

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 97 (1979)
Heft: 32-33

Artikel: Rechenprogramme zur Ermittlung des Energiebedarfes von Gebäuden
Autor: Frank, Thomas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85511>

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: 15.05.2025

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

Rechenprogramme zur Ermittlung des Energiebedarfes von Gebäuden

Von Thomas Frank, Dübendorf

Im Rahmen des IEA-Forschungsprogramms «Rationelle Energieverwendung in Gebäuden und Siedlungen» wurden 17 Rechenprogramme zur Ermittlung des Energiebedarfes von Gebäuden einem umfassenden Vergleichstest unterzogen. Im Vordergrund stand dabei die Überprüfung der verwendeten Rechenmethoden. Aus der ersten Vergleichsphase lassen sich bereits einige wichtige Schlussfolgerungen ableiten, welche hier kurz erläutert werden. Ein umfassender Schlussbericht wird Ende 1979 erscheinen. Anhand des aus den USA übernommenen CAL-ERDA Rechenprogramms soll ein Einblick in den Aufbau eines Energiebedarfs-Berechnungsprogramms gegeben werden.

Problemstellung

Die Erfassung des *dynamisch thermischen Verhaltens von Gebäuden* unter Berücksichtigung des *variablen Aussen- und Innenklimas, der geometrischen und bauphysikalischen Gebäudespezifikationen, der internen Wärmequellen* sowie des *vorhandenen Heiz- und Kühlsystems* stellt eine komplexe Aufgabenstellung dar, deren Lösung praktisch nur unter Verwendung von *elektronischen Datenverarbeitungsanlagen* möglich ist. Für eine Abschätzung des jährlichen Energieverbrauches von Gebäuden können stationäre Rechenmethoden bei einfachen Problemstellungen durchaus vernünftige Resultate liefern. Bei der Ermittlung der *Spitzenlasten* (Grundlage für die Dimensionierung der Heiz- und Kühlanlage) müssen jedoch die dynamischen Speichervorgänge in einem Gebäude mitberücksichtigt werden. Die hier zur Diskussion stehenden Berechnungsprogramme sind vorwiegend für diese Aufgabenstellung aus der Klimatechnik entwickelt worden. Ihre Anwendung auf nicht klimatisierte Wohnbauten ist deshalb nur mit gewissen Einschränkungen möglich (abhängig von den getroffenen Randbedingungen bei den einzelnen Rechenmethoden). Die grosse Anzahl der Berechnungsparameter erforderten ein systematisches Vorgehen für den Vergleichstest; es galt in erster Linie abzuklären, wo und weshalb unterschiedliche Rechenresultate auftreten können. Folgende *Vergleichsmethodik* wurde angewendet:

I. Phase:

Überprüfung der einzelnen Einflussfaktoren anhand fiktiver Gebäudespezifikationen mit steigendem Schwierigkeitsgrad:

a) instationärer Wärmedurchgang

- durch opake Bauteile
 - b) Wärmegewinn durch Sonneneinstrahlung auf opake Flächen
 - c) Wärme- und Strahlungsdurchgang durch Fensterflächen
 - d) dynamisches Verhalten des Gebäudes infolge Sonneneinstrahlung
 - e) dynamisches Verhalten des Gebäudes infolge interner Wärmequellen.
- Der Einfluss der Luftwechselverluste auf den Energiehaushalt und deren Berechnungsmethoden wurden hier nicht einer genaueren Analyse unterzogen, da dieser Problemkreis Gegenstand einer umfassenden Forschungsarbeit (Annex VII) ist.

II. Phase:

Vergleichsberechnungen an einem realen Gebäudekomplex, dessen Energieverbrauchs- und Meteordaten über längere Zeit vorliegen.

Die erste Vergleichsphase ist zur Zeit abgeschlossen, die zweite jedoch noch im Gange. Von den ursprünglich 17 Rechenprogrammen der ersten Phase nahmen noch 9 an der zweiten teil. Sowohl die Komplexität des Vergleichsgebäudes als auch die bei einzelnen Programmen ermittelten Mängel in den Rechenverfahren führten zu dieser Reduktion. Im folgenden werden nur die Problemkreise aus der ersten Vergleichsphase kurz erläutert.

Ergebnisse der ersten Vergleichsphase

Die untersuchten Rechenprogramme lassen sich grob in drei Gruppen unterteilen:

1. Programme, die sich vorwiegend auf die ASHRAE («American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers», Inc., New York) Berechnungsmethode abstützen (Response factors – Weighting factors)

2. Programme mit individuellen Rechenverfahren (numerische Lösungsmethoden)
3. Programme mit vereinfachten Lösungsmethoden (Näherungsverfahren mit quasistationären Rechenansätzen).

Alle Rechenprogramme zeigen eine gute Übereinstimmung bei der Ermittlung der Transmissionsverluste durch die Gebäudehülle. Sowohl die Response-Factor Methode (ASHRAE) als auch verschiedene numerische Lösungsverfahren kommen dabei zur Anwendung. Die Ermittlung des Wärmegewinns infolge Sonneneinstrahlung auf opake Flächen ist in grossem Masse von den gewählten Wärmeübergangsbedingungen an der Gebäudehülle abhängig. So weisen die verschiedenen Programme wohl ähnliche Verläufe, jedoch unterschiedliche Spitzenwerte bei den berechneten Lasten auf. Differenzen beim dynamischen Verhalten des Raumes infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster und interner Wärmequellen (Personenbelegung, Licht, Geräte etc.) sind in erster Linie auf unterschiedliche Annahmen bei der Beurteilung der Wärmeübergangsvorgänge an den Innenflächen (Konvektion und Strahlung) zurückzuführen. Die Programme mit quasistationären Rechenverfahren erhalten durchwegs zu hohe Spitzenlasten, da die thermischen Speichervorgänge zu ungenau berücksichtigt werden.

Aus der durchgeführten Analyse der verschiedenen Rechenprogramme wird deutlich, dass den getroffenen Randbedingungen grösste Bedeutung zugemessen werden muss. Es ist deshalb unerlässlich, jedes Rechenprogramm vor seiner Anwendung bezüglich der Übertragbarkeit der verwendeten Randbedingungen auf die vorhandene Problemstellung zu überprüfen.

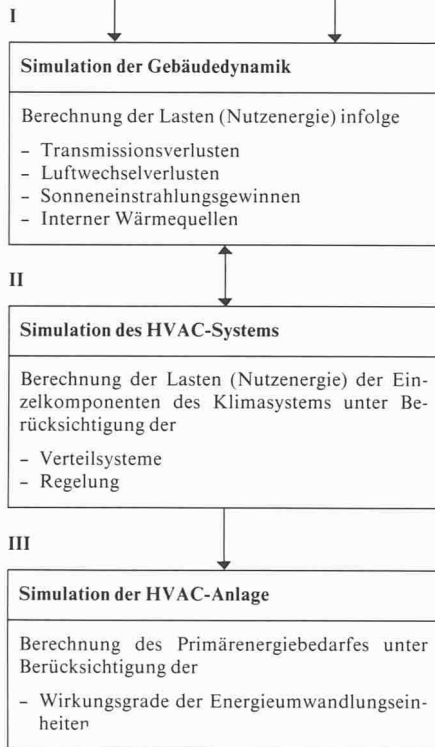
Systematik eines Rechenprogramms zur Ermittlung des Energiebedarfes von Gebäuden

Die Rechenprogramme, die an der IEA-Vergleichsrunde präsentiert wurden, weisen ein grosses Spektrum von Rechenmethoden auf. Eine eingehende Darstellung und Beurteilung der einzelnen Lösungsansätze würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Den Berechnungsabläufen liegt jedoch eine ähnliche Systematik zugrunde, die hier näher dargestellt werden soll. Bedingt durch die thermische Gebäudedynamik sowie die Verfügbarkeit der Klimadaten hat sich ein Berechnungsvorgang in Stundenschritten allgemein durchgesetzt. Die *Analyse des Energiehaushaltes* eines Gebäudes erfolgt dabei in *drei Rechenphasen*:

*) Vgl. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 13, S. 218 und Heft 26, S. 506–507, 1979.

INPUT

Gebäudedaten	Wetterdaten
- Orientierung, Lage - Geometrie - Raum- bzw. Zoneneinteilung - Innenklima - Konstruktionsdaten - HVAC-System	- Aussenlufttemperatur - Luftfeuchtigkeit - Luftdruck - Windrichtung - Windgeschwindigkeit - Sonneneinstrahlung - Bewölkungsgrad



Rechenphasen bei der Ermittlung des Energiebedarfes von klimatisierten Gebäuden

In der ersten Phase erfolgt die Berechnung der stündlichen Heiz- und Kühllasten unter Berücksichtigung der geometrischen und bauphysikalischen Gebäudespezifikationen sowie des vorhandenen Aussen- und Innenklimas. Bei der zweiten Phase wird das Verteil- und Regelsystem der Heizungs- bzw. Klimaanlage in den Berechnungsvorgang einbezogen. Aus den ermittelten Heiz- und Kühllasten wird in der dritten Phase der Primärenergiebedarf unter Einbezug der Wirkungsgrade der Energieumwandlungseinheiten berechnet.

CAL-ERDA Rechenprogramm

Eines dieser Rechenprogramme, das CAL-ERDA Programm (neu unter der Bezeichnung DOE-1 bekannt, bedingt durch die Umbenennung der Energy Research and Development Administration «ERDA» in Department of Energy «DOE»), wurde im Auftrage des amerikanischen Energiewirtschaftsamtes und des Bundesstaates Kalifornien entwickelt und finanziert. In Kalifornien wird es seit 1978 zur Überprüfung

von gesetzlichen Energiebedarfsnachweisen bei klimatisierten Gebäuden angewendet. Das ganze Programmpaket ist in den USA öffentlich zugänglich; es wurde der Schweiz im Rahmen der IEA-Arbeiten vom amerikanischen Department of Energy kostenlos zur Verfügung gestellt. Die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt hat die Aufgabe übernommen, das Programm für schweizerische Verhältnisse umzuarbeiten und anschliessend einen öffentlich zugänglichen Benutzerbetrieb anzubieten.

Das vorliegende Programmpaket wurde im speziellen für den Anwendungsbereich von klimatisierten Gebäuden entwickelt; es eignet sich daher nur beschränkt für Problemstellungen aus dem Wohnungsbau.

Grosses Gewicht wurde auf ein benutzerfreundliches Betriebssystem gelegt; so erfolgt der Programminput der Gebäudedaten eigens mittels einer problemorientierten Programmiersprache. Nachfolgende Übersicht soll die einzelnen Programmteile kurz beschreiben:

Programmteil	Funktion
BDL (Building Design Language)	Übersetzungsprogramm, welches die Inputdaten für die nachfolgenden Rechenläufe vorbereitet. Der Input erfolgt formatfrei mittels einer problemorientierten Sprache.
LOADS	Berechnung der stündlichen Heiz- und Kühllasten in Funktion des variablen Aussen- und konstanten Innenklimas. Ermittlung der Spitzenlasten.
SYSTEMS	Berechnung der stündlichen Lasten der einzelnen Komponenten des Klimasystems bei variablem Innenklima. 15 HVAC-Systeme können gewählt werden.
PLANT	Berechnung des Primärenergiebedarfes der Energieumwandlungseinheiten.
ECONOMICS	Berechnung der totalen Betriebskosten der Klimaanlage.

Aufbau des CAL-ERDA Rechenprogramms

Das CAL-ERDA Programm ist ein vorzügliches Planungsinstrument für Architekten, Ingenieure und Behördenstellen. Es eignet sich im besonderen für folgende Anwendungsgebiete:

- Dimensionierung und Optimierung der Gebäudehülle bezüglich Wärmehaushalt
- Dimensionierung der HVAC-Anlage
- Untersuchung von Einflussfaktoren wie z. B. thermische Trägheit des Gebäudes, Sonnenschutzvorrichtungen, betriebliche Massnahmen am Heiz- und Kühlsystem etc.

Die Aufarbeitung des CAL-ERDA Programms wurde Anfang 1979 an der EMPA in Angriff genommen. Ein er-

ster Schritt, die Inbetriebnahme der amerikanischen Originalversion mit USA-Klimadaten konnte bereits abgeschlossen werden. Folgende weitere Arbeiten sind in Ausführung:

- Aufarbeitung von schweizerischen Wetterdaten (Mithilfe der MZA),
- Einbau zusätzlicher HVAC-Systeme (Mitarbeit der Hersteller und planender Ingenieure),
- Metrifizierung des gesamten Programms,
- Anpassungsarbeiten an verschiedenen Programmteilen,
- Verifizierung der Rechenergebnisse an realen Messbauten (Mitarbeit ETH Lausanne).

Eine Erweiterung des Anwendungsbereiches des Programms für Wohnbauten wird gegenwärtig in den USA vorbereitet. Auch von schweizerischer Seite sind diesbezügliche Anstrengungen im Gange (Messprojekte EMPA / ETHL, Nationalfondsprojekte «Nationales Programm Energie»).

Der aufgeführte Katalog auszuführen der Arbeiten lässt erkennen, dass sich diese Arbeiten, bedingt durch personelle und finanzielle Grenzen, über längere Zeit hinwegziehen werden. Eine beschränkte Aufnahme des öffentlichen Benutzerbetriebes ist auf Mitte 1980 zu erwarten.

Adresse des Verfassers: Th. Frank, dipl. Ing. ETH, Abt. Bauphysik, EMPA, 8600 Dübendorf.

Berichtigung

Im letzten Bericht über die Beteiligung der Schweiz am Programm der Internationalen Energieagentur über «Rationelle Energieverwendung in Gebäuden und Siedlungen» von P. Hartmann (Heft 26, S. 506-507) hat sich bei der Filmmontage eine Verwechslung ereignet, die den Text aus dem Zusammenhang gerissen hat. So muss die erste Spalte von Seite 507 (Annex IV) um folgende Zeilen ergänzt werden:

wird im Frühjahr 1979 einsetzen, wobei auch die Schweiz den entsprechenden Beitrag zahlen und damit Messdaten erwerben wird.

Die mittlere Spalte (Annex VII) auf derselben Seite ist wie folgt abzuschliessen:

Führung übernehmen («lead country»).

Annex VIII (S. 507) heisst im Wortlaut:

Annex VIII («Consumer preferences and needs and building codes, loans, grants»). Das noch nicht in allen Details festgelegte Projekt will die Zusammenhänge zwischen Benutzer bzw. Energieverbraucher und bestimmten staatlichen Lenkungsmaßnahmen untersuchen. Ob sich die Schweiz am Projekt beteiligen wird, steht im Moment noch nicht fest, wird aber vom Eidgenössischen Amt für Energiewirtschaft abgeklärt.

Die übrig bleibenden 20 Zeilen der dritten Spalte bilden den Abschluss des Artikels.