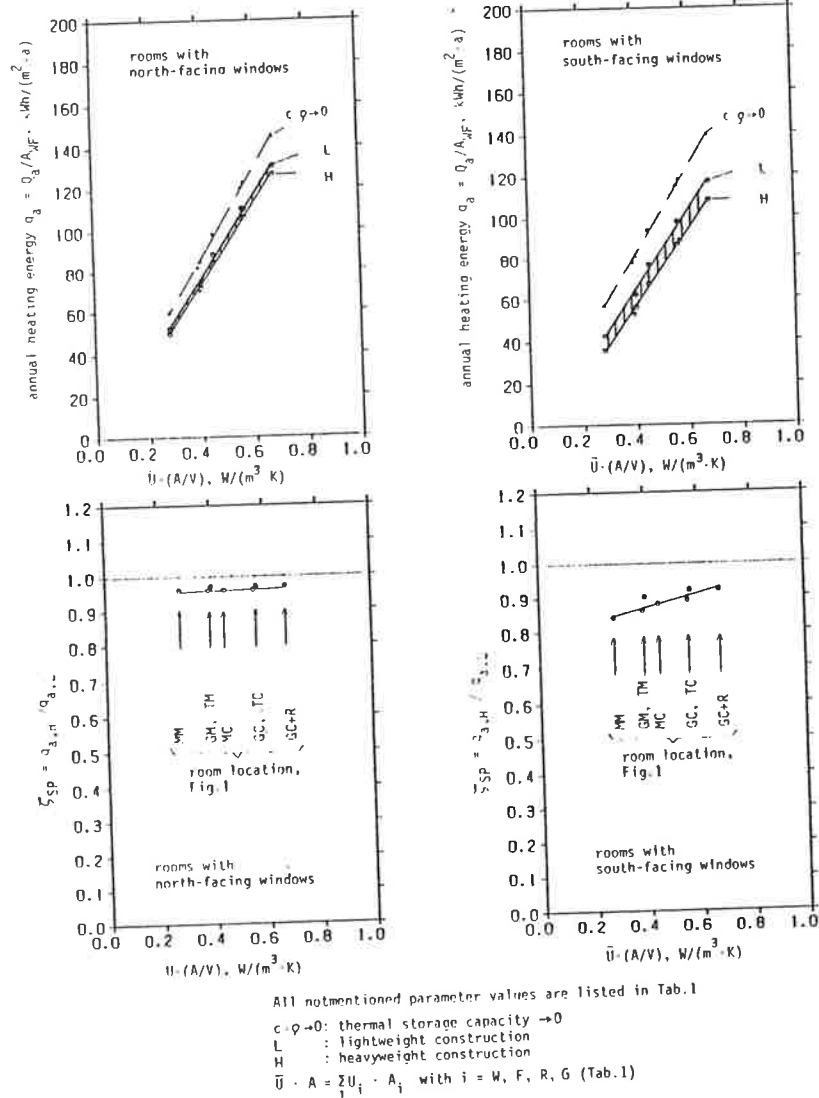


Fig.2. Influence of the thermal storage capacity on the annual heating energy consumption with respect to the floor area with variation of room location, window orientation, construction (Continuous heating)

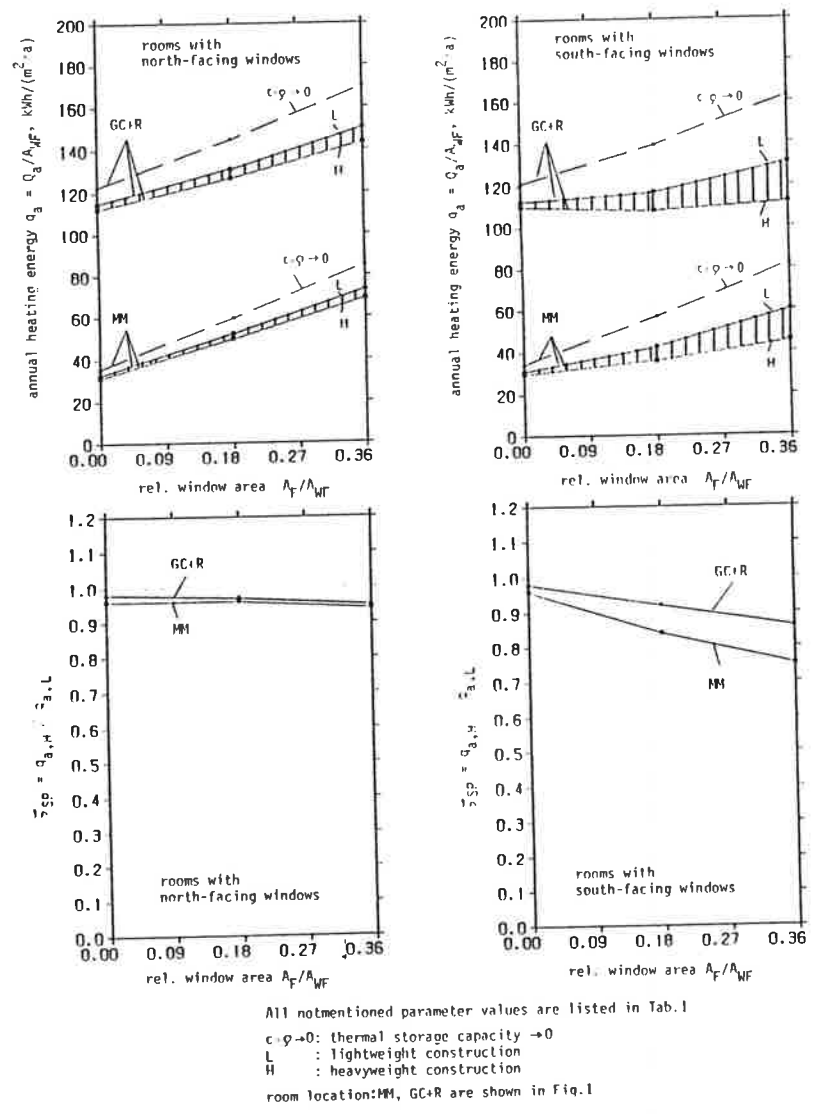
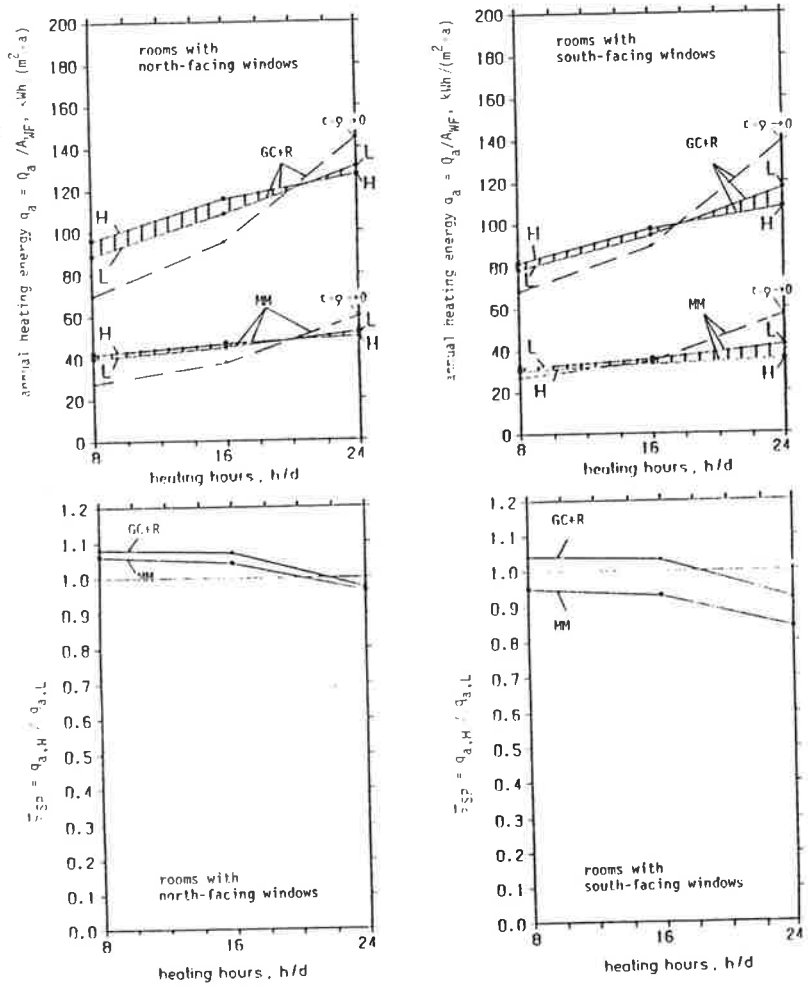
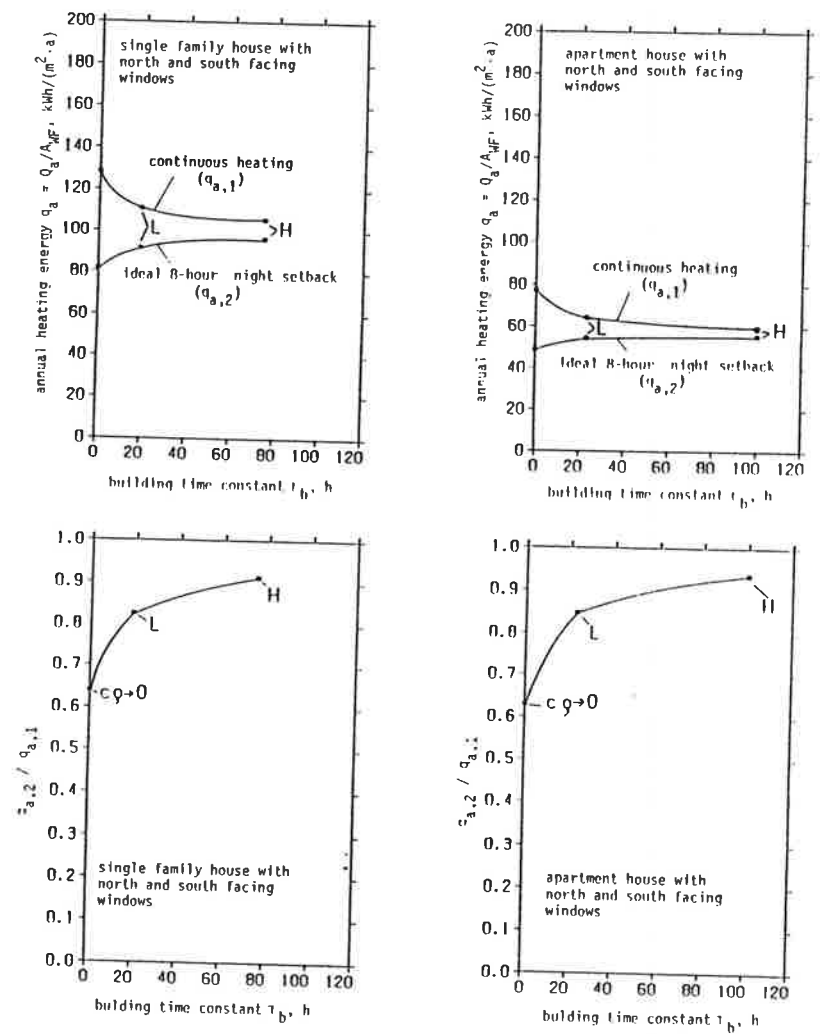


Fig.3. Influence of the thermal storage capacity on the annual heating energy consumption with respect to the floor area with variation of rel. window area, room location, window orientation, construction (Continuous heating)



All notmentioned parameter values are listed in Tab.1  
 $c \cdot \rho \rightarrow 0$ : thermal storage capacity  $\rightarrow 0$   
 L : lightweight construction  
 H : heavyweight construction  
 room location:MM, GC+R are shown in Fig.1

Fig.4. Influence of the thermal storage capacity on the annual heating energy consumption with respect to the floor area with variation of hours per day that the building is heated, room location, window orientaion, construction



All notmentioned parameter values are listed in Tab.1  
 $c \cdot \rho \rightarrow 0$ : thermal storage capacity  $\rightarrow 0$   
 L : lightweight construction  
 H : heavyweight construction

Fig.5. Influence of the thermal storage capacity on the annual heating energy consumption with respect to the floor area with variation of building time constant, type of building, heating strategies

### Heating strategies:

Fig.4 shows that the influence of the thermal storage capacity in continuously-heated buildings is always positive ( $\xi_{SP} < 1$ ) and in intermittently-heated buildings due to counteractive effects the influence can be positive, neutral or negativ ( $\xi_{SP} \geq 1$ ) depending upon room location, window orientation and the hours per day that the building is heated. Fig.5 demonstrates the influence of thermal storage capacity for single- and apartment houses using the building time constant  $\tau_b$  which was developed in this study (2). By increasing the thermal storage capacity ( $\tau_b$ ) the annual heating energy consumption decreases with continuous heating and increases with intermittent heating. The question of which heating strategy is better with respect to the heating energy becomes less important with an increase in the thermal storage capacity.

#### 4. Conclusions

This paper treats only the most important results of a large parametric study with the topic "Thermal Insulation and Thermal Storage Capacity of Residential Buildings". The effective measure to save heating energy is thermal insulation. In continuously-heated residential buildings the annual heating energy consumption decreases with an increase in the thermal storage capacity. This effect grows with an increase in the ratio of internal gain (from sun, lighting, occupants, appliances) to heat loss (transmission, ventilation). For single rooms, the reduction in energy consumption can be up to 25 per cent compared with same rooms but with little thermal storage capacity; for entire buildings, the reduction was up to about 7 per cent (2). In intermittently-heated buildings the annual heating energy consumption usually increases with an increase in thermal storage capacity. In buildings with a large thermal storage capacity, the energy consumption is up to about 5 per cent greater than in buildings with little thermal storage capacity. However in single rooms with a very large ratio of internal gains to heat losses, the negative influence of the thermal storage capacity with intermittent heating is overcompensated and there is a reduction in annual heating energy consumption.

#### 5. References

- (1) Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 11.08.1977 und Fortschreibung vom 24.02.1982
- (2) Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Forschungsarbeit B15-800183-204: Analyse des möglichen Einflusses der Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizenergieverbrauch von Wohngebäuden.
- (3) Jahn, A.: Methoden der energetischen Prozeßbewertung Raumlufttechnischer Anlagen und Grundlagen der Simulation. Thesis for Dr.-Ing. TU Berlin, 1978

## DYNAMISCHE SIMULATION UND OPTIMIERUNG BEI DER ENERGIESYSTEMPLANUNG IN SPITÄLERN

H. Draxler, A. Kurz

Krankenhausberatungsagentur (KBA), 1010 Vienna, Dorotheerg. 7  
Energieverwertungsagentur (EVA), 1010 Vienna, Opernring 1/3

### 1. EINLEITUNG

Energiesystemplanung für Spitäler ist eine der komplexesten Planungsaufgaben in Hochbauprojekten. Die enorm hohen Betriebskosten<sup>1)2)</sup> modern ausgestatteter Anstalten zwingen trotz der unbedingt zu erfüllenden Vorgaben, wie Versorgungssicherheit und hygienische Standards, kostenminimale Systeme zu gestalten. Zahlreiche Beispiele belegen, daß insbesondere die an Normen orientierte traditionelle Planung dieser Aufgabe nicht gerecht wird. EDV-bezogene Methoden, die aus dem Bereich des "System-Engineering"<sup>3)</sup> Denkens abgeleitet werden, sollen diese Planungsdefizite beseitigen. Aus einem der größten europäischen Krankenhausprojekte liegen nunmehr über den Einsatz solcher Methoden erste konkrete Ergebnisse vor.

### 2. METHODE UND MODELLSTRUKTUR

Ausgangspunkt bei der Entwicklung dieses Planungsinstrumentes namens C.A.S.E. (Computer Aided Systems Engineering) war die Zielsetzung unter gleichzeitiger Berücksichtigung möglichst vollständiger energierelevanter äußerer Einflußfaktoren, und aus dem Krankenhausbetrieb resultierende innere Einflußfaktoren das energetische Geschehen des ganzen Objektes in hoher zeitlicher Auflösung für eine Referenzperiode zu simulieren. Dabei sollen alle denkbaren Möglichkeiten der Bauform, des Bauhüllenaufbaues und der energietechnischen Systeme in Variantenanalysen auf ihre energetischen Konsequenzen hin untersucht werden. Durch die Verknüpfung dieser Simulationsergebnisse mit Preisen und Kosten wird in Optimierungsrechnungen das optimale Gesamtkonzept berechnet. Diesen Zielsetzungen entsprechend wird C.A.S.E. in 3 Partialmodelle strukturiert.

#### 2.1. Inputmodell

Mit Hilfe eines CAD-Systemes wird das Objekt in 3-D-Koordinaten digitalisiert und nach Kriterien von Funktionsabläufen und Raumkonditionen das Gebäudeinnere in zahlreiche Zonen disaggregiert. Für jede Zone werden in Betriebsorganisationsanalysen stündliche interne Funktionsabläufe spezifiziert und daraus interne Energielastverläufe abgeleitet.

2.2. Simulationsmodell

Das Simulationsmodell ist modular aufgebaut und besteht aus einem Heiz- und Kühllastmodul und einem technischen Energieanlagenmodul. Für die Berechnung der Heiz- und Kühllasten wird die Heat Balance Method<sup>4)</sup> verwendet. In diesem Berechnungsverfahren wird für jeden Bauhüllenteil in stündlichen Intervallen und der Raumlauf eine Energiebilanz (nach Konvektion, Leitung) erstellt und daraus die notwendige Energiezufuhr des haustechnischen Systemes berechnet.

Energiebilanz für jeden Bauhüllenteil und Zeitschritt:

$$R_i + Q_i + C_i = \sum_j X_i T_{o,t-j} - \sum_j Y_i T_{L,t-j} + \sum_j Z_i q_{i,t-j} \quad (1)$$

Wärmebilanz
response factor method
energieverlust  
Rauminneres
Außentelle

wobei:

$$Q_i = Q_i(T_L - T_i) \quad (2) \quad \text{und} \quad C_i = C_i(T_j - T_i) \quad (3) \quad \text{gilt}$$

- |   |   |
|---|---|
| <p><math>X_i, Y_i, Z_i</math> ..... Materialabhäng. response factor<br/> <math>q_{i,t-j}</math> ..... Heiz-/Kühllast vergangener Perioden<br/> <math>T_{i,t-j}</math> ..... Temperatur Raumluft<br/> <math>T_L</math> ..... Temperatur Bauhüllenteil i, j<br/> <math>T_o</math> ..... Außenlufttemperatur<br/> <math>t</math> ..... Zeitindex<br/> <math>R_i</math> ..... absorb. Strahlung von inneren Quellen Bauteil i</p> | <p><math>Q_i</math> ..... Konvektion Raumluft, Bauteil i<br/> <math>C_i</math> ..... Wärmeleitung Raumluft, Bauteil i<br/> <math>m</math> ..... Massenstrom Außenluft<br/> <math>cp</math> ..... spez. Wärme Luft<br/> <math>Q_s</math> ..... Heiz-/Kühlenergie<br/> <math>F_s</math> ..... absorb. Sonneneinstrahlung Luft</p> |
|---|---|

Energiebilanz Raumluft:

$$\sum Q_i + m \cdot cp(T_o - T_L) + R_s + R_i + Q_s = 0 \quad (4)$$

In den Gleichungssystemen sind die Bauteil- und Innentemperatur bzw. Energiezufuhr bei gewünschter Innentemperatur zu ermitteln. In der Berechnung selbst sind die Wärmequellen, die "reponse factors" der Materialien und die Sonneneinstrahlung mit entsprechenden Abschattungen, sehr aufwendig zu ermitteln, während die Außenluftzustände von den meteorologischen Meßstationen zu beziehen sind.

Aufbauend auf dem stündlichen Energiebedarf einer Zone und den Außenluftzuständen (Feuchte, Luftdruck, Temperatur, etc.) wird das technische System mit allen Aggregaten simuliert. Der Energiebedarf der einzelnen Aggregate ist auf Grund des Luftmassenstromes der Lufttemperatur und -feuchte einfach zu berechnen. Neben dieses

Faktoren gehen in die Lastberechnung von Heiz- und Kühlregister die Regel- und Steuerungsstrategien ein, welche die Zulufttemperaturen festlegen.

Bei der Simulation von Lüftungsanlagen werden auf Basis des spezifizierten Systems (Wärmerückgewinnung, Wärmeabgabe, Ventilator, Umluft, usw.) die auftretenden Raumtemperaturen berechnet, um damit Rückschlüsse auf Luftvolumina mit Systemkonfigurationen machen zu können.

$$T_i = T_z + \frac{Q_k}{m \cdot cp} \quad (5)$$

- $T_i$  ..... Raumlufttemperatur, wenn  $Q_k = 0$  für "Innenliegende"  
 #Raum  
 $m$  ..... Zuluft  
 $Q_k$  ..... KÜhlleistung bei geüblicher Innentemperatur  
 $T_z$  ..... Zulufttemperatur

2.3. Optimierungsmodul

Das Optimierungsmodell umfaßt sowohl die Optimierung von Einzelkomponenten, bei denen durch Parametervariation in der Simulation diskrete Punkte der Funktion ermittelt werden, als auch die gesamte Energieversorgungsstruktur als LP/MIP<sup>5)</sup> Modell. In beiden Verfahren finden Finanzierungsmodalitäten, Lebensdauer, Investitionskosten, Abschreibungen und Preis- bzw. Kostenentwicklungen in Szenarienform Berücksichtigung.

In der Optimierung von Einzelkomponenten ist die Maximierung des Kapitalwertes<sup>6)</sup>:

$$K = \sum_{i=1}^n c_i \cdot q_i^{-i} - \sum_{j=0}^m I_j \cdot q_j^j \rightarrow \max \quad (6) \quad q_i = 1 + \frac{p}{100} \quad (7)$$

- |   |  |
|---|--|
| <p><math>i, j</math> ..... Index<br/> <math>p</math> ..... Zinssatz<br/> <math>I</math> ..... Investitionsaufwand</p> | <p><math>K</math> ..... Kapitalwert<br/> <math>n</math> ..... Lebensdauer<br/> <math>c</math> ..... Nettoeinnahme mit berücks. Szenarien</p> |
|---|--|

In der Analyse von Cash-Flow-Profilen, dynamischer Amortisation, Gewinn-/Verlustrechnung, Break Even-Analyse und interner Zinssatz müssen aus Finanzierung, alternativer Anlagemöglichkeiten und Risiken vorgegebene Schranken als Nebenbedingung erreicht werden.

Mit dem LP/MIP-Modell wird auf Basis der stündlichen Nutzenergiebedarfssituation die optimale Versorgungsstruktur ausgewählt.

Die Zielvorgabe ist die Minimierung der Gesamtkosten, wobei auch Schadstoffmengen durch Goal-Programming<sup>7)</sup> berücksichtigt werden können.

$$\sum_{i,t} I_{i,t} + E_{i,t} + \sum_i K_i \cdot I_i + \sum_{s,t} G_{s,t} + A_{s,t} \rightarrow \min \quad (8)$$

k ..... variable Betriebskosten  
 t ..... Zeitindex  
 K ..... fixe Betriebskosten  
 G ..... Grenzinvestitionsaufwand zur Schadstoffreduktion  
 i ..... Index f. Technologien  
 E ..... Anzahl d. jew. Aggregate  
 A ..... Ausstoß Schadstoff

Durch die hohe zeitliche Auflösung des Nutzenergiebedarfes und den im Modell nachgebildeten nichtlinearen technischen Beziehungen ist sichergestellt, daß in die Aggregatsauswahl die Dynamik der Bedarfsschwankungen hinreichend genau eingeht. Das Modell gewährleistet:

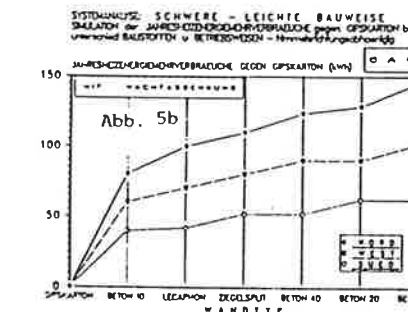
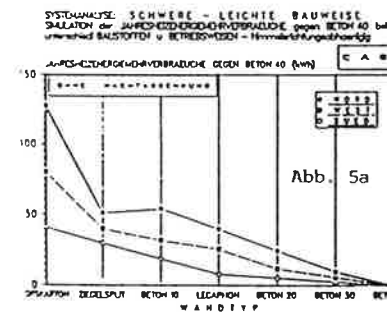
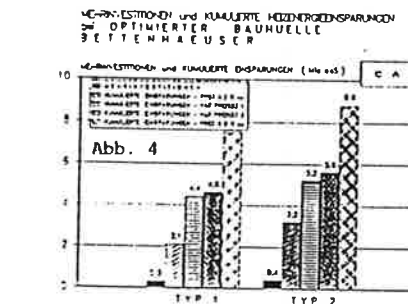
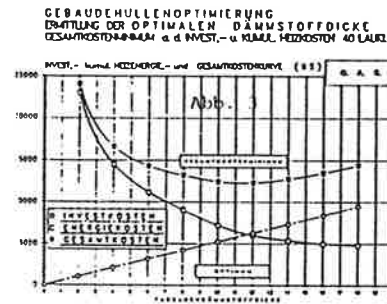
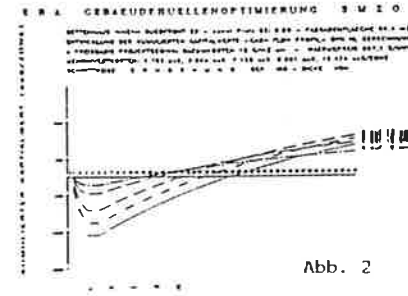
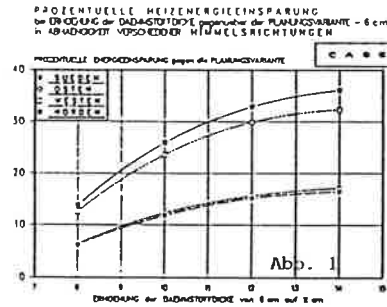
- Gesamtkostenminimierung
- Kostengünstiger Mix aus Eigen- und Fremdversorgung
- Abstufung der Aggregate, sodaß diese im optimalen Lastbereich betrieben werden
- Optimaler Mix aus Eigen- und Fremdversorgung

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. Bauhüllenbereich, Wandaufbauten

Aus 6 alternativen Bauhüllenvarianten mußte das optimale Konzept ermittelt werden. Das Simulationsergebnis zeigte, daß einzelne Varianten einen bis zu 35 % geringeren Heizenergieverbrauch aufweisen (Abb. 1). Diese Ergebnisse verknüpft mit Kosten (Investitions- und Betriebskosten) ergaben das Optimierungsergebnis, das in Form von Cash-Flow-Profilen aus Abb. 2 und 3 ersichtlich ist. In diesem konkreten Fall war eine hinterlüftete Fassade mit 12 cm Isolierung optimal. Optimierungsziel war, jene Variante zu finden, die am Ende der angenommenen Lebensdauer von 40 Jahren den höchsten kumulierten Profit ergab. Daß durch diesen Optimierungsvorgang enorme Einsparungen gegenüber einer normgemäßen Planungsvariante erzielbar sind, zeigt Abb. 4, in der der Mehrinvestition für die optimale Hülle die kumulierten Kosteneinsparungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Energiepreisentwicklungszenarien gegenübergestellt sind.

Aus einem weiteren Beispiel soll die Leistungsfähigkeit von C.A.S.E. für die Grundsatzentscheidung der Bauweise dokumentiert werden. In der frühesten Planungsphase mußte eine Entscheidung zwischen der Realisierung einer schweren Bauweise mit hoher Speicherfähigkeit und einer Leichtbauweise getroffen werden. Für verschiedenste denkbare Wandaufbauten wurden Simulationen differenziert nach Fassadenlage zur Himmelsrichtung berechnet. In einer Parameterstudie zeigte sich, daß der Heizenergieverbrauch signifikant von der gewählten Betriebsfahrweise des Heizsystems abhängen wird (Abb. 5). Bei einem Regelungssystem mit Temperaturnachtsabsenkung traten bei schwerer Bauweise höhere Energieverbräuche als bei leichter Bauweise auf. Ohne Temperaturabsenkung konnte entgegengesetzter Trend festgestellt werden.



#### 3.2. Bauhüllenbereich, Fenster

Aus 30 verschiedenen Varianten, die sowohl hinsichtlich der Fenstergröße als auch hinsichtlich der Glasqualität differierten, wurde die optimale Lösung berechnet. Mit dem Simulationsmodul wurden für verschiedenste Varianten sowohl die energetischen Effekte hinsichtlich Wärmeverbrauch als auch hinsichtlich des el. Energiebedarfes (Abb. 6) quantifiziert. Mit vergleichenden Analysen konnten auch die Vor- und Nachteile einzelner Varianten im zeitlichen Ablauf beschrieben werden. Beispielhaft ist in Abb. 7

verdeutlicht, zu welchem Zeitpunkt in welchem Ausmaß ein beschichtetes Glas einen höheren el. Energiebedarf für Licht zur Erzielung gleicher Leuchtstärke in einem Raum gegenüber einem unbeschichteten Glas verursacht.

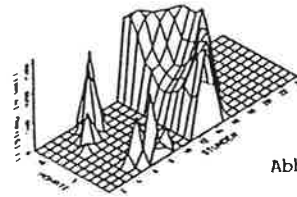
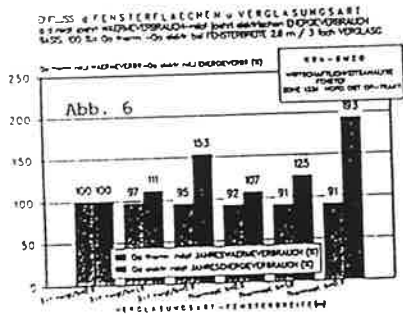


Abb. 7

OP - 920: FOLGENDE IN BELEUCHTUNG BEI 37 FENSTERN (DIE 1. Z)

### 3.3. Bereich Sonnenschutz, Abschattungseffekte

Da das gesamte Objekt für C.A.S.E.-Berechnungen 3-dimensional EDV-mäßig gespeichert ist, können Sonneneinstrahlungsintensitäten unter Berücksichtigung aller Abschattungseffekte (Eigen- und Fremdschattung) für beliebige Fassadenflächen zu jeder Jahreszeit berechnet werden. In welchem Ausmaß Abschattungen den Jahresheizenergieverbrauch beeinflussen können, zeigt Abb. 8, in der gleiche Funktionsannahmen sowohl hinsichtlich Lage zur Himmelsrichtung als auch hinsichtlich Geschosshöhe variiert wurden.

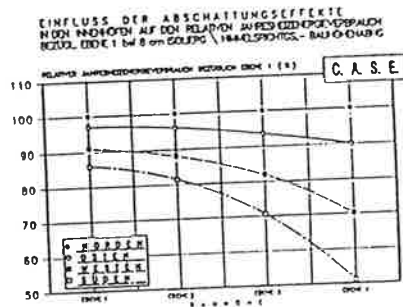


Abb. 8

### 3.4. Bereich Haustechnik, Klima- und Lüftungsanlagen

Mit dem Energieanlagenmodul wurden in Systemstudien die Energieverbräuche verschiedenster Klimaanlagekonzepte für OP-Säle analysiert. Als kostengünstigste Variante erwies sich ein VAV-System, das gegenüber einem konstanten Volumensystem bei allen Anlagenkomponenten (Heizregister, Kühlregister, Befeuchter und Ventilator) zu niedrigeren Energiekosten führt (Abb. 9).

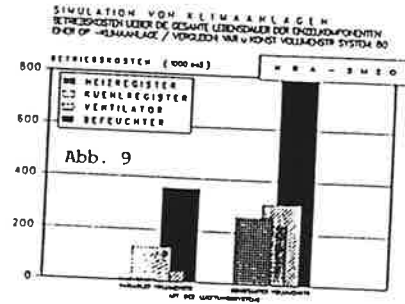


Abb. 9

### 3.5. Energieaufbringungsbereich

Für ein Hochbauprojekt mußte eine sehr komplexe Erzeugungsstruktur, die aus Gaskesseln, Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken (Eigenstromerzeugung) bestand, optimiert werden. Eine Parameterstudie ergab, daß die optimale Lösung in hohem Maße von den zugrunde gelegten Tarifen für den Reststrombezug aus dem öffentlichen Netz bestimmt wird. Seitens des öffentlichen Energieversorgungsunternehmens konnte jedoch die Tarifstruktur erst nach bekannten Leistungs- und Arbeitsbezug des Objektes festgelegt werden. Dafür konnte C.A.S.E. eine Entscheidungshilfe bieten, da bei optimiertem Einsatz der Blockheizkraftwerke der el. Restenergiebedarf des Objektes, der vom Netz zu beziehen ist, simulierbar war. Das Simulationsergebnis für Reststrombezug aus dem Netz ist in graphischer Form in Abb. 10 dargestellt. Erst auf Basis dieser Erkenntnisse waren konkrete Tarifierbote möglich und damit eine für die Optimierung bedeutende Einflußgröße definiert.

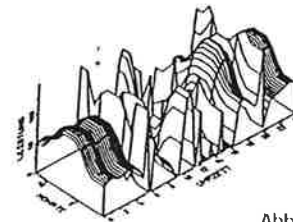


Abb. 10

HEIZREGISTER BEI 37-FENSTERN FÜR 2420 3-MOTOREN-KONZEPT VOR. 10

### 4. ZUSAMMENFASSUNG

An großen Hochbauprojekten im Spitalsbereich konnte bisher gezeigt werden, daß C.A.S.E.-Methodensysteme effektive Entscheidungsinstrumente im Planungsprozeß sind. Mit diesen EDV-bezogenen Methoden können objektbezogene "maßgeschneiderte" optimale Energiesysteme und Bauhüllenkonzepte errechnet werden. Die Höhe der Einsparungen, die durch Anwendung dieser Methoden erzielbar sind, rechtfertigen den Einsatz dieser komplexen Methoden in hohem Maße.



REFERENCES:

- (1) SORANE SA, L'ENERGIE DANS L'HOSPITAL  
Serie de publications de l'office federal de l'energie Etude Nr.  
32, Lausanne 1983
- (2) DÜTZ A., LEMARIE A.,  
Energieeinsparung in Krankenhäusern
- (3) DAENZER W.F., SYSTEMS ENGINEERING  
Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1983
- (4) ASHRAE Handbook of Fundamentals 1985  
1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329
- (5) BRAUN H., OPTIMALE LASTAUFTEILUNG IN VERSORGUNGSSYSTEMEN MIT KRAFT-  
WÄRME-KUPPLUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DES FERNWÄRMENETZES  
Dissertation RWTH Aachen, 1985
- (6) HOX H., INVESTITIONSTHEORIE  
Publica-Verlag, Würzburg - Wien, 1976
- (7) DANTZIG B.G., LINEAR PROGRAMMING AND EXTENSIONS  
Princeton University Press, New Jersey 1966