Verifikation des DOE-2 Gebäude-Simulationsprogrammes: Resultate des Vergleichs mit den Messdaten aus dem IEA-Annex IV Messprojekt "Collins Building" in Glasgow

Autor(en): **Baumgartner, Thomas / Gass, Jürg / Marcus, Isidore**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **105 (1987)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-76504

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Verifikation des DOE-2 Gebäude-Simulationsprogrammes

Resultate des Vergleichs mit den Messdaten aus dem IEA-Annex IV Messprojekt «Collins Building» in Glasgow

Von Thomas Baumgartner, Jürg Gass, Isidore Marcus und Gerhard Zweifel, Dübendorf

Die elektronische Datenverarbeitung ist heute zu einem wichtigen Werkzeug für den Ingenieur und den Architekten geworden. Technische Systeme können mit Hilfe von Computern dimensioniert und deren Energieverbrauch durch Computersimulation ermittelt werden. Im Hinblick auf die rationelle Energieanwendung in Gebäuden sind im Laufe der letzten Jahre mehrere Rechenprogramme für die Simulation des energetischen Verhaltens von Gebäuden verfasst worden. Sie ermöglichen dem Planer, detaillierte Rechnungen, z. B. für den Bedürfnisnachweis einer Klimaanlage oder für eine Parameterstudie, durchzuführen. Da ein Teil dieser Rechenprogramme alle Gesichtspunkte des Energieverbrauches eines Gebäudes erfasst, kann der Anwender damit echte «integrale Planung» treiben.

Was bedeutet Simulation?

Unter Simulation versteht man die Nachbildung eines Vorganges im zeitlichen Ablauf mit Hilfe eines Modells. Bei der Gebäudesimulation handelt es sich um ein mathematisches Modell, das numerisch gelöst wird. Alle interessierenden Parameter werden hier in Zeitschritten (maximal 1 h) über eine Zeitspanne von einigen Tagen bis zu einem Jahr berechnet.

Anwendungsgebiete

Simulationsprogramme werden vor allem in zwei Gebieten angewendet:

□ Passive Sonnenenergienutzung: Hier handelt es sich vor allem um Fragen der Wechselwirkung des Aussenklimas mit der Gebäudestruktur, wobei das Wärmespeicherverhalten der Gebäudemasse und die damit verbundenen möglichen Einsparungen an Heizenergie im Vordergrund stehen.

□ Klimatechnik: Hier können Simulationsprogramme eingesetzt werden bei der Wahl des HLK-Systems, für die Dimensionierung von Komponenten und für die Erarbeitung von energiesparenden Betriebsstrategien und deren Einfluss auf die Behaglichkeit im Gebäude.

Bei diesen Anwendungen können folgende Fragenstellungen durch einen Rechengang beantwortet werden:

- Jahresenergiebedarf von beheizten und klimatisierten Bauten: diese Grösse wird auch als Nutzenergie bezeichnet; sie ist das Ergebnis einer Heiz- und Kühllastrechnung
- Temperaturverhalten von Räumen: Diese Fragestellung ist wesentlich für Probleme der Behaglichkeit in passiven Sonnenhäusern und für die Bedürfnisabklärung von Klimaanlagen.
- Auftretende Spitzenlasten für die Auslegung von Komponenten.
- Endenergiebedarf und Bewirtschaftung der auftretenden Lasten: Diese Aufgabe wird durch die Simulation der Wärme- und Kälteerzeuger gelöst und ist für die Bestimmung der jährlichen Betriebskosten und der Wirtschaftlichkeit der HLK-Anlage massgebend.

Anwenderkreise

Neben den Forschern, die dank den Computern in vielen Fällen auf kostspielige Feldexperimente verzichten können, gehören vermehrt die Planer in den Ingenieurbüros zu den Anwendern dieser Rechenprogramme. Der Aufwand für die Aufbereitung einer Dateneingabe mag zwar auf den ersten Blick gross erscheinen, ist er aber einmal gemacht, können leicht Varianten des Gebäudes miteinander verglichen und so eine optimale Lösung gefunden werden. Ferner erspart man sich die Auslegung der HLK-Komponenten von Hand. Für den wirtschaftlichen Einsatz von Simulationsprogrammen bei der Planung bedarf es allerdings eines gewissen spezifischen Know-hows.

Das DOE-2-Rechenprogramm

Im Rahmen der Mitarbeit an den IEA-Projekten (Internationale Energie-Agentur) wurde 1979 ein Rechenmodell der University of California in Berkeley der EMPA kostenlos zur Verfügung gestellt, das DOE-2-Rechenprogramm [1]. Heute ist die 6. Version des Programmes installiert, sie läuft auf den Grosscomputern der ETHZ und auf dem VAX-Hausrechner der EMPA (eine PC-Version ist in den USA erhältlich). Das Programm berechnet den instationären Wärmetransport sowie die Heiz- und Kühllasten mittels einer Näherungsmethode in Stundenschritten und anhand realer Wetterdaten. Das Programmpaket ist sehr gut dokumentiert und mit zahlreichen durchgerechneten Beispielen versehen (Bild 1).

Die stündlichen Wetterdaten wurden an der EMPA für 8 verschiedene Stationen aufbereitet [2]. Sie stammen von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) und sind über das automatische Stationsnetz ANETZ gesammelt worden. Ausserdem ist an der EMPA die notwendige Software vorhanden, um Daten sämtlicher 62 ANETZ-Stationen für Simulationsprogramme aufzubereiten.

Verifikation des DOE-2-Rechenprogrammes

Um das notwendige Vertrauen in ein Computerprogramm zu erlangen, müssen detaillierte Vergleiche von dessen Resultaten mit Messdaten eines Testobjektes durchgeführt werden. Die Verifikation eines Rechenprogrammes kann auf drei Ebenen erfolgen:

- 1. Ebene: keine Kontrollmöglichkeit. Der erste durchgeführte Rechenlauf ist massgebend. An dieser Art von Verifikation sind vor allem staatliche Stellen im Zusammenhang mit der Überprüfung von Vorschriften zum Energieverbrauch interessiert. Hier sind alle Fehler des Programmbenutzers mit inbegriffen.
- 2. Ebene: Korrekturen sind erlaubt. Nach einem ersten Anlauf und einem Vergleich mit Messdaten werden die Fehler und die unzulässigen Vereinfachungen beseitigt. Aus der Sicht des Ingenieurs ist dieses die akzeptierbare Ebene einer Verifikation.
- 3. Ebene: Anpassung von Parametern. Bei jeder Simulation müssen für diverse Parameter (z. B. Luftinfiltrationsraten, Bodenreflexion, Absorption der Sonneneinstrahlung im Raum) Schätzwerte eingesetzt werden, für die ein gewisser Spielraum besteht. Solche Parameter können nun variiert werden, um die Rechenresultate noch besser den Messungen anzupassen. Für den Forscher findet die Beurteilung über die Tauglichkeit eines Modells auf dieser Ebene statt.

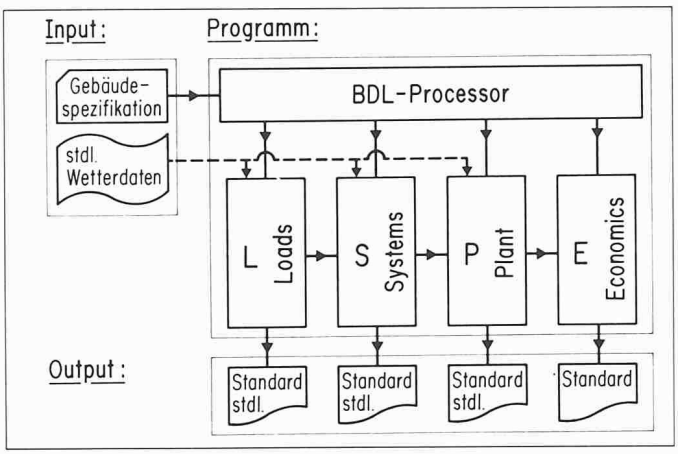


Bild 1. Aufbau des DOE-2-Rechenprogrammes

BDL-Prozessor: verarbeitet die Inputdaten (in Form von Befehlen in englischer Sprache); Loads: berechnet die Heiz- und Kühllasten bei konstanter Innentemperatur unter Berücksichtigung der internen Lasten, der Tageslichtnutzung und des natürlichen Luftwechsels; Systems: simuliert den Betrieb der Heizungs- und Klimasysteme, wobei die effektive Temperatur und der Nutzenergieverbrauch berechnet werden; Plant: simuliert den Betrieb der Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen unter Berücksichtigung der Betriebsstrategie; Economics: berechnet die Gebäudebetriebskosten über die Lebensdauer des Objektes

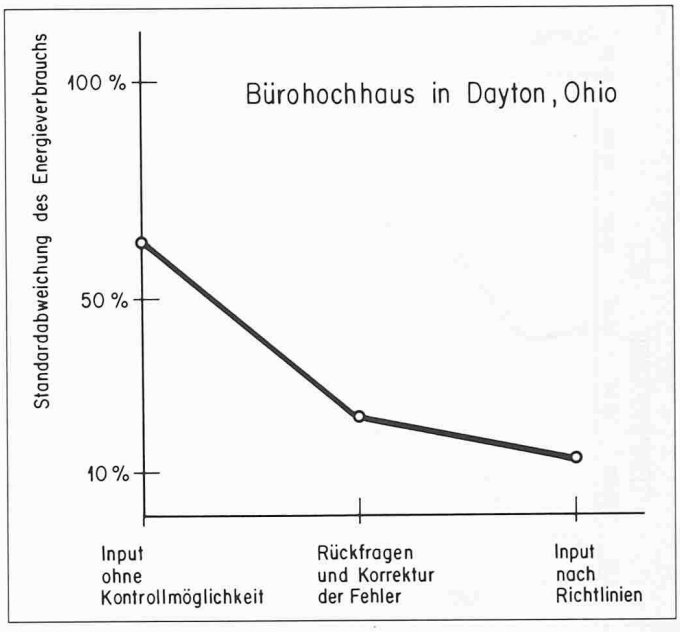


Bild 2. Standardabweichungen bei der Voraussage des monatlichen Energieverbrauchs

Die Arbeiten an der EMPA, insbesondere beim Collins-Messprojekt, wurden auf dieser letzten Stufe durchgeführt.

Eine amerikanische Studie [3] über die Gültigkeit des DOE-2-Rechenprogrammes brachte ihrerseits Angaben über den Benutzereffekt auf das Endergebnis einer Simulationsrechnung. Eine Energieverbrauchsanalyse für ein Bürohochhaus wurde dort als Auftrag an sechs DOE-2-Benutzer gegeben. Die Übung wurde in drei Stufen durchgeführt:

- Ohne Kontrollmöglichkeit
- Mit Rückfragen und Suchen nach Inputfehlern
- Mit Verwendung vorgeschriebener Lastprofile und der im Programm eingebauten Default-Werte (nach der amerikanischen Energieverbrauchs-Vorschrift, Building Energy Performance Standards BEPS).

Hier wurden in der dritten Stufe die unbekannten Parameter durch eine Norm festgelegt, statt wie oben durch Vergleiche mit Messungen angepasst. Das Bild 2 zeigt die Abnahme der Standardabweichung in der Voraussage des monatlichen Energieverbrauches über die 3 Stufen dieser Übung (die Abweichungen sind bezogen auf den Mittelwert der Ergebnisse der 3. Stufe).

Diese Studie zeigte, dass bei einem Input der ersten Stufe die Resultate von verschiedenen Benutzern um einen Faktor 2 auseinanderliegen. Andererseits wurde dabei klargemacht, dass der Einfluss des Benutzers auf das Rechenergebnis erheblich reduziert werden kann, wenn dieser die Möglichkeit hat, Unklarheiten bezüglich Gebäude-Spezifikationen abzuklären und fehlerhafte Annahmen zu korrigieren.

Arbeiten in der Schweiz

In der Schweiz wurden im Rahmen von Forschungsprojekten der IEA (Internationale Energie-Agentur) im Auftrag des BEW (Bundesamt für Energiewirtschaft) Vergleiche zwischen Simulationsrechnungen und Messungen an drei Testgebäuden durchgeführt:

- Ein unbewohntes Einfamilienhaus in Maugwil SG, durch die EMPA instrumentiert [4].
- Ein Mehrfamilienhaus in Lausanne «La Chaumière», durch die EPF Lausanne instrumentiert [5].
- Ein vollklimatisiertes Bürogebäude in Glasgow («Collins Building»), durch die University of Glasgow instrumentiert [6] und [7].

Die Resultate des letzten Projektes werden hier gezeigt.

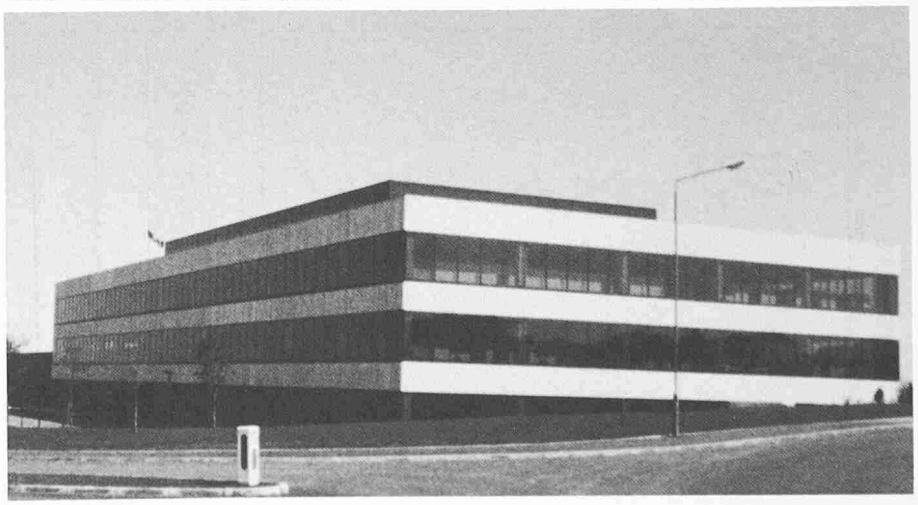
Das «Collins»-Gebäude

Das Bürogebäude, das in der Nähe von Glasgow liegt, war Gegenstand eines internationalen Messprojektes. Es besteht aus vier Geschossen und einem Keller (Bild 3). Seine Fassaden sind genau nach Nord-Süd bzw. Ost-West orientiert. Das erste und das zweite Geschoss beinhalten je ein Grossraumbüro von über 4300 m² Grundfläche.

Das Gebäude ist eine Stahlskelettkonstruktion mti Betondecken. Die Fassade besteht zu mehr als 50% aus einer 2fach-Isolierverglasung mit Sonnenschutzscheiben. Der Rest ist Backsteinmauerwerk mit vorgehängter Marmor-Verkleidung.

Die beiden als Grossraumbüros benutzten Stockwerke sind je in eine Kernzone und vier Randzonen von 5 m Tiefe

Bild 3. Ansicht des «Collins»-Gebäudes



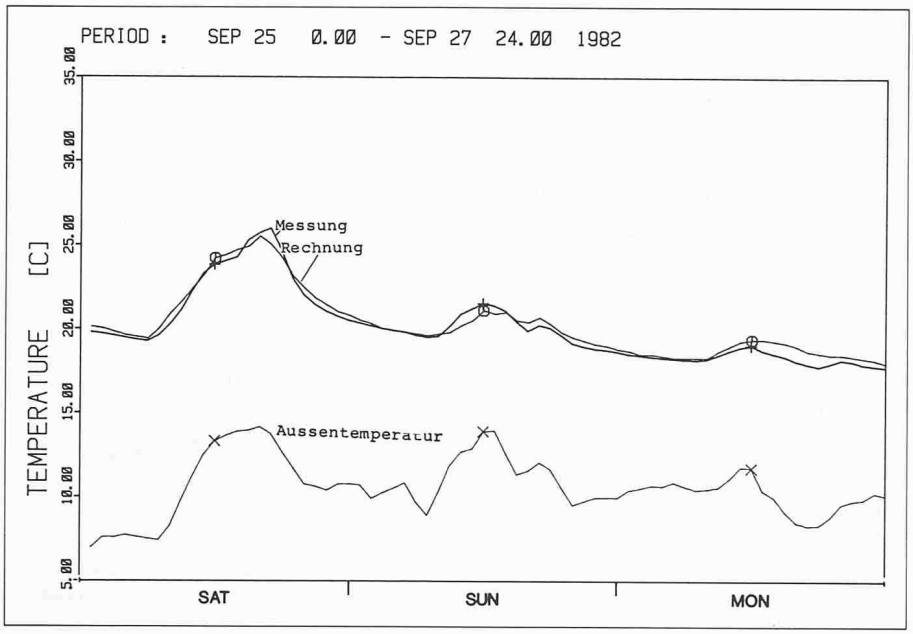


Bild 4. Temperaturverlauf im 1. Stock, West, am Wochenende

für das Klimasystem eingeteilt. Diese Zonen sowie die Räume im Erdgeschoss werden durch ein variables Luftvolumensystem (VAV) klimatisiert.

Die Abluft wird über Abluftleuchten abgesaugt und durch den Hohlraum über der heruntergehängten Decke zurückgeführt.

Ein zusätzliches System liefert aufgeheizte Luft in die Randzonen, um den Wärmeverlust durch die Fassaden zu kompensieren. Eine detaillierte Beschreibung der haustechnischen Anlagen sowie ein Prinzipschema des Klimasystems sind in einem früheren Artikel über dieses Messprojekt zu finden [6].

Gebäudemodell für die Simulationsrechnungen

Ein Modell des gesamten Gebäudes wurde aufgrund der Spezifikationen erstellt. Die Auswertung und Analyse der Messdaten hat jedoch nachträglich gezeigt, dass die genaue Ermittlung des Energiehaushaltes des Collins-Gebäudes ein zu ehrgeiziges Ziel war. Die Überprüfung von Rechenmodellen setzt die Erfassung von Messgrössen in allen einzelnen Teilen eines Gebäudes voraus. Dieses war in einem Projekt dieses Umfanges nicht möglich. Diese Erkenntnis führte dazu, dass nur ein Teil des Gebäudes für die Verifikation des Rechenprogrammes ausgewählt wurde, nämlich die 2 Grossraumbüros mit ihrem variablen Luftvolumensystem.

Ergebnisse der Verifikation

Die Verifikation des DOE-2-Simulationsprogrammes wurde durch Vergleiche von Rechenergebnissen mit Messdaten über mehrere einzelne Wochenperioden durchgeführt. Die kurzen Rechenperioden ermöglichten es, die Abweichungen im Betrieb des Gebäudes von den ursprünglichen Spezifikationen zu berücksichtigen.

Die folgenden Bilder zeigen Resultate für ein Wochenende im September bei abgestelltem Klimasystem (passives Verhalten des Gebäudes) und für eine Woche im Juli mit voller Klimatisierung.

In Bild 4 sind die gemessenen (1,8 m über dem Boden) und berechneten Temperaturverläufe in der West-Zone des 1. Stockes für ein dreitägiges Wochenende im September dargestellt.

Während dieser Periode war die Klimaanlage abgestellt. Die elektrische Last wurde am Samstag vormittag voll eingeschaltet, am Sonntag und Montag während eines Teiles des Vormittages nur teilweise.

Der Temperaturanstieg am Samstag vormittag wurde durch die elektrische Last und die Sonneneinstrahlung verursacht, er ist vom Computer sehr gut nachgebildet worden. Der kleinere Temperaturanstieg am Sonntag, der durch die Sonneneinstrahlung bedingt war, wurde schlechter nachgebildet (1 K Unterschied). Der Grund dazu liegt darin, dass der Wärmegewinn aus der Beleuchtung gleichmässiger im Raum verteilt ist als jener aus der Sonneneinstrahlung und somit die vom Programm errechnete Raumtemperatur im ersten Fall besser mit der Messung übereinstimmt.

In Bild 5 sind die Temperaturverläufe in der Kernzone des 1. Stockes während einer Juliwoche mit hoher Sonneneinstrahlung dargestellt.

Die Klimaanlage wurde in dieser Woche am Sonntag nachmittag für 2 Stunden von Hand eingeschaltet. Die-

Bild 5. Temperaturverlauf im 1. Stock, Kern

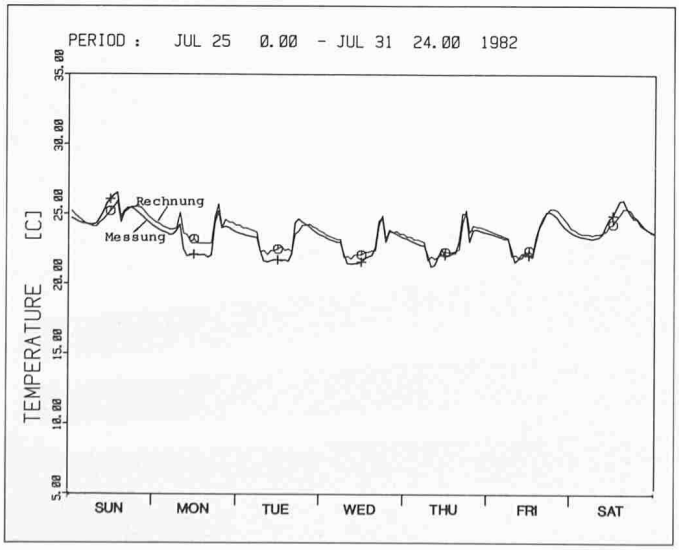
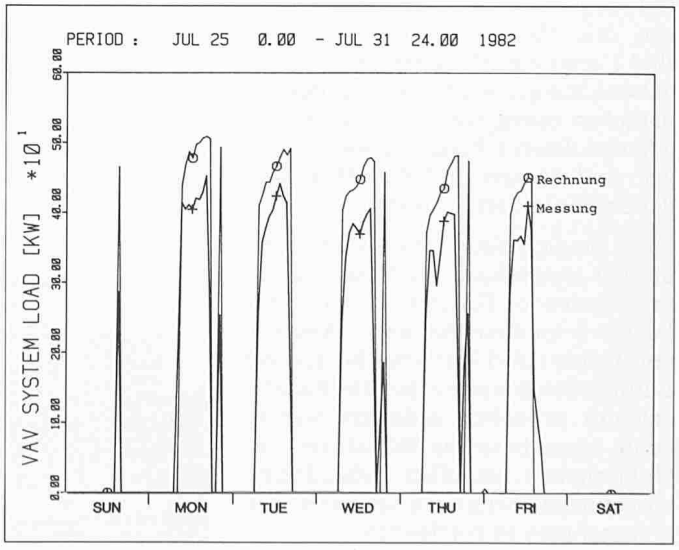


Bild 6. Abgeführte Wärmeleistung



ses konnte in der Simulation nicht genau nachgebildet werden, was zu einem Unterschied von 0,5–1 K zwischen Rechenwert und Messwert während den ersten drei Tage der Woche führt. Die Dauer des Einflusses der Anfangsbedingungen auf den Temperaturverlauf stellt das «Erinnerungsvermögen» des Gebäudes dar.

Der Temperaturanstieg am Ende des Nachmittags mit dem hinterher abrupten Abfall (z. B. am Montag) wird durch die unterschiedlichen Ausschaltzeiten für Klimaanlage und Beleuchtung verursacht (die Klimaanlage wurde in der Regel 2 Stunden vor der Beleuchtung abgestellt).

Bild 6 zeigt zusätzlich die stündlich abgeführte Wärmeleistung des variablen Luftvolumensystems (VAV). Die berechnete Last ist etwa 20% höher als die gemessene. Dieser systematische Fehler lässt sich wie folgt erklären:

Die Leistung der Wärmeabfuhr wird durch die Hohlraumtemperatur bestimmt, weil das Rechenprogramm das Produkt der Luftmengen mit der Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Zuluft bildet. Da aber die komplexe konvektive Koppelung zwischen besetztem Raum und Hohlraum im Programm nur in vereinfachter Form modelliert wurde, war die berechnete Hohlraumtemperatur etwa 1,5 K grösser als der Messwert und die Wärmeabfuhr folglich grösser.

Schlussfolgerung

Die Arbeiten zur Verifikation des DOE-2-Rechenprogrammes haben gezeigt, dass die Genauigkeit des mathematischen Modells bei der Voraussage des Energieverbrauches bei 5% liegt. Die Annahmen, die der Benutzer bei der Gebäudeeingabe treffen muss, erhöhen jedoch den Fehler bis gegen 20%. Die Gebäudesimulationsprogramme sind aber nicht da, um absolute Werte des Jahresenergieverbrauchs zu liefern, sondern eher um die Grenzen des Energieverbrauchs abzustecken und eine optimale Auslegung durch den Vergleich verschiedener Lösungsvarianten zu ermöglichen. Rechenprogramme stellen dafür besonders leistungsfähige Werkzeuge dar.

Adressen der Verfasser: *Th. Baumgartner, J. Gass, I. Marcus, G. Zweifel,* EMPA Dübendorf.

Literatur

[1] Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley: DOE-2 Reference Manual Vol. I und II, 1981, Ca 94720
[2] *R. Zellweger,* EMPA Dübendorf: Aufbereitung der ANETZ-Wetterdaten für das Rechenprogramm DOE-2.1 A, 1983
[3] Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico: DOE-2-Verification Project Phase I Final Report, 1986, 87545
[4] Messprojekt Maugwil: Verifikation des Rechenprogramms DOE-2 anhand des gemessenen Energiehaushaltes, 1983, EMPA-Bericht Nr. 41643/2
[5] Etude de cas: La Chaumière. Simulation des améliorations thermiques de l'enveloppe, de l'Installation de chauffage et du réglage, 1986, EMPA-Bericht Nr. 48310
[6] *J. Gass* und *Th. Baumgartner:* Messprojekt Collins-Gebäude in Glasgow, in «Schweizer Ingenieur und Architekt» 12/83, Seiten 336–338
[7] Verifikation des DOE-2-Rechenprogramms anhand der Messdaten aus dem IEA-Annex IV Messprojekt «Collins Building» in Glasgow, 1985, EMPA-Bericht Nr. 48304

Die Verjährungsproblematik in der neuen Norm SIA 380/7

Garantie und Verjährung nach Artikel 6 4 der Norm SIA 380/7 Haustechnik (Ausgabe 1985)

Von Norbert Ruoss, Zürich

Seit 1977 ist die SIA-Norm 118 «Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten» in Kraft. Sie ist eine eigentliche Werkvertragskodifikation und eine SIA-Norm, die nach rechtswissenschaftlichen Erkenntnissen geschaffen worden ist. Inzwischen haben verschiedene private und öffentliche Bauherren eigene vorgeformte (allgemeine) Vertragsbedingungen mit mehr oder weniger sinnvollen Abweichungen aufgestellt. Mit der neuen SIA-Norm 380/7 Haustechnik hat jetzt selbst der SIA begonnen, an der SIA-Norm 118 zu flicken [1].
Die neue Norm nennt sich im Titel «Ergänzung zur SIA-Norm 118». Anhand des Artikels 6 4 SIA-380/7 «Garantie und Verjährung» soll aufgezeigt werden, dass die neue Norm Haustechnik nicht nur Ergänzungen, sondern Änderungen enthält und dass solche Änderungen nur dann sinnvoll sind, wenn dabei allgemein anerkannte juristische Begriffe, Definitionen und Grundsätze beachtet werden.

Begriffe

Die SIA-Norm 118 verwendet im Zusammenhang mit der Mängelhaftung die beiden Begriffe «Garantiefrist» und «Verjährung». Deren Bedeutung geht aus der SIA-Norm 118 klar hervor: *«Während der Garantiefrist kann der Bauherr in Abweichung vom Gesetz (Art. 367 OR und Art. 370 OR) Mängel aller Art jederzeit rügen» (Art. 173 SIA 118)* [2]. Die Frist beträgt zwei Jahre. Wird ein Werkmangel mit der Mängelrüge gerügt, ist die Garantiefrist für den entsprechenden Mangel unterbrochen und sie beginnt für das Nachbesserungswerk mit der gleich langen Frist neu zu laufen.

Die *Verjährung* ist in Art. 180 SIA-Norm 118 geregelt und die Frist beträgt fünf Jahre. Mit Ablauf der Verjährungsfrist können die Mängelrechte nicht mehr klageweise durchgesetzt werden, wenn der Unternehmer die Einrede der Verjährung erhebt. Durch Anerkennungshandlungen und qualifizierte Rechtshandlungen (Betreibung, Klage vor Gericht etc.) werden die Verjährungsfristen unterbrochen, was zur Folge hat, dass die Frist neu zu laufen beginnt und die gleiche Dauer hat, wie die unterbrochene Frist [3].

Die SIA-Norm 380/7 verwendet demgegenüber im Zusammenhang mit der Verjährung der Mängelhaftung in Art. 6 4 nicht nur die Begriffe Garantiefrist und Verjährung, sondern auch *Garantie, garantierte Leistungen, Garantieleistungen* und *Gewährleistungsdaten.* Statt klärend, wirken diese Begriffe verwirrend, da ihnen in der Praxis neben der Bedeutung von Fristen auch andere Bedeutungen zukommen.

So kann *Garantie* ganz einfach eine