

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	102 (1984)
<b>Heft:</b>	25
<b>Artikel:</b>	Computergestütztes Energie-Engineering: Energieoptimierung raumluftechnischer Anlagen
<b>Autor:</b>	Travnicka, Miro
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-75482">https://doi.org/10.5169/seals-75482</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

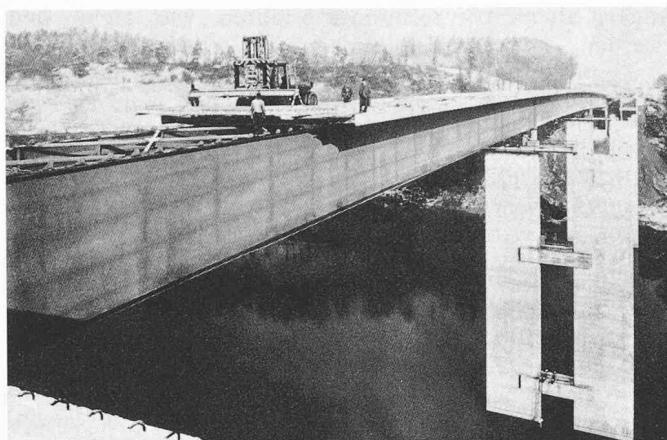
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

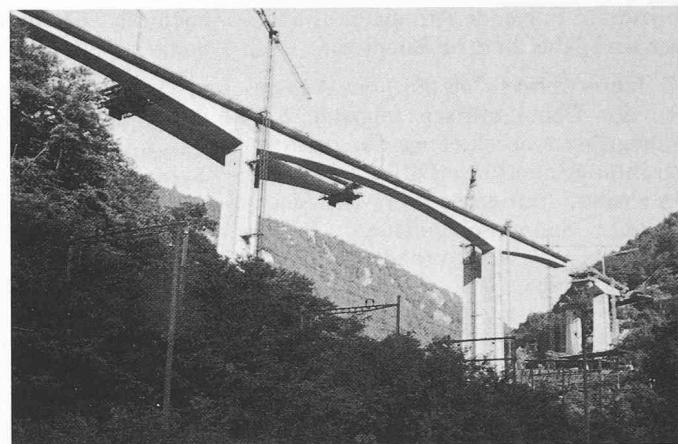
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

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



Autobahnbrücke über die Saane (N 12 bei Freiburg). Stahlverbundbrücke. Versetzen der vorfabrizierten Elemente für die Fahrbahnplatte (1964)



Biaschina-Viadukt (N 1 in der Leventina). Freivorbau. Bauzustand 1982

Winterthur und mit den Stiftungsratsmitgliedern Prof. H. Hauri, Frau Prof. E. Hamburger, Dr. H. Locher und Dir. H. Lutz kam es endlich zur Verwirklichung dieses für das Ingenieurwesen bedeutenden Projektes. Professor Hauri hatte entscheidenden Anteil an der Planung und Ausführung des Neubaus; er war Kontaktperson zur ETH und befasste sich auch im einzelnen mit der Ausstellungsgestaltung. 1982 konnte das Technorama in Winterthur eröffnet werden. Die anschauliche Darstellung von teilweise komplexen technischen Vorgängen findet beim Publikum nach wie vor grosses Interesse.

Ein besonders wertvoller Bestandteil des Technoramas ist das *Ammann-Archiv*, das Stadtpräsident Widmer nach persönlichen Kontakten mit der Fami-

lie Ammann in New York erwerben konnte. Zum hundertsten Geburtstag des grossen Pioniers im Hängebrückenbau organisierten Stadtpräsident Widmer und Professor Hauri eine Ausstellung über das Werk von Othmar H. Ammann und die Entwicklung des Grossbrückenbaus. Die vielbeachtete Ausstellung wurde im September 1979 in Schaffhausen eröffnet, kam dann an die ETH und wurde anschliessend in verschiedenen Orten in der Schweiz gezeigt. Nach zahlreichen Stationen in den USA befindet sich die Ausstellung heute an der für das Bauingenieurwesen besonders bekannten Cornell-University in Ithaca, New York. Ergänzend zur Ausstellung verfasste Professor Hauri zusammen mit Dr. Tom Peters und andern Autoren ein Buch über die

Entwicklung des Grossbrückenbaus, das inzwischen bereits in der 3. Auflage erschienen ist. Im Zusammenhang mit der Sammlung wertvoller Dokumente zur Technik-Geschichte ist der *Nachlass von Robert Maillart* zu erwähnen, den Frau Blumer-Maillart, die Tochter des berühmten Brückenbauers, sorgfältig gepflegt und verwaltet hatte. Prof. Hauri brachte dieses Maillart-Archiv an die ETH in Zürich.

Mit unserer Gratulation zum sechzigsten Geburtstag wünschen wir Professor Hans Hauri auch weiterhin viel Erfolg bei seiner vielseitigen Tätigkeit.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Ch. Menn, Vorsteher der Abteilung für Bauingenieurwesen an der ETH Zürich, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

## Computergestütztes Energie-Engineering

### Energieoptimierung raumluftechnischer Anlagen

Von Miro Travnica, Zürich

Energie-Berater stehen täglich vor der Aufgabe, eine bestehende Bauhülle oder eine haustechnische Anlage auf ihren Energieverbrauch hin zu beurteilen oder bei der Planung von Neubauten eine energiewirtschaftliche Optimierung der Baukonstruktion sowie der raumluftechnischen und heiztechnischen Systeme vorzunehmen. Der Verfasser geht auf die Probleme bei der Entwicklung der Computerprogramme zur Lösung solcher Aufgaben ein und berichtet anschliessend über Erfahrungen mit Anwendungen des entwickelten Computerprogramms in der Praxis.

Die Energiespartechnik öffnet ein neues, faszinierendes und vor allem weitreichendes Arbeitsgebiet, das von der baulichen Gestaltung bis zur Regelungstechnik und Gebäudeautomatisierung reicht. Selbstverständlich müssen auch die Fabrikationsabläufe in Indu-

strien und Gewerbe mit einbezogen werden, denn hier liegt noch grosses Sparpotential brach.

Die computergestützte Energieoptimierung der raumluftechnischen Anlagen und Gebäude behandelt einen kleinen, aber wichtigen Teilbereich der Ener-

giespartechnik. Sie zeigt auch, dass fachliche Kompetenz der Energie-Ingenieure, gepaart mit sinnvoller Anwendung moderner Hilfsmittel, die besten Resultate bringt.

### Grundlegende Anforderungen an Rechenprogramme

Für die energiewirtschaftliche Beurteilung von raumluftechnischen Systemen, Fassaden sowie der optimalen Betriebsbedingungen ist eine zuverlässige Analyse des Jahresenergiebedarfs unumgänglich.

Während die Nachvollziehung des jährlichen Heizenergieverbrauchs bei nicht klimatisierten Häusern keine grossen Probleme bietet, sind die Randbedingungen für eine genaue Erfassung des Jahresenergiebedarfs der raumluftechnischen Anlagen wesentlich kom-

plizierter. Folgende Parameter und Daten sind dabei zu berücksichtigen:

- Jahreswerte (8760 Std.) des Außenklimas. Dabei müssen folgende Einflussgrößen beachtet werden: Direktrstrahlungsintensität, Diffusstrahlungsintensität, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer, Bewölkungsgrad, Windverhältnisse und Niederschläge.
- Der Baukörper ist in allen Einheiten zu erfassen, d.h. Masse, Wärmeleitung und spezifische Wärme aller Materialien müssen bekannt sein. Darüber hinaus ist zu beachten, dass diese Werte in Abhängigkeit von den jahreszeitlichen unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten ebenfalls Schwankungen unterworfen sind. Damit auch der Windeinfluss voll erfasst werden kann, darf

auch die Luftdurchlässigkeit aller Elemente nicht vergessen werden.

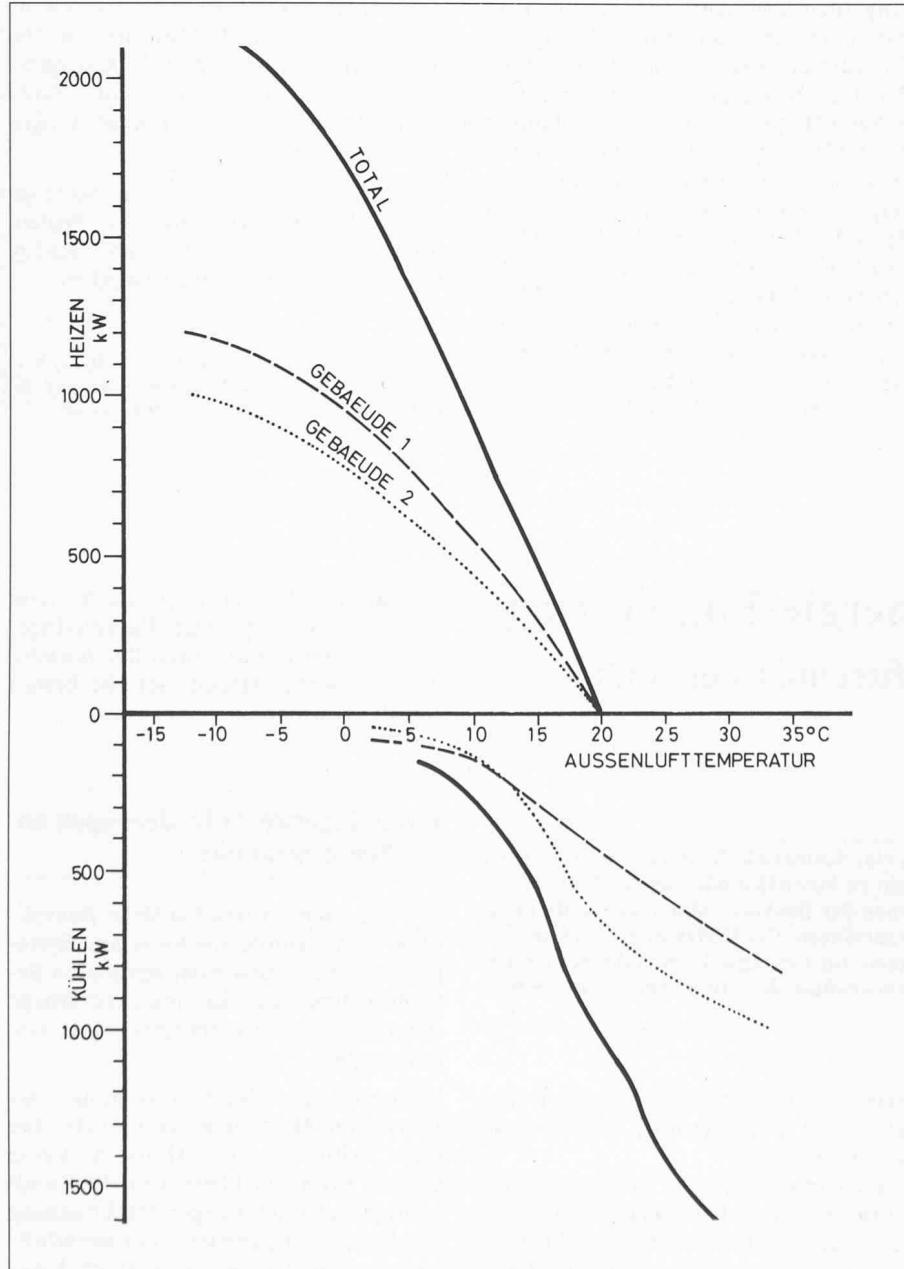
□ Das betriebs- und regeltechnische Verhalten der Heizungs-, Lüftungs- und Kälteanlagen muss vollständig erfasst werden. Lüftungs- und Kälteverluste sind außerdem den entsprechenden Räumen richtig zuzuordnen.

□ Zu berücksichtigen sind auch die Nutzungsverhältnisse, der wechselnde Wärmeanfall durch die Nutzung, inbegriffen die Lichtschaltung und die Bedienung des eventuell vorhandenen Sonnenstrahlungsschutzes an den Fenstern. Die externe Beschattung durch Nachbargebäude ist ebenfalls voll zu beachten.

Es ist naheliegend, dass sich alle diese Forderungen mit herkömmlichen Be-

rechnungsverfahren wie Heiz- und Kühlgradtagen, Vollheiz- und Vollkühlstunden, Summenhäufigkeiten und Einzelhäufigkeiten nicht erfüllen lassen. Selbst die besten Computerprogramme sind kaum in der Lage, alle diese Parameter voll zu berücksichtigen. Unter der Annahme, dass solche Programme in der Lage wären, diesen Bedingungen vollwertig Rechnung zu tragen, müsste das Verfahren von der aufwendigen Dateneingabe her gesehen als fragwürdig beurteilt werden. Einige Veröffentlichungen, die diese Problematik behandeln [1-5], zeigen, dass vielerorts Computerprogramme entstanden sind, die wesentliche Vereinfachungen für die Dateneingabe und den restlichen Ablauf bringen. Die Übereinstimmung ist, wie Vergleichsrechnungen zeigen, relativ gut geblieben.

Bild 1. Lastdiagramm der raumluftechnischen Anlagen des untersuchten Objektes



## Jahresenergieprogramm

Die von Luwa im Laufe der Jahre entwickelte Programmbibliothek basiert auf sogenannten Tagesgangverfahren. In Anlehnung an DIN 4710 wurde aus dem ursprünglichen 48-Tage-Modelljahr ein 36-Tage-Modelljahr entwickelt. Dadurch wurden bei gleicher Genauigkeit der Resultate die Rechenzeiten erheblich reduziert.

Bei diesem 36-Tage-Modelljahr sind jeweils 3 Tage pro Monat mit ganz bestimmten Werten für Tagestemperaturverlauf, Tagesfeuchteverlauf, Sonnenscheindauer, Bewölkungsgrad und die Häufigkeitsverteilung definiert. Im weiteren wurde das Modelljahr durch die Übernahme meteorologischer Daten der tropischen Stationen erweitert. Für die Berechnung der Einstrahlungswerte wurden verschiedene Methoden verglichen und daraus eine universelle Methode entwickelt, welche die Anpassung an die verschiedenen Breitengrade und die Höhenlage des Ortes ermöglicht. Die dynamischen Verhältnisse im Gebäude werden rechnerisch mit einem Speichermodell erfasst. Die Werte für die Amplitudendämpfung und Verzögerung der Außenwände werden aus der genauen Zusammensetzung der Wände ermittelt. Die Berechnung der Wasserdampfdiffusion ist ein fester Bestandteil des Programmes. Dies ermöglicht bei Neuplanungen, die Fassade nicht nur wärm 技术isch, sondern auch bauphysikalisch zu optimieren.

Die Nutzungsverhältnisse können mit frei definierbaren Größen- und Zeitparametern für interne Lasten und die Beleuchtung definiert werden. Ein Anteil der Beleuchtung, der ebenfalls beliebig wählbar ist, schaltet sich mit der Tages-

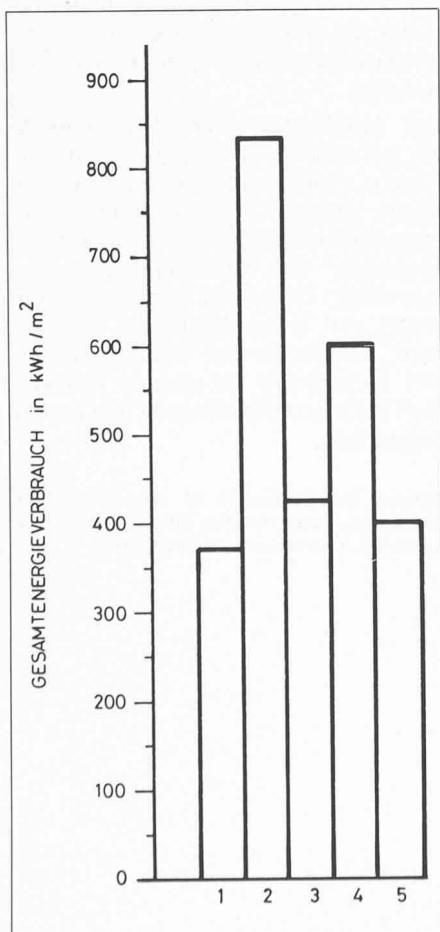
lichtheit ein. Die Lichtwärme, die mit der Abluft aus dem Raum weggeführt wird, wird mit einem Restwärmefaktor berücksichtigt.

Die richtige Beurteilung des Sonnenschutzes der Fensterscheiben stellt einen sehr wichtigen Faktor der energiewirtschaftlichen Untersuchungen dar. Bei der Eingabe des Sonnenschutzfaktors wird daher unterschieden zwischen Durchlassfaktoren für

- direkte Strahlung
- diffuse Strahlung, wenn die Sonne auf die Fassade scheint, und
- diffuse Strahlung, wenn die Sonne nicht auf die Fassade scheint.

Bei der Eingabe der Baudaten und Fensterdaten können gleichzeitig verschiedene Typen oder Varianten eingegeben werden. Auch an die Möglichkeit der Berechnung eines belüfteten Fensters wurde gedacht. Falls bei einem Objekt die Sonnenschutzstoren in der Nacht geschlossen sind, werden dann die thermischen Verluste mit einer Nachtwärmedurchgangszahl berücksichtigt.

Bild 2. Bewerteter Gesamtenergieverbrauch von fünf untersuchten Klimasystemen. Die Bewertung: Strom 3fach, Wärmeträger (Öl) 1,5fach, 1 Induktionssystem (4-Leiter); 2 Zweikanalanlage, Zuluftmengenstrom konstant; 3 Zweikanalanlage, Zuluftmengenstrom variabel ( $V_L$ , min = 50%); 4 Einkanalsystem, Zuluftmengenstrom konstant; 5 Einkanalsystem, Zuluftmengenstrom variabel ( $V_L$ , min = 50%)



Speziell ausgebaut ist in der Programmbibliothek der Rechenteil, der sich mit den für die Luftaufbereitung aufzuwendenden Energien befasst. Es können beliebige Nur-Luft- oder Luft-Wasser-Systeme auf ihren Energiebedarf untersucht werden. Der zu fördernde Luftstrom kann dabei konstant oder variabel sein. Berücksichtigt wird beispielsweise auch die Luftherwärmung im Kanalnetz, so dass die dadurch entstehenden Betriebsverluste im Energiebedarf ebenso eingerechnet sind. Verschiedene Wärmerückgewinnungssysteme und alle möglichen Arten des Wärmepumpenbetriebs können auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft werden.

Im weiteren können folgende Randbedingungen berücksichtigt werden: Grundlastheizung, Nacht- und Weekendtemperaturabsenkung, beliebige Neigung der Fassade, externe Beschattung usw.

Bei reiner Kühllastberechnung, die mit dem gleichen Programm möglich ist,

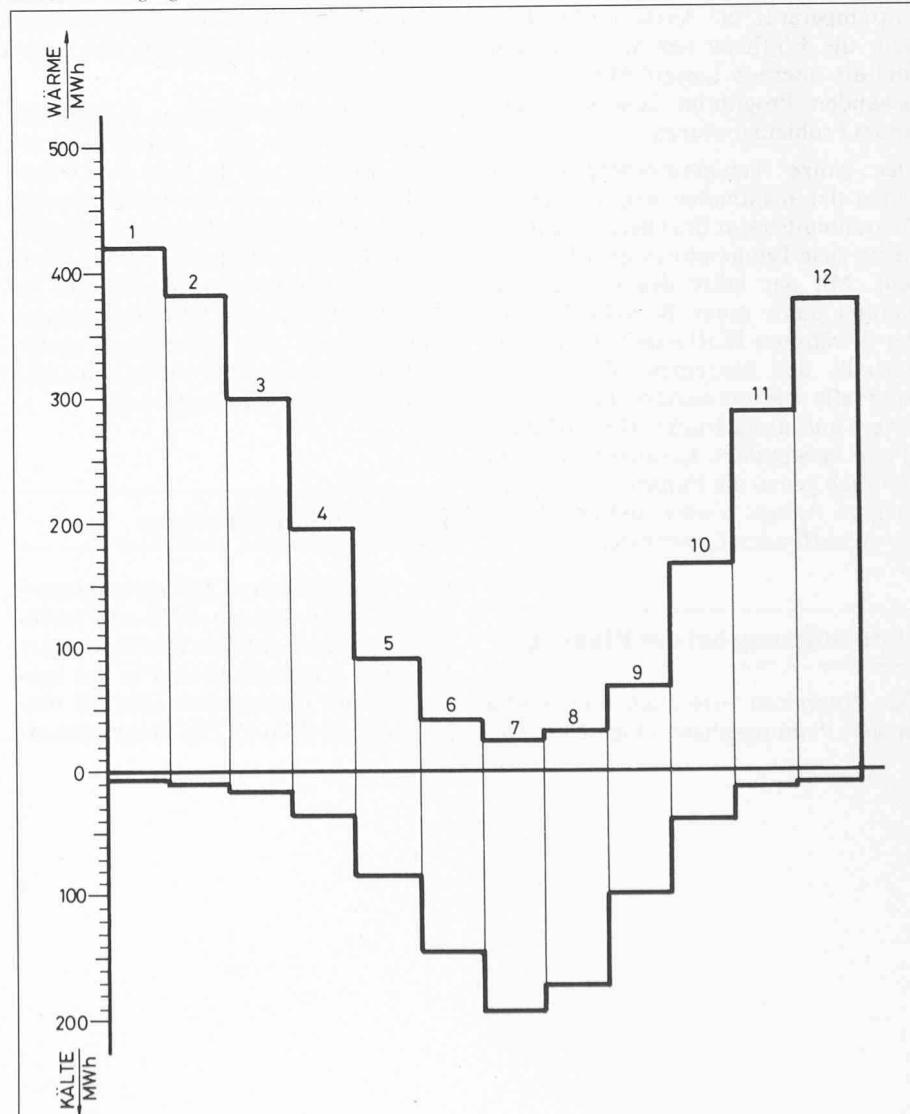
werden die spezifischen Probleme, die bei Industriebauten entstehen, vollständig abgefragt.

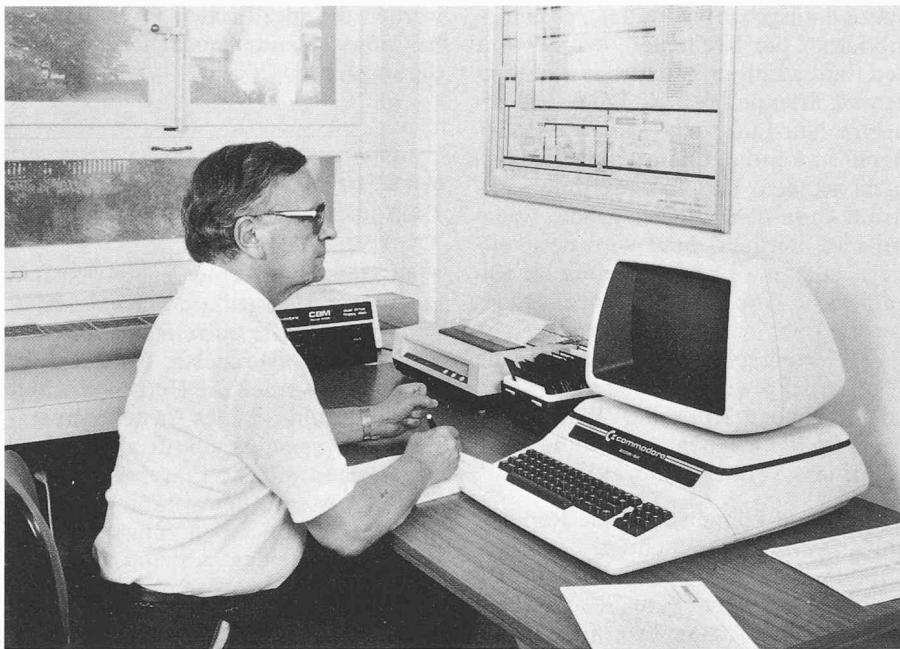
## Konstruktion eines Lastdiagrammes

Ein wichtiger Teil einer Energieexpertise ist die Konstruktion des Lastdiagramms für die einzelnen Heiz- und Kälteenergieverbraucher (Bild 1). Im Diagramm werden die Heiz- und Kühllasten in Funktion der Außentemperatur aufgetragen. Es gibt dem Ingenieur die Antwort auf die Frage, bis zu welcher Außentemperatur geheizt oder gekühlt werden muss – oder gleichzeitig beides. Anhand des Lastdiagrammes wird später die wirtschaftliche Leistung der Wärmepumpe oder der Wärmerückgewinnungsanlage bestimmt.

Die Konstruktion des Lastdiagrammes für eine raumluftechnische Anlage,

Bild 3. Jahresgang des Wärme- und Kälteverbrauchs eines Objektes





### Literatur

- [1] Steinbach, W.: «Programmsystem zur Berechnung des Energieverbrauchs von Klimaanlagen». Heizung, Lüftung, Haustechnik 28 (1977) H. 6 S. 207-213 u. H. 7 S. 266-270
- [2] Brendel, T., Gütter, G.: «Klimökonomie. Kosten/Nutzen-Analyse zum Problemkreis Klimatisierung». Gesundheits-Ingenieur (1977) H. 1 u. 2
- [3] Esdorn, H., Jahn, A.: «Energetische Bewertung von Prozessen raumluftechnischer Anlagen». Heizung, Lüftung, Haustechnik 31 (1980) H. 2 S. 47-54
- [4] Masuch, Z.: «Energieverbrauchsberechnungen für Klimaanlagen». Heizung, Lüftung, Haustechnik 28 (1977) H. 5 S. 165-172
- [5] Linsi, E., Travnicka, M.: «Energiewirtschaftliche Beurteilung von Komfortklimasystemen». Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung (1981) H. 6

Bild 4. Computergestütztes Energie-Engineering

welche die anfallenden Kühllasten und Transmissionsverluste an einer Außenfassade decken muss, ist sehr zeitraubend. Man denke nur an die dauernd schwankende Besonnung, die Außenlufttemperatur, die Außenluftfeuchtigkeit, die Einflüsse der Speichermasse und die internen Lasten! Mit dem vorliegenden Programm lässt sich auch dieses Problem meistern.

Der ganze Temperaturbereich zwischen der maximalen und minimalen Aussentemperatur des Ortes wird in beliebig viele Temperaturintervalle aufgeteilt. Mit der Hilfe des Programmes werden dann unter Berücksichtigung der erwähnten Einflussgrößen alle innerhalb der einzelnen Temperaturintervalle vorkommenden Lasten registriert und ausgedruckt. Das auf diese Weise entstandene Lastdiagramm gibt ziemlich genau die Funktion der untersuchten Anlage wieder und erleichtert die zu treffenden Entscheide.

### Unterstützung bei der Planung

Das Programm wird auch sehr häufig in der Planungsphase eingesetzt. Ob-

wohl zu diesem Zeitpunkt noch viele bauliche Einzelheiten nicht definiert sind, lässt sich die Frage nach der Systemwahl ziemlich schnell beantworten (Bild 2). Vorgedruckte Formulare, die vom Kunden selbst ausgefüllt werden, vereinfachen die Bedienung des Computers erheblich.

Nur am Rande sei erwähnt, dass die Dimensionierung der raumluftechnischen Anlagen und die Heiz- und Kühllastberechnung mit Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit des ganzen Objektes mit dazugehörigem stündlichem Ausdruck der Leistungen auch ein fester Bestandteil des Jahresenergieprogrammes sind. Die Energieverbrauchs- zahlen werden sowohl monatlich (Bild 3) als auch jährlich ausgedruckt.

### Praktische Erfahrungen

Das beschriebene Jahresenergieprogramm steht uns seit 1978 zur Verfügung. Es wurde auf dem Kleincomputer HP 9825 A entwickelt und in der letzten Zeit auf Commodore 8096 SK umgeschrieben (Bild 4). Die Programmier-

sprache ist Basic. Das Programm wurde bei den Berechnungen des Jahresenergieverbrauchs bestehender haustechnischer Anlagen eingehend getestet. Die Abweichung der errechneten Zahlen vom tatsächlichen Energieverbrauch von max.  $\pm 15\%$  ist mehr als befriedigend. Ist sie grösser, sind meistens verdeckte Mängel in der Funktion der Anlage dafür verantwortlich, die somit beseitigt werden können. Die Genauigkeit der mit dem gleichen Simulator berechneten Wirtschaftlichkeit der Energiesparmassnahmen liegt im gleichen Rahmen.

Die Aufzählung aller Möglichkeiten, die mit dem Luwa-Programm zur Verfügung stehen, sprengt den Rahmen dieser kurzen Übersicht. Das Programm wurde von erfahrenen Klimingenieuren für Klimingenieure geschrieben. Es ersetzt den Fachmann nicht, und seine Benutzung setzt genaue Kenntnisse der Materie voraus. Wir können uns bei unserer Tätigkeit die Computerunterstützung nicht mehr wegdenken.

Adresse des Verfassers: M. Travnicka, Dipl. Masch.-Ing., Leiter der Abt. Energie-Engineering, Luwa AG, Anemonenstr. 40, 8047 Zürich.