

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 101 (1983)  
**Heft:** 30/31

**Artikel:** Auslöser und Nebenwirkungen beim Energiesparen im Bauwesen: Energiebilanzmodell  
**Autor:** Brunner, Conrad U. / Soom, Ueli  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-75179>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

fonds-Projektes «Auslöser und Nebenwirkungen» lieferten einen Überblick über die Struktur des Energieverbrauches des Gebäudebestandes der Schweiz, wichtige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern und dem spezifischen Energieverbrauch von Gebäuden. Aufgrund dieser Resultate und der Erkenntnisse über das Sparpotential von Gebäuden aus den eigenen Erfahrungen als Energieberater, von Umfragen und den durchgeführten Fallstudien wurde eine nationale Sanierungsstrategie abgeleitet.

In einem weiteren Schritt sollen die bisherigen Untersuchungen in einem neuen Nationalfonds-Projekt unter dem Titel «Strukturelle Verminderung des Energieverbrauches in Gebäuden» 1983 bis 1984 weitergeführt werden. Einerseits soll die Struktur des Energieverbrauches in der Schweiz durch die Auswertung von neuen Erhebungen präzisiert und auf den neuesten Stand

gebracht werden. Schwergewicht soll aber vor allem die Strukturierung des einzelnen Verbrauchers sein. Der Einfluss von den Determinanten

- Benutzerverhalten
- Lüftungseinfluss
- Fenstergrösse und -orientierung
- Wirkungsgrad von Heizsystemen
- Gebäudegrösse

soll genauer untersucht werden. Mit dem entwickelten Energiebilanzmodell gilt es, den Einfluss dieser Determinanten auf den Energiehaushalt von einzelnen Gebäuden rechnerisch zu erfassen und die Energieeinsparungen durch die verschiedenen Einzelmassnahmen und Massnahmenpakete zu berechnen. Damit sollen einerseits die bisher aufgezeigten, aber noch nicht erklärten Zusammenhänge analysiert und das Sparpotential in Abhängigkeit der Energiekennzahl und für die verschiedenen Risikogruppen aufgezeigt werden. Daraus sollen Empfehlungen über sinnvolle und realisierbare Massnahmen abgelei-

tet werden. Die Resultate dieser Fortsetzungsstudie sollen Ende 1984 vorliegen.

#### Literatur

- Brunner, C.U., Steiner, V. Wolfensberger, P. et al.: «Auswertung der Feinanalysen von 27 Schulen und Verwaltungsgebäuden der Stadt Zürich», Zürich 1983 (nicht veröffentlicht)
- Wick, B. «Sparobjekt Einfamilienhaus», Widen 1980
- Beck-Wörmer, M. «Der Energieverbrauch der privaten Haushalte und seine Bestimmungsgründe». Empirische Untersuchung in der Stadt St. Gallen, Dissertation an der Hochschule St. Gallen, Buchs SG 1982
- Mauch, S. Ledergerber, E.: «Energiepolitische Steuerungsinstrumente und ihre Wirkungen», NFP, Zürich 1980
- IPSO (Inst. für Praxisorientierte Sozialforschung Zürich): «Informationsbeziehungen beim Energiesparen», Zürich 1980

Adresse der Verfasser: Conrad U. Brunner, Dipl. Arch. ETH/SIA, und Ernst A. Müller, Dipl. Geograph, c/o Büro C. U. Brunner, Planung & Architektur & Energie, Lindenhofstrasse 15, 8001 Zürich.

## Energiebilanzmodell

Von Conrad U. Brunner und Ueli Soom, Zürich

### Ausgangslage und Problemstellung

Spätestens seit Energie teuer geworden ist, muss jeder Bau auch als Entscheidungsaufgabe im Bereich der Energieversorgung aufgefasst werden, bei dem Investitionen und Betriebskosten über die Lebensdauer der Massnahmen optimal einzusetzen sind. Dies gilt sinngemäss sowohl für die Neubauplanung, bei der die gesamte Investition dieser Prüfung unterworfen werden muss, wie auch bei Umbauten, bei denen von bestehenden Werten ausgegangen wird.

Als ökonomisches Problem ist diese Untersuchung eine klassische Fragestellung: Kosten und ihre Folgen in ein Gleichgewicht mit dem Nutzen zu bringen. Viele rechnerische Ansätze sind als Hilfsmittel greifbar. Eine Lücke besteht: die einfache Abschätzung des Energieverbrauches eines Gebäudes und damit auch die einfache Abschätzung des energetischen Erfolgs einer Massnahme.

Alle klassischen Rechenverfahren (DIN 4108, VDI 2067, SIA 380 [1] usw.) sind *Auslegungs-Berechnungen*, d. h. ihre Fragestellung heisst: Wie gross muss meine Heizleistung, Kühlleistung, mein Luftvolumenstrom usw. sein, um am kältesten oder wärmsten

Tag die Innenklima-Anforderungen zu erfüllen? Diese Auslegung hat sich also mit Lasten (Leistung in Watt) auseinanderzusetzen, sie hat die Sicherheit des Betriebes zu gewährleisten und muss eine Risikoabschätzung möglicher Extremsituationen nach statistischer Beurteilung der Klimadaten machen.

Die bekannten Verfahren zur Berechnung des Energieverbrauches (also Arbeit in Joule) gehören zwei Gruppen an: Entweder sind sie aus den Last-Rechnungen abgeleitet und versuchen, die jährliche Vollbetriebsstundenzahl auf der Basis von Heizgradtagen und der max. Heizleistung abzuschätzen (z.B. *Hottinger, Rietschel*), oder es sind neuere komplexe Rechenprogramme, die mit EDV-Unterstützung eine möglichst präzise Energiebilanz pro Stunde oder pro Tag erstellen und über die ganze Heizperiode summieren (DOE-2, JAENV usw.). Die Programme der ersten Gruppe haben sich für traditionelle Bauten als Näherung mit relativ guter Genauigkeit zur Abschätzung von Öltankvolumen usw. bewährt. Die in neuerer Zeit durch systematische statistische Untersuchungen [2] festgestellten geringen jährlichen Vollbetriebsstundenzahlen der Heizanlage lassen aber den Schluss zu, dass die Näherungsprogramme durch Sicherheitszuschläge auf der Leistungsseite einerseits

und ungenügender Erfassung der freien Wärme andererseits nicht in der Lage sind, gut gedämmte Bauten rechnerisch korrekt zu beschreiben. Vielmehr sind unsystematische Fehler aufgetaucht, die mit einfachen Kalibrierungen der Korrekturfaktoren nicht mehr bewerkstelligt werden konnten.

Die Serie der neuen komplexen Rechenprogramme ist als wissenschaftliches Instrument tauglich, d. h. diese dienen aufwendigen Grundlagenuntersuchungen, parallel zu experimentellen Arbeiten mit gemessenen Versuchshäusern, um überhaupt genügend gute Daten für die mathematisch-physikalische Analyse zur Verfügung zu haben. Auch sie sind, wie die Vergleichsuntersuchungen im Rahmen der IEA [3] mit aller Deutlichkeit zeigen, noch mit grossen Unsicherheiten behaftet, insbesondere was die Probleme der passiven Sonnennutzung betrifft. Zudem ist ihr Gebrauch durch die hohe Zahl der Input-Daten (etwa 1000) sehr arbeitsaufwendig und daher a priori nur für Grossbauten geeignet. Die grosse Lücke für den praktischen Architekten und Ingenieur bleibt während des Entwurfes, die Folgen (Energie und Kosten) seiner Entscheidung rasch und mit einfachen Mitteln möglichst gut abzuschätzen. Dies um so mehr, als in Zukunft Energiebilanzen als Grundlage einer Energienorm für Hochbauten verlangt werden, wie dies im Entwurf einer SIA-Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau» [4] vorgesehen ist.

### Jahresbilanz auf programmierbaren Taschenrechnern

Rasche und genügend genaue Abschätzung von Entscheidungsfolgen heisst, dass in irgendeiner Form EDV verwendet werden muss. Der Anspruch eines einfachen Hilfsmittels für praktische Architekten und Ingenieure verbietet die Anwendung von EDV-Mitteln, die in der Anschaffung teuer sind und eine spezielle Ausbildung (z.B. Erlernen einer speziellen Computersprache) bedingen.

Am geeignetsten scheint uns deshalb die Verwendung eines programmierbaren Taschenrechners, da dieser einerseits relativ billig ist und da andererseits der Umgang mit Taschenrechnern heute in Architektur- und Ingenieurbüros allgemein üblich ist.

Die Verwendung von Taschenrechnern bedingt ihrerseits, dass wegen der beschränkten Rechen- und Speicherkapazität das zur Anwendung gelangende Energiemodell einfach ist und mit einer beschränkten Anzahl Variablen auskommen muss.

Als Ansatz bietet sich eine Jahresbilanzrechnung auf der Basis der Lastrechnungen an. Um den oben beschriebenen Nachteilen aus dem Weg zu gehen, wurde für unser Energiebilanzmodell EBM die übliche Jahresbilanz nach SIA 180/3 u. a. um eine relative detaillierte Erfassung der freien Wärme und ihres Einflusses auf die Heizgrenze und Heizperioden sowie um die Berechnung des Anlagewirkungsgrades ergänzt. Daneben wurden verschiedene neue Korrekturfaktoren eingeführt, wie z. B. der Ausnützungsgrad  $AG$  der freien Wärme und der Komfortanpassungsfaktor  $KA$  für die bessere Erfassung der Heizgrenze, um damit die Phänomene in der Übergangszeit (Anfang und Ende der Heizperiode), die exakt nur mit Tages- oder Stundenbilanzen zu erfassen sind, richtig in ihrem Einfluss auf die Jahresbilanz zu erfassen.

Weitere Beispiele sind die Korrekturfaktoren  $KF$  für den Wirkungsgrad, um die Verteilverluste zu berücksichtigen, oder der Ladenfaktor  $L$ , mit dem das nächtliche Schliessen der Fensterläden erfasst wird.

Die Werte für die Korrekturfaktoren sind das Resultat ausgedehnter empirischer Untersuchungen [4]. Die im EBM enthaltene Jahresenergiebilanz hat folgende Rechenstruktur:

Gesamter Energieverbrauch:  
 $QE_{TOT} = QE_{RH} + QE_{WW} + QE_{PLK}$

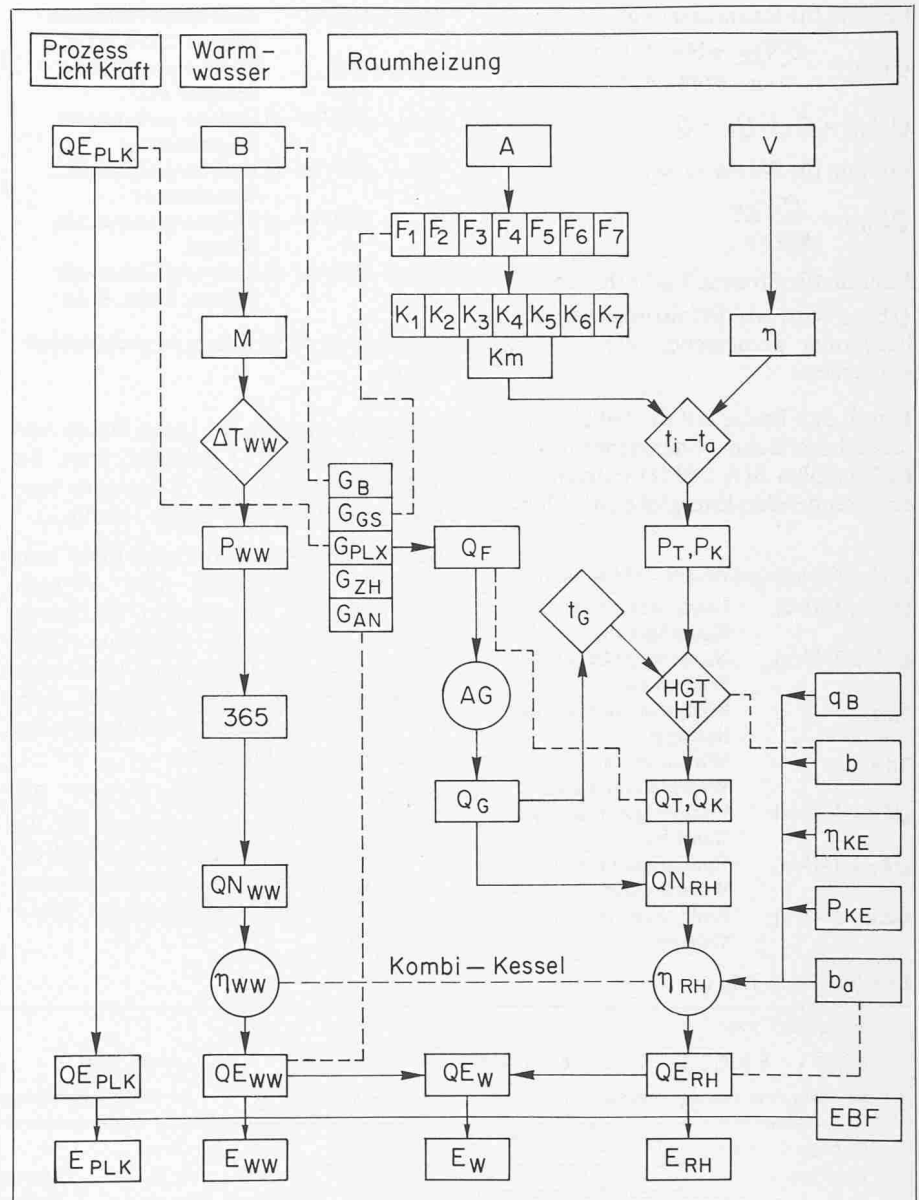


Bild 1. Energiebilanz

Abkürzungen in Bild 1

|                 |                       |  |
|-----------------|-----------------------|--|
| $V$             | [m <sup>3</sup> ]     | beheiztes Volumen                                    |
| $n$             | [1/m <sup>3</sup> ]   | Luftwechselzahl                                      |
| $A$             | [m <sup>2</sup> ]     | Oberfläche des beheizten Volumens                    |
| $F$             | [m <sup>2</sup> ]     | Teilflächen von $A$                                  |
| $F_F$           | [m <sup>2</sup> ]     | Fensterflächen nach Orientierung                     |
| $k$             | [W/m <sup>2</sup> ·K] | k-Werte von $F$                                      |
| $k_m$           | [W/m <sup>2</sup> ·K] | mittlerer k-Wert von $A$                             |
| $B$             |                       | Anzahl Bewohner                                      |
| $M$             | [l/d]                 | Warmwassermenge pro Bewohner und Tag                 |
| $t_i$           | [°C]                  | Innentemperatur                                      |
| $t_a$           | [°C]                  | min. Aussentemperatur                                |
| $\Delta T_{WW}$ | [K]                   | Temperaturdifferenz Warmwasser - Kaltwasser          |
| $t_g$           | [°C]                  | Heizgrenze   |
| $HT$            | [d/a]                 | Heiztage (= Heizperiode)                             |
| $HGT$           | [K·d/a]               | Heizgradtage   |
| $Q_F$           | [MJ/HT]               | Gewinn an freier Wärme                               |
| $G_B$           |                       | Gewinn an freier Wärme durch Bewohner                |
| $G_{GS}$        |                       | Gewinn an freier Wärme durch Globalstrahlung Fenster |

|             |        |   |
|-------------|--------|---|
| $G_{PLK}$   |        | Gewinn an freier Wärme durch Verbrauch $P, L, K$          |
| $G_{ZH}$    |        | Gewinn an freier Wärme durch Zusatzheizung                |
| $G_{AW}$    |        | Gewinn an freier Wärme durch Warmwasserauskuhlung im Haus |
| $AG$        |        | Ausnützungsgrad für $Q_F$                                 |
| $Q_G$       | [MJ/a] | Wärmegewinn (nutzbare) freie Wärme                        |
| $Q_T$       | [MJ/a] | Transmissionsverluste: Arbeit                             |
| $P_T$       | [W]    | Transmissionsverluste: Leistung                           |
| $Q_K$       | [MJ/a] | Konvektionsverluste: Arbeit                               |
| $P_K$       | [W]    | Konvektionsverluste: Leistung                             |
| $P_{WW}$    | [W]    | Warmwasserbedarf: Leistung                                |
| $P_{KE}$    | [W]    | Kesselleistung der Heizanlage                             |
| $b$         | [h/a]  | Betriebsstunden der Heizanlage                            |
| $b_a$       | [h/a]  | Vollbetriebsstunden der Heizanlage                        |
| $q_B$       |        | Bereitschaftsverluste                                     |
| $\eta_{KE}$ |        | Kesselwirkungsgrad  |

Energie für Raumheizung:

$$QE_{RH} = \frac{QN_{RH}}{\eta_{RH}}$$

wobei für die Nutzenergie gilt:

$$QN_{RH} = Q_T + Q_K - Q_G$$

Energie für Warmwasser:

$$QE_{WW} = \frac{QN_{WW}}{\eta_{WW}}$$

Energie für Prozess/Licht/Kraft:

$QE_{PLK}$  wird als Erfahrungswert (Neubau) oder gemessener Wert (Altbau) eingegeben.

Durch den Bezug auf die beheizte Bruttogeschossfläche (Energiebezugsfläche EBF gemäss SIA 180/4) entstehen die entsprechenden Energiekennzahlen.

In den Formeln gebrauchte Abkürzungen

|                  |                                   |
|------------------|-----------------------------------|
| $QN_{RH}$ [MJ/a] | Nutzenergiebedarf für Raumheizung |
| $QN_{WW}$ [MJ/a] | Nutzenergiebedarf für Warmwasser  |
| $\eta_{RH}$      | Wirkungsgrad für Raumheizung      |
| $\eta_{WW}$      | Wirkungsgrad für Wassererwärmung  |
| $QE_{RH}$ [MJ/a] | Endenergieverbrauch Raumheizung   |
| $QE_{WW}$ [MJ/a] | Endenergieverbrauch Warmwasser    |
| $QE_W$ [MJ/a]    | Endenergieverbrauch Wärme         |

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| $QE_{PLK}$ [MJ/a]                | Endenergieverbrauch Prozess, Licht, Kraft |
| EBF [m <sup>2</sup> ]            | Energiebezugsfläche = beheizte BGF        |
| $E_{RH}$ [MJ/m <sup>2</sup> ·a]  | Endenergiekennzahl Raumheizung            |
| $E_{WW}$ [MJ/m <sup>2</sup> ·a]  | Endenergiekennzahl Warmwasser             |
| $E_W$ [MJ/m <sup>2</sup> ·a]     | Endenergiekennzahl Wärme                  |
| $E_{PLK}$ [MJ/m <sup>2</sup> ·a] | Endenergiekennzahl Prozess, Licht, Kraft  |

Bild 1 zeigt diese Bilanz in graphischer Form.

Insgesamt werden 75 Input-Daten verarbeitet, wovon 57 gebäude- bzw. bewohnerspezifisch und 18 standort- bzw. klimaspezifisch sind (siehe Tabelle 1).

Gemäss Schema bildet das EBM eine einfache erste Bilanz aller Verluste (Transmission, Konvektion, Warmwasser, Feuerung) und Gewinne (freie Wärme aus dem Innenraum und eingestrahlte Sonnenenergie). Daraus rechnet das EBM die beiden verbrauchsentcheidenden Faktoren:

- den Ausnutzungsgrad (AG) der freien Wärme als Grundlage für die modifizierte Heizgrenze ( $t_g$ ) und damit die gebäudespezifischen Heiztage (HT) und Heizgradtage (HGT) (Bild 2);

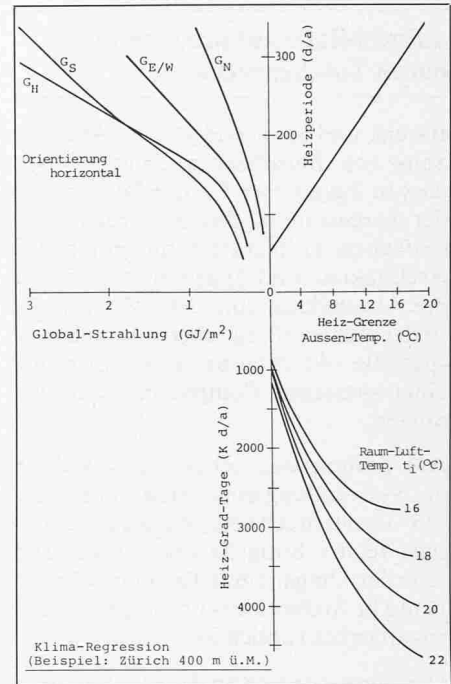


Bild 2. Klimaerfassung

- den Wirkungsgrad ( $\eta_{RH}$ ) der Energiefreisetzung aus den Kenndaten für Betrieb und Bereitschaft, in dem die echten Vollbetriebsstunden (Brennerbelastung) eingesetzt werden.

Der Kern des Rechenprogrammes besteht in der Ermittlung der effektiven

Tabelle 1. Input-Daten

| Ausgefüllt von:               |                       |                |             | am:           | laufende Nr.: |    |                   |                         |             |             |    |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|-------------|---------------|---------------|----|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|----|
| EBM ENERGIE - BILANZ - MODELL |                       |                |             | INPUT-TABELLE |               |    |                   | CUB/IF 25.02.1982 (410) |             |             |    |
| Nr                            | Abkürzung             | Einheit        | Bezeichnung | Bemerkungen   | Nr            | Nr | Abkürzung         | Einheit                 | Bezeichnung | Bemerkungen | Nr |
| 00                            | Name                  | --             |             |               | 00            | 50 | t <sub>i</sub>    | °C                      |             |             | 50 |
| 01                            | Klima                 | --             |             |               | 01            | 51 | k <sub>D</sub>    | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 51 |
| 02                            | F <sub>D</sub>        | m <sup>2</sup> |             |               | 02            | 52 | k <sub>W</sub>    | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 52 |
| 03                            | F <sub>W</sub>        | m <sup>2</sup> |             |               | 03            | 53 | k <sub>F</sub>    | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 53 |
| 04                            | F <sub>N</sub>        | m <sup>2</sup> |             |               | 04            | 54 | L                 | --                      |             |             | 54 |
| 05                            | F <sub>E/W</sub>      | m <sup>2</sup> |             |               | 05            | 55 | t <sub>a.1</sub>  | °C                      |             |             | 55 |
| 06                            | F <sub>S</sub>        | m <sup>2</sup> |             |               | 06            | 56 | k <sub>i</sub>    | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 56 |
| 07                            | F <sub>NE/NW</sub>    | m <sup>2</sup> |             |               | 07            | 57 | t <sub>a.B</sub>  | °C                      |             |             | 57 |
| 08                            | F <sub>SE/SW</sub>    | m <sup>2</sup> |             |               | 08            | 58 | k <sub>B</sub>    | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 58 |
| 09                            | F <sub>H</sub>        | m <sup>2</sup> |             |               | 09            | 59 | t <sub>a.WE</sub> | °C                      |             |             | 59 |
| 10                            | F <sub>i</sub>        | m <sup>2</sup> |             |               | 10            | 60 | k <sub>WE</sub>   | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 60 |
| 11                            | F <sub>B</sub>        | m <sup>2</sup> |             |               | 11            | 61 | t <sub>a.BE</sub> | °C                      |             |             | 61 |
| 12                            | F <sub>WE</sub>       | m <sup>2</sup> |             |               | 12            | 62 | k <sub>BE</sub>   | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 62 |
| 13                            | F <sub>BE</sub>       | m <sup>2</sup> |             |               | 13            | 63 | k <sub>m</sub>    | W/m <sup>2</sup> ·K     |             |             | 63 |
| 14                            | A                     | m <sup>2</sup> |             |               | 14            | 64 | n                 | 1/h                     |             |             | 64 |
| 15                            | EBF                   | m <sup>2</sup> |             |               | 15            | 65 | M                 | l/d.B                   |             |             | 65 |
| 16                            | V                     | m <sup>3</sup> |             |               | 16            | 66 | ΔT <sub>WW</sub>  | K                       |             |             | 66 |
| 17                            | B <sub>E</sub>        | --             |             |               | 17            | 67 | r                 | --                      |             |             | 67 |
| 18                            | B <sub>K</sub>        | --             |             |               | 18            | 68 | P <sub>inst</sub> | W                       |             |             | 68 |
| 19                            | Q <sub>A.ZH</sub>     | MJ/a           |             |               | 19            | 69 | q <sub>B</sub>    | --                      |             |             | 69 |
| 20                            | Q <sub>A.RH</sub>     | MJ/a           |             |               | 20            | 70 | η <sub>K</sub>    | --                      |             |             | 70 |
| 21                            | Q <sub>A.WW</sub>     | MJ/a           |             |               | 21            | 71 | η <sub>RH</sub>   | --                      |             |             | 71 |
| 22                            | Q <sub>A.W</sub>      | MJ/a           |             |               | 22            | 72 | η <sub>WW</sub>   | --                      |             |             | 72 |
| 23                            | Q <sub>A.PLK</sub>    | MJ/a           |             |               | 23            | 73 | η <sub>ZH</sub>   | --                      |             |             | 73 |
| 24                            | Q <sub>A.TOT</sub>    | MJ/a           |             |               | 24            | 74 | K <sub>FRH</sub>  | --                      |             |             | 74 |
| 25                            | Q <sub>A.WW/PLK</sub> | MJ/a           |             |               | 25            | 75 | K <sub>FWW</sub>  | --                      |             |             | 75 |
|                               |                       |                |             |               |               | 76 | z <sub>1</sub>    | --                      |             |             | 76 |
|                               |                       |                |             |               |               | 77 | z <sub>2</sub>    | --                      |             |             | 77 |
|                               |                       |                |             |               |               | 78 | K <sub>A</sub>    | K                       |             |             | 78 |
|                               |                       |                |             |               |               | 79 | SG 1              | --                      |             |             | 79 |
|                               |                       |                |             |               |               | 80 | SG 2              | --                      |             |             | 80 |

Standard-Klima auf Nr. 30-47; SIZE 090

Heizgrenze ( $t_g$ ) infolge freier Wärme. Die Berechnung erfolgt durch einen Vergleich der Wärmeverluste (Transmission, Konvektion) mit den Gewinnen (innere Abwärme der Personen, Umwandlung Elektrizität in Wärme, Zustrahlung der Sonne durch die Fenster jeder Orientierung, andere Abwärmquellen wie Heizraum usw.). Durch einen Ausnutzungsgrad ( $AG$ ) wird der nutzbare Teil der freien Wärme (d.h. der Teil, der nicht zu einer Übererwärmung des Raumes führt) in die Bilanz einbezogen (Bild 3). Die Raumparameter (Masse, Zeitkonstante  $\tau$  und zulässige Innentemperatur-Schwankung im Tagesgang) können dabei für die Korrektur von  $AG$  verwendet werden. Durch diese Bilanzrechnung kann die effektive Heizgrenze ermittelt und für die Berechnung der Heizperiode (Heiztage  $HT$  und Heizgradtage  $HGT$ ) verwendet werden. Aus dieser Nutzenergiebilanz kann der Betriebszustand des Heizsystems abgeleitet werden: Die Vollbetriebsstunden des Brenners und die Betriebszeit des Kessels – sie charakterisieren mit den entsprechenden spezifischen Verlustwerten ( $\eta_K$  Kesselwirkungsgrad und  $q_B$  Bereitschaftsverluste) den Jahreswirkungsgrad der Anlage.

### EBM für Sanierung von Altbauten

Unser Ansatz zur Abschätzung des jährlichen Energieverbrauches basiert auf folgender Prämisse: Bei Sanierungen ist der Ist-Verbrauch bekannt, ebenso sind die Gebäude-Eigenschaften mehr oder weniger genau feststellbar. Normalerweise soll durch mehrere Rechengänge, zwischen denen jeweils die nur ungenau bekannten Gebäudedaten sinnvoll verändert werden, eine Übereinstimmung der gerechneten Verbrauchswerte mit den gemessenen Verbrauchswerten erreicht werden (Iteration). So gelingt es einerseits, die Kenntnisse über die Gebäudedaten zu verbessern, andererseits den Ist-Verbrauch zu analysieren, d. h. auf plausible Art den anteiligen Verbrauchern zuzuordnen. Damit ist eine erste Basis geschaffen, um die Wirkung von Sanierungsschritten zu ermitteln.

Die Schwierigkeit bei bestehenden Bauten besteht darin, das Gebäude, von dem vielfach detaillierte Planungsunterlagen fehlen, thermisch genügend genau zu beschreiben. Die Messung der Transmissionsverluste ( $k$ -Werte) oder Konvektionsverluste (Luftwechsel  $n$  oder Fugendichtigkeit  $a$ ) ist sehr aufwendig und zudem bei der Messung am Bau mit grossen Fehlermargen behaf-

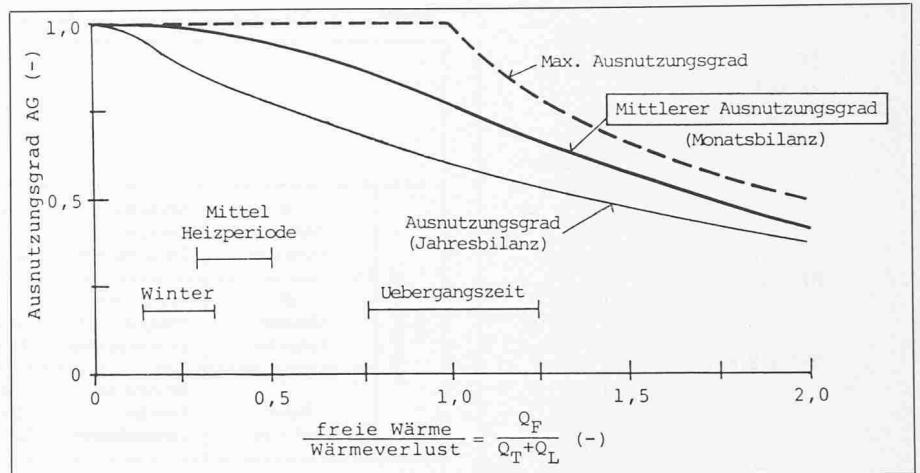


Bild 3. Ausnutzungsgrad freie Wärme

tet. Die rechnerische Analyse geht daher im Sinne eines Sensitivitätstests schrittweise vor: Mit einem ersten Ansatz werden die mutmasslich wichtigsten Elemente eruiert, die dann in der Verfeinerung genauer analysiert werden können. Z. B. spielt bei einem eingeschossigen Einfamilienhaus mit Steildach der Fassaden- $k$ -Wert keine entscheidende Rolle (er liegt aufgrund der Mauerdicke z.B. irgendwo zwischen 1,0 und 1,2  $W/m^2 \cdot K$ ), während die Isolation der Dachfläche zum entscheidenden Faktor wird (hier liegt der  $k$ -Wert zwischen 0,8 und 2,5  $W/m^2 \cdot K$ ). An dieser Stelle sind also unter Umständen gezielte örtliche Abklärungen (inkl. Zerstörung der Abdeckung) notwendig und sinnvoll.

Mit zwei bis vier Iterationsschritten gelingt dem Operateur die Analyse des Ist-Verbrauches mit einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  des Jahresverbrauches. Dazu braucht er, je nach Gebäudegrösse und Vorbereitung der Daten, etwa eine halbe bis eine Stunde. Darauf kann er die für die energetische Sanierung notwendigen Rechengänge ebenfalls innert einer halben bis einer Stunde ausführen: Er testet dabei zuerst Einzelmassnahmen (z.B. Dachisolation mit  $k$ -Werten von 0,2 bis 0,6) und bildet in einer

zweiten Runde das ihm sinnvoll erscheinende Sanierungspaket. Das Rechenprogramm berücksichtigt dabei die Veränderung der Ausnutzung der freien Wärme, der Heizgrenze, der Heiztage und der Heizgradtage sowie des Wirkungsgrades der Heizanlage selbständig und rechnet den Soll-Verbrauch mit den korrigierten Werten (Tabelle 2).

### EBM für Neubauten

Rechnerisch gesehen stellt der Neubau keine zusätzlichen Probleme: Die Erfassung der Input-Daten ist im allgemeinen aufgrund detaillierter Pläne einfacher, rascher und sicherer. Der Unterschied zum Altbau liegt darin, dass der Ist-Verbrauch nicht bekannt ist.

Die Iteration beschränkt sich hier somit auf die Anpassung der Standardklimatdaten (SIA 381/2, 381/3) auf den gewählten Gebäudetypus, auf die Eruiierung der freien Wärme und auf die Bestimmung des mittleren Wirkungsgrades des Systems. Die Erfahrung mit bestehenden Bauten [5] kommt uns hier zu Hilfe: Unser Rechenmodell lässt

Tabelle 2. Gebäudeeigenschaften: Beispiel Einfamilienhaus in Zürich

|   | Fälle          |                    |  |                                 |                      |
|---|----------------|--------------------|--|---------------------------------|----------------------|
|   | 1. IST-Zustand | 2. Dach verbessert | 3. Dach, Wand, Boden, Fenster verbessert | 4. Südfensterfläche vergrössert | 5. Kessel verbessert |
| Heizgrenze $t_g$ [°C]                                     | 13,2           | 12,7               | 10,7                                     | 9,9                             | 9,9                  |
| Heiztage $HT$ [d/a]                                       | 242            | 235                | 207                                      | 196                             | 196                  |
| Heizgradtage $HGT$ [ $K \cdot d/a$ ]                      | 3785           | 3738               | 3503                                     | 3402                            | 3402                 |
| $k_m$ [ $W/m^2 \cdot K$ ]                                 | 0,70           | 0,62               | 0,35                                     | 0,38                            | 0,38                 |
| Heizleistung $P$ [kW]                                     | 14,3           | 12,8               | 8,2                                      | 8,6                             | 8,6                  |
| Ausnutzungsgrad $AG$ [-]                                  | 0,89           | 0,88               | 0,83                                     | 0,81                            | 0,81                 |
| Deckungsgrad $\gamma$ [-]                                 | 0,73           | 0,72               | 0,60                                     | 0,57                            | 0,57                 |
| Wirkungsgrad $\eta$ [-]                                   | 0,77           | 0,76               | 0,69                                     | 0,71                            | 0,88                 |
| Energiekennzahl Raumheizung $E_{RH}$ [ $MJ/m^2 \cdot a$ ] | 832            | 735                | 388                                      | 360                             | 290                  |

Schrittweise Verbesserung der Gebäudekomponenten und der Heiztechnik.

| XED "EBM SIA"         |          |
|-----------------------|----------|
| SAG N                 |          |
| ZH 400                |          |
| TI, TG, HT, HGT, N    | 20,00    |
|                       | 12,00    |
|                       | 229,00   |
|                       | 3.718,00 |
|                       | 0,30     |
| HT, HGT               | 257,     |
|                       | 3.919,   |
| Q-T: D, W, F, I, B, E |          |
|                       | 30.150,  |
|                       | 49.499,  |
|                       | 27.478,  |
|                       | 10.657,  |
|                       | 15.630,  |
|                       | 10.657,  |
|                       | 12.148,  |
| P-T = 11.071,         |          |
| Q-T = 156.218,        |          |
| K-M = 0,77            |          |
| P-K = 2.016,          |          |
| Q-K = 24.377,         |          |
| P-WW = 346,           |          |
| QN-WW = 7.677,        |          |
| QN-WWS = 3.226,       |          |
| B-A = 1.145,          |          |
| B = 6.167,            |          |
| ETA-A = 0,77          |          |
| ETA-RH = 0,85         |          |
| ETA-WW = 0,66         |          |
| ETA-WWS = 0,51        |          |
| Q-F: E, Z, B, S, WW   |          |
|                       | 10.130,  |
|                       | 0,       |
|                       | 4.440,   |
|                       | 32.116,  |
|                       | 3.454,   |
| Q-F = 50.147,         |          |
| AG = 0,91             |          |
| Q-G = 45.029,         |          |
| Y = 0,75              |          |
| N-RH = 134.767,       |          |
|                       | 749,     |
| N-WW = 10.899,        |          |
|                       | 61,      |
| E-RH = 150.312,       |          |
|                       | 880,     |
|                       | 150.000, |
|                       | 2,-01    |
| E-WW = 17.990,        |          |
|                       | 100,     |
|                       | 10.000,  |
|                       | -6,-02   |
| E-W = 176.302,        |          |
|                       | 979,     |
|                       | 176.000, |
|                       | 2,-01    |
| E-E = 10.000,         |          |
|                       | 100,     |
| E-TOT = 194.302,      |          |
|                       | 1.079,   |
| TG 2 = 13,6           |          |
| TG 1 = 13,6           |          |

Tabelle 3. Verbrauchsmatrix: Beispiel Siedlung mit 8 Häusern

|                     |                            | Technik<br>Wärme-Erzeugung                                    |                      |                      |                      |
|---------------------|----------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|
|                     |                            | 1.<br>Kessel  | 2.<br>Diesel-WP      | 3.<br>Elektro-WP     |                      |
| Bau<br>Wärme-Bedarf | A<br>Normal-<br>Isolation  | Investition [kFr.]<br>Energie [GJ/a]<br>Gesamtkosten [kFr./a] | 65,4<br>1178<br>36,9 | 160,4<br>743<br>37,1 | 133,2<br>759<br>41,5 |
|                     | B<br>Optimal-<br>Isolation | Investition [kFr.]<br>Energie [GJ/a]<br>Gesamtkosten [kFr./a] | 87,8<br>675<br>26,4  | 177,4<br>435<br>31,2 | 153,4<br>439<br>32,3 |
|                     | C<br>Super-<br>Isolation   | Investition [kFr.]<br>Energie [GJ/a]<br>Gesamtkosten [kFr./a] | 130,9<br>602<br>27,3 | 220,5<br>388<br>33,1 | 196,5<br>396<br>33,9 |

Die Gesamtkosten umfassen die Annuität der Investition für Bau und Technik, Wartung und Energiekosten mit Teuerungsfaktor 1,5.

sich durch eine Serie gleichartiger bestehender Bauten kalibrieren, um damit auch bei Neubauten eine entsprechende Genauigkeit zu bekommen.

Ist einmal ein erster Zustand gerechnet, so lassen sich analog zu den Sanierungsschritten bei Altbauten Alternativen zum ersten Entwurf auf ihren Einfluss auf den Energieverbrauch berechnen.

Die Anwendung des Programmes für Neubauten hat zwei Ziele: Zuerst soll der didaktische Wert der Berechnung als direktes Entwurfsfeedback noch erhöht werden, d. h. der Architekt soll mit etwa zehn Einflussfaktoren schrittweise seine Entwurfsentscheide überprüfen können. Diese Faktoren müssen transparent gemacht werden und müssen sich auch für eine feinere Analyse eignen. Und zweitens: Die Genauigkeit des Jahresverbrauches ist von verschiedenen Stufen der Entscheidung abhängig, deshalb machen wir zwei Rechengänge für Neubauten: eine grobe rasche Bilanzierung in der Phase 1:100 und eine detailliertere Analyse in der Phase 1:50.

### Anwendungsbereich, Grenzen, Ausblick

Die Zielsetzung unseres EBM lautete: Planer, Architekten und Ingenieure, die praktische Projektarbeit leisten, sollen nach einer kurzen Einführungszeit in der Lage sein, die Wirkung von Energiemassnahmen an Sanierungsobjekten oder Neubauten zu ermitteln, indem sie mit ein bis zwei Stunden Arbeitsaufwand eine Analyse des Ist-Jahresverbrauches und darauf eine Berechnung des Soll-Verbrauches von Einzelmassnahmen und Massnahmenpaketen erstellen. Die Einführung dauert einen

Arbeitstag, die notwendige Hardware soll 1000 bis 2000 Franken pro Büro nicht übersteigen.

Die letzten beiden Forderungen sind durch die Verwendung von programmierbaren Taschenrechnern erfüllt. Einschränkend muss allerdings gesagt werden, dass die Dateneingabe und -änderung bei diesen Geräten nur über Speicherregisteradressen (z.B. F → R5) möglich sind, dass der Ausdruck wenig komfortabel ist und dass grössere Programmänderungen relativ aufwendig sind im Vergleich mit grösseren Computern (Bild 4).

Die Eignung für die effiziente systematische Optimierung des geplanten Kapitaleinsatzes für Energiesparinvestitionen ist ebenfalls gegeben: Die Beurteilung verschiedener Komponenten kann in kurzer Zeit mit guter Genauigkeit einzeln erfolgen. Z. B. kann durch schrittweises Ändern des k-Wertes der Dachfläche (mit bekannten Kosten) rasch die optimale Dämmstärke gefunden werden, oder es werden kleine Teiloptimierungsprogramme z. B. für k-Werte eingefügt. Andererseits können auch ganze Investitionspakete miteinander verglichen werden: z. B. hohe Wärmedämmung mit Ölfeuerung gegenüber geringerer Dämmung mit Dieselwärmepumpe. Der Sensitivitätstest geht nur wenige Minuten, d. h. es können eine Vielzahl möglicher Systeme und Kombinationen gegeneinander getestet werden (Tabelle 3).

Für die Genauigkeit des EBM gehen wir von folgender Annahme aus: Die Genauigkeit des Gesamtverbrauches des Gebäudes ist grösser als die Genauigkeit des Verbrauches einzelner Komponenten. Unsere Untersuchung zielt auf eine Gesamtgenauigkeit (Jahresbilanz) von ± 10%, nimmt dabei in Anspruch, dass die gelieferten Gebäudedaten gut sind und die Bauausführung mit den geplanten Werten über-

Bild 4. Output-Muster Energiebilanz (HP41 CV)

einstimmt. Der Benutzer wird durch sein Verhalten (Innentemperatur, Lüftung usw.) zusätzlich  $\pm 10\%$  bis  $\pm 20\%$  Unsicherheit hinzufügen, ebenso wie die Klimasituation von Winter zu Winter mit etwa  $\pm 10\%$  zu Buche steht. Bei definiertem «Wohlverhalten» der Bewohner im Sinne einer Standardnutzung dürfte der Jahresverbrauch im mittleren Winter auf  $\pm 10\%$  genau abschätzbar sein. Die Streuung aller Extreme dürfte  $\pm 20\%$  des Mittelwertes nicht übersteigen. Diese Genauigkeit scheint für die Arbeit von praktischen Architekten und Ingenieuren genügend.

Das EBM ist ein Grundmodell mit Schwergewicht in der Erfassung der freien Wärme, der Heizgrenze und des Wirkungsgrades. Andere Schwerpunkte wie z. B. die Erfassung der Strahlungsabsorption der Aussenwände oder Berechnung von Gebäuden mit stark unterschiedlich genutzten und beheizten Räumen usw. lassen sich aus dem Grundmodell heraus entwickeln. Für

Kosten-Nutzen-Analysen kann nur der (Energie-)Nutzen mit EBM gerechnet werden, die Kosten müssen extern erfasst werden. Eine Erweiterung des EBM in dieser Richtung ist leicht möglich.

EBM eignet sich v. a. für Wohnbauten, Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser und bedingt auch für unklimateisierte Büro- und Ladengebäude, die keine vom Energiehaushalt aus gesehen stark unterschiedlichen Teilzonen aufweisen. EBM eignet sich nicht für klimatisierte Gebäude, Fabrikationsgebäude usw.

Für die Wirkungsgraderfassung steht im EBM vorläufig die Zentralheizung mit Kessel als heute noch häufigste Heizungsart im Vordergrund. Nur für diese kann der Wirkungsgrad in Abhängigkeit zur Last gerechnet werden. Für andere Heizsysteme muss der Wirkungsgrad fest eingegeben werden, doch sind Erweiterungen in dieser Richtung (z. B. für Wärmepumpen) möglich.

#### Literatur

- [1] SIA 380: Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden, SIA, Zürich 1975
- VDI 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, BRD 1979
- DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, BRD 1969-1982
- [2] Wick, B.: «Energiekennzahl», in «Schweizer Ingenieur und Architekt» 13/1979
- [3] Brendel und Güttler: «Rechenmodelle Energie in BMFT», Schlussbericht, Bonn 1980
- [4] SIA 380/1 «Energie im Hochbau», Entwurf der Empfehlung 1982 und Erläuternder Bericht 1982, C. U. Brunner, A. Garnier, M. Kiss, R. Moser, Zürich 1982
- [5] Bundesamt für Konjunkturfragen: Wärmetechnische Gebäudesanierung, Handbuch Planung und Projektierung, Bern, 2. Auflage 1983

Adresse der Verfasser: *Conrad U. Brunner*, Dipl. Arch. ETH/SIA, und *Ueli Soom*, Dipl. Arch. ETH, Planer NDS, c/o Büro C. U. Brunner, Planung & Architektur & Energie, Lindenhofstr. 15, 8001 Zürich.

Ein vollständiger Bericht der Nationalfonds-Forschungsarbeit kann bei den Autoren eingesehen werden.

## Sonnenenergienutzung in der Schweiz

Aus dem Bericht der Eidg. Fachkommission (KNS) für das Jahr 1982

### Kommissionsarbeit

Die Kommission hat sich im Berichtsjahr zu sechs Vollsitzungen versammelt, dazu kamen noch zahlreiche Teilsitzungen von Arbeitsgruppen. Mandatsgemäss behandelte die KNS in erster Linie Fragen, die ihr vom Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschafts-Departement vorgelegt wurden. Es handelte sich zur Hauptsache um Stellungnahmen zu parlamentarischen Anfragen, um Beurteilungen von Forschungsprojekten und um die Abschätzung der Möglichkeiten der Nutzung der Sonnenenergie in verschiedenen Szenarien.

Im weitem orientierte sich die Kommission laufend über die nationale und internationale Lage der Solartechnik und bezog dazu öffentlich Stellung. Wesentliche Lücken im Bereich der Forschung, Entwicklung und Demonstration versuchte die KNS durch die Anregung entsprechender Untersuchungen zu schliessen.

### Allgemeine Lage

Auch im Jahr 1982 war der Geschäftsgang der Solartechnik auf dem Gebiet der Wärmeerzeugung rückläufig. Dies hängt mit der allgemeinen Wirtschaftsrezession und mit dem Sinken des Erdölpreises zusammen, was im Bewusstsein vieler Leute die Energieproblematik verschwinden lässt. Alle langfristigen ernsthaften Prognosen aber weisen auf eine künftige Mangelsituation hin, die durch politische Wirren auch sehr kurzfristig eintreten kann.

Gerade darin aber liegt die Notwendigkeit, dass die öffentliche Hand aktiv wird, wie es

mit der Aufnahme eines Energieartikels in der Verfassung beabsichtigt ist. Die private Wirtschaft muss mit kürzeren Zeitkonstanten arbeiten und ist kaum in der Lage, die im Bereich der Energiesubstitution nötigen grösseren Zeiträume zu überbrücken; auch bei schon relativ anwendungsnahen Techniken der Solarenergie ist nämlich noch kontinuierliche Entwicklungs- und Forschungsarbeit nötig, die vor allem in Demonstrationsanlagen offensichtlich wird. Dazu tritt, dass beim Installationsgewerbe und bei der Elementefabrikation die Margen seit jeher so gedrückt sind, dass sie grössere Forschungsaufwendungen nicht erlauben. Beim alleinigen Abstellen auf die Kräfte von Industrie und Gewerbe besteht deshalb die Gefahr, dass die Fluktuationen und Turbulenzen des Marktes die Beibehaltung des technischen Standes verunmöglichen. Dies erschwert in einer künftigen Mangelsituation die rasche Reaktion oder öffnet – bei späterer günstigerer Marktlage – allein ausländischen Produzenten das Feld. Da aber mit dem Produkt oder System oft auch die Planungstätigkeit mitgeliefert wird, schwächt man dabei auch die Branche der Planer. Energie- und Wirtschaftspolitik sind hier indirekt gekoppelt.

Eine Aktivität des Bundes scheint deshalb angebracht. Dies bedeutet jedoch keineswegs ein Zurückdrängen der Kantone; vielmehr bringt eine partnerschaftliche Zusammenarbeit wertvolle Ergebnisse; Beispiele dazu später. Dass der technische Stand schweizerischer Firmen der Solartechnik beachtlich ist, zeigen interessante Aufträge, die gegen die internationale Konkurrenz gewonnen werden konnten.

### Beitrag der Solarenergie zur Energieversorgung im Krisenfall

Die Arbeiten für den Anteil der aktiven Solarnutzung zu Heizzwecken wurden abgeschlossen. Sie zeigen, dass innerhalb der Zeit, in der die vorhandenen Pflichtlager an Erdöl verbraucht würden (etwa zwei Jahre), die solare Wärmeerzeugung auf einen Beitrag von etwa 3 bis 4 Prozent zur Erdölsubstitution angekerbelt werden könnte. Diese Zahl ist nicht vernachlässigbar, aber doch bescheiden. Sie könnte allerdings – wenn der Materialnachschub gesichert wäre – jährlich etwa weitere 4 Prozent substituieren, ohne weiteren technischen Durchbruch jedoch bis höchstens gegen 50 Prozent des Heizölbedarfs anwachsen.

Als heutige Vorbereitung wäre die Entwicklung eines billigen, in vielen Gewerben und Industrien rasch in Produktion zu bringenden, effizienten Kollektorsystems das Sinnvollste. Diese Vorarbeiten würden keine sehr grossen finanziellen Aufwendungen erfordern.

Vor einer definitiven Schlussfolgerung müssen die anderen Möglichkeiten (passive Solarnutzung, Solarzellen, Holz, Wärmepumpen, Kohle usw.) studiert werden. Das von der KNS gewählte Vorgehen kann dabei als Modell dienen.

### Rahmenplan für Forschung und Entwicklung

Turnusgemäss wurde die Überarbeitung des im Jahre 1979 erstellten Rahmenplans für Forschung und Entwicklung im Bereich Sonnenenergie im Lichte der seither festgestellten Tendenzen in Angriff genommen.

Der passiven Nutzung der Sonnenenergie wurde verstärkte Bedeutung beigemessen, wobei die hauptsächlichsten Massnahmen