

# Building Energy Management Systems (BEMS)

**BMFT-Vorhaben liefert Planern und Betreibern Entscheidungshilfen für den Einsatz von BEMS\***

Ziel dieses vom BMFT geförderten Forschungsvorhabens der Internationalen Energieagentur IEA ist der Abbau von Hemmnissen, die dem effektiven Einsatz von Building-Energy-Management-Systemen entgegenstehen. Es richtet sich an Betreiber und Planer von BEMS und soll sie bei der Auswahl, Beurteilung und Planung unterstützen. Als Ergebnis des Arbeitskreises IEA-Annex 16 liegt eine internationale Bestandsaufnahme von Normen, Richtlinien, Ausschreibungshilfen, Fallstudien Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Sensoren und Benutzererfahrungen mit BEMS vor. Durch Simulations- und Emulationsarbeiten wird in IEA-Annex 17 demonstriert, daß die in IEA-Annex 10 und IEA-Annex 17 entwickelten Simulationsmodelle ein geeignetes Beurteilungsinstrumentarium für BEMS-Software und eine kostengünstige Testumgebung für BEMS-Hardware darstellen.

H. Bach, M. Madjidi, W. Stephan, Universität Stuttgart, IKE, Abt. HLK  
Th. Brendel, A. Schneider, IDB, Ingenieurbüro Dr. Brendel, Frankfurt/Main  
H. Ast, H. Kellner, J. Harter, IFB, Dr. R. Braschel GmbH, Stuttgart-Zuffenhausen

## Einleitung

In den vergangenen Jahren wurden mit der Einführung der DDC-Technik (Direct-Digital-Control) in die Regelung von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen große Fortschritte erzielt. Diese betreffen vor allem den Microcomputer als Regler selbst. Building Energy Management Systeme (BEMS) sind Geräte, die den betrieblichen Ablauf in den Anlagen so regeln, daß eine vorgegebene wählbare Zielfunktion (z.B. niedrige Energiekosten, Komfortanforderungen der Bewohner) erreicht wird. Forschungsarbeiten der letzten Jahre haben gezeigt, daß ein rationeller Energieeinsatz bei der Heiz- und Raumluftechnik nicht mehr durch apparative, sondern durch betriebliche Optimierung zu erreichen ist. Zu diesem Zweck werden auf dem Markt eine Vielzahl von digitalen regelungs- und steuerungstechnischen Systemen angeboten. Welche Anforderungen an sie zu stellen und wie sie zu beurteilen sind, ist derzeit jedoch offen. Gerade die Betreiber der Ge-

bäude möchten aus der verfügbaren Hardware Nutzen ziehen und suchen nach BEMS, die die Energie- und Gesamtkosten zur Versorgung eines Gebäudes minimieren und die Anforderungen der Bewohner und Nutzer an Komfort, Gesundheit und Sicherheit einhalten.

Ein wichtiger Schwerpunkt der IEA ist das Programm *Energy Conservation in Buildings and Community Systems*, das mittlerweile in 25 Projekte, sog. Annexe, untergliedert ist. Das Projekt Building-Energy-Management-System (BEMS) ist der deutsche Beitrag zu den IEA-Vorhaben Annex 16 und 17. Ziel dieses Projektes ist, Hemmnisse, die dem effektiven Einsatz von BEMS entgegenstehen, abzubauen. Es richtet sich in erster Linie an Betreiber und Planer von BEMS und soll diese bei der Auswahl, Beurteilung und Planung unterstützen. Durch die Aufstellung von Beurteilungs- und Testmethoden für BEMS können verschiedene BEMS untereinander verglichen werden, und es lassen sich Anforderungen an BEMS formulieren. Andererseits werden aus bereits vorhandenen Erfahrungen Planern und Betreibern von Gebäuden Entscheidungshilfen für den Einsatz von BEMS gegeben.

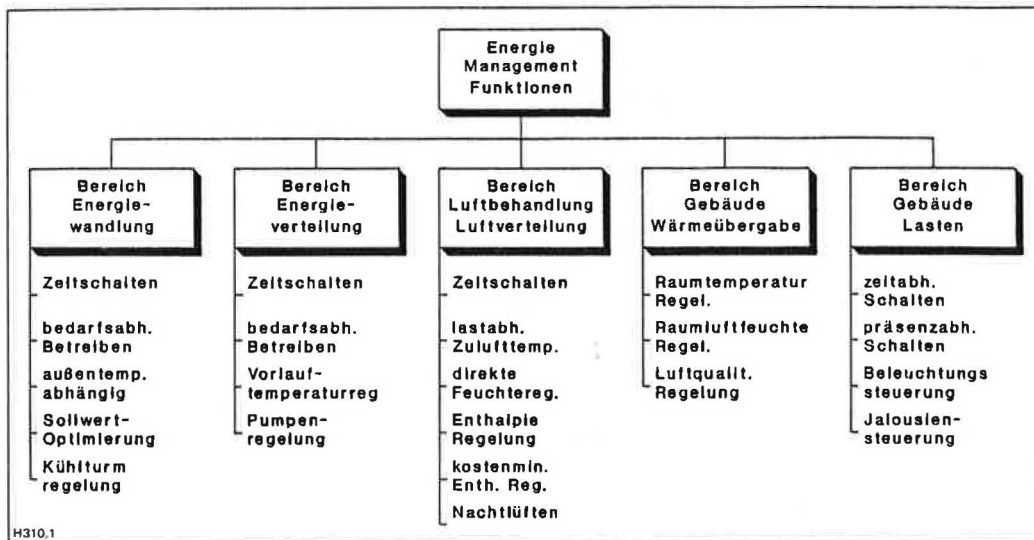
Das Projekt gliedert sich in zwei Arbeitskreise, den IEA Annex 16 und den IEA Annex 17.

## IEA-Annex 16

Der IEA-Annex 16 (BEMS 1 – user interfaces and systems integration) ist sehr praxisorientiert. Er erfaßt den Stand der Technik in den Teilnehmerländern. Durch den internationalen Informations- und Erfahrungsaustausch wird eine Vereinheitlichung bei der Beurteilung und Planung von BEMS erreicht. Im Rahmen des IEA-Annex 16-Projektes wird die Bestandsaufnahme nationaler Unterlagen für Planung und Betrieb von BEMS durchgeführt. Jedes Teilnehmerland hat die Leitung eines Arbeitsbereiches übernommen und in Form von IEA-Dokumenten englischsprachige Endberichte angefertigt:

- Ausschreibungshilfen [1]: Der Bericht beinhaltet Hinweise über Einsatzbereiche und Vorteile von BEMS, Qualifikationsanforderungen an das Betreiberpersonal und die Qualifikation von Anbietern. Die Bestandsaufnahme zeigt, daß in Deutschland das *Standardleistungsbuch*, in Großbritannien das von BSRIA fertiggestellte *Application Handbook*, in Finnland bald eine *Ausschreibungsnorm für BEMS* und in Japan und Niederlanden nur inoffizielle Standards existieren.
- Normen und Richtlinien [2]: Die Bestandsaufnahme ergibt, daß Großbritannien, Finnland und Japan keine offizielle BEMS-Norm besitzen. In Deutschland gibt es die DIN V 32735 (FND-Spezifikation), die DIN V 19245 (Profibus) für die Datenkommunikation und die VDI Richtlinie 3814 mit Hinweisen für Planer und Betreiber. In den USA wird zur Zeit noch an einem Kommunikationsstandard gearbeitet.
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen [3]: Folgende Berechnungs- und Ermittlungsverfahren zur Bestimmung der Einspartwerte durch den Einsatz von BEMS werden beschrieben: Die Pay-

\* Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0338882A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



**Bild 1: Untersuchte Energie-Management-Funktionen**

back-Methode (Berechnung der Amortisationszeit) und die Net-Present-Value-Methode (Berechnung der Rendite): Sie werden in allen Teilnehmerländern eingesetzt. Exakte Handrechenverfahren zur Ermittlung der Einsparwerte durch den Einsatz einzelner BEMS-Funktionen gibt es in keinem Teilnehmerland.

● Sensoren [4]:

Es existiert nun ein umfangreiches Nachschlagewerk aus Japan über Sensoren und ihre Einsatzgebiete in der technischen Gebäudeausrüstung. Der Endbericht enthält darüber hinaus die Ergebnisse einer Umfrageaktion in den Teilnehmerländern, über Fallstudien, Literatur sowie vorhandene Normen auf dem Gebiet der Luftqualität in Innenräumen.

● Befragen von Betreibern, Planern und Herstellern [5]:

Aus der vom IDB geleiteten rechnergestützten Befragung von weltweit 33 Betreibern, acht Herstellern und acht Planern leiten die Autoren ab:

- daß hochentwickelte Regel- und Optimierungsstrategien, anwendungsspezifische Softwareanpassung, Programmiermöglichkeiten für Betreiber, Dokumentation der Systeme und Schulung der Betreiber als problematisch gelten,
- daß das Entscheidungskriterium für die Installation von BEMS die Sicherstellung des Betriebs großer Gebäude und komplexer Anlagensysteme ist und daß Energieeinsparung nur eine sekundäre Rolle spielt,
- daß BEMS-Betreiber eine Zehnjahresamortisation von BEMS-Investitionen akzeptieren und
- daß BEMS-Käufer interessiert sind an einfachen BEMS, mehr intelligenten BEMS im Sinne von Selbstadaption und Selbstinstallation, standardisierten Re-

gelalgorithmen mit minimalem Programmieraufwand, besseren Schulungsprogrammen für die BEMS-Betreiber in der Phase der Abnahme und Systeme, die die geringste Anzahl von Betriebspersonal voraussetzen.

● Fallstudien [6]:

Die Bestätigung der Praktikabilität und hohe Energieeinsparungsmöglichkeit durch BEMS wird in exemplarischen Fallstudien aufgezeigt. Durch die beschriebenen Fallstudien aus Großbritannien, Finnland, Japan, Deutschland und Niederlande wird dargelegt:

- daß durch BEMS Energiekosten und Wartungspersonal eingespart werden (diese werden quantifiziert),
- daß sich gegenwärtig Management in BEMS nur auf die Energieverbrauchsregistrierung beschränkt,
- daß der Trend zu integrierten Gesamtsystemen (BEMS + Brandmelder + Sicherheitssystem + ...) führt und
- daß bereits in der Praxis heute DDC-Systeme unterschiedlicher Hersteller zu einem Leitsystem verbunden werden.

**IEA-Annex 17**

Im Unterschied zu Annex 16 ist IEA-Annex 17 auf Forschungsaspekte ausgerichtet (BEMS 2 – evaluation and emulation technique). Es werden Beurteilungs- und Testmethoden für BEMS entwickelt. Die energetische Beurteilung neuer Anlagenkonzepte und Betriebsweisen erfordert eine Methode, die alle Bereiche von Gebäude bis zur Anlagen- und Regelungstechnik in ihrem Zusammenwirken erfaßt. Dies ist mit bestehenden Handrechenverfahren nicht möglich. Auch ist die Abbildung einer komplexen gebäudetechnischen Anlage im Labor wegen des extrem hohen Aufwandes nicht durchführbar. Und die Erprobung in

der Praxis? Sie liefert nur Realisierungserfahrungen. Reproduzierbare Einsparungsergebnisse sind aus Feldmessungen auch bei größtem Aufwand nicht abzuleiten. So bleibt der Einsatz der rechnerischen Betriebssimulation als einzige kostengünstige Methode. Durch die Weiterentwicklung und die Anwendung von Computersimulation werden in Annex 17 Test- und Beurteilungsmethoden geschaffen. Die Simulationsprogramme werden einerseits zur Bestimmung von Einsparpotentialen und andererseits zur Darstellung der Testumgebung für BEMS (Emulation) eingesetzt.

Exemplarisch werden einige wichtige Energie-Management-Funktionen untersucht. Bild 1 zeigt die am IKE untersuchten Funktionen. Die Arbeiten zeigen, daß Computersimulation ein sehr geeignetes Instrumentarium zur Beurteilung von BEMS-Funktionen sein kann.

An zwei Beispielen werden die Einsparpotentiale durch den Einsatz von Energie-Management-Funktionen aufgezeigt und reale BEMS-Komponenten (lokale Regler, Unterstationen und Leitrechner) durch Emulation getestet. Zur Bestimmung der Einsparpotentiale von Energie-Management-Funktionen werden die Simulationsprogramme TRNSYS [8], HVACSIM+ [9], PIBNET [10] und GERALT [11] verwendet. Die Programme sind streng modular aufgebaut, so daß beliebige Anlagen- und Gebäudemodelle eingesetzt werden können. Vergleichsrechnungen mit Referenzfällen zeigen eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse dieser Programme. Für die Programme TRNSYS und HVACSIM+ werden die Komponentenmodelle und einige Beispieldatensätze dokumentiert und allen Interessierten zur Verfügung gestellt.

Die im folgenden beschriebenen exemplarisch durchgeführten Simulationsrechnungen in Annex 17 zeigen, daß die eingesetzten Simulationsmodelle den Anforderungen zur Beurteilung von BEMS genügen.

### Exemplarische Simulation einer Heizanlage

Am Beispiel der sog. Optimum-Start/Stop-Regelung (OSS-Regelung) wird in IEA-Annex 17, unter Federführung des IKE die Anwendung der Computersimulation als Beurteilungsinstrumentarium vorgeführt [12, 13]. Für die Beurteilung von Einsparpotentialen und Komforteinbußen beim Optimum-Start/Stop-Betrieb wird als Simulationsbeispiel ein Bürogebäude mit Nieder-temperaturheizung zugrunde gelegt. Es wird die Güte der Gradientenmethode [14] untersucht. Es zeigt sich, daß neben der Raum- und Außenlufttemperatur auch die Temperatur der speichernden Bauteile in den Regelalgorithmus einfließen muß, um eine befriedigende Vorhersage für die optimalen Schaltzeiten zu treffen. Der Einfluß der Dimensionierung von Heizkessel und Heizkörper auf die Energieeinsparung durch OSS-Regelung an vier verschiedenen Heizkesselgrößen sowie an zwei verschiedenen Heizkörpergrößen (einfach und zweifach überdimensioniert) ist ebenfalls untersucht worden. Die Überdimensionierung reduziert erwartungsgemäß die Betriebszeiten der Anlage. Das spätere Einschalten bei den überdimensionierten Anlagen bringt aber keine bedeutenden Energieeinsparung mit sich. Dies ist auf die höheren Verluste der größeren Kessel zurückzuführen. Die Simulation bietet die Möglichkeit, die Rückwirkung der Anlagen-dimensionierung auf die Raumtemperatur-regelung zu erfassen. So erhöhen sich die

Raumtemperaturen bei einer Überdimensionierung der Heizkörper und der Energiebedarf. Mit der Reduktion der Sollwerttemperatur der Thermostatventile kann dieser Effekt kompensiert und somit auch der Energieverbrauch verringert werden. Bild 2 zeigt den errechneten Energiebedarf der Heizanlage für den betrachteten Zeitraum (1. bis 28. Februar des deutschen Testreferenzjahres TRY05). Weitere Fallstudien liegen von den finnischen und schwedischen Teilnehmern des Annex 17 vor.

### Exemplarische Simulation einer Klimaanlage

Am Beispiel des Variabel-Volumenstrom-Systems (VVS) eines Bürogebäudes werden einige wichtige BEMS-Funktionen durch Computersimulation beurteilt [15, 16]. Lastabhängige Zulufttemperatur, enthalpiegeführter Umluftbetrieb, Einsatz des Luftwäschers zur Kühlung der Zuluft und bedarfsabhängiges Betreiben der Wärme- und Kälteerzeuger sowie der Verteilumpumpen sind einige der untersuchten BEMS-Funktionen mit nennenswertem Einsparpotential. Die größten Einsparwerte ergeben sich jedoch für Funktionen, die die Nutzungsanforderungen an die Raumtemperatur, Feuchte und Raumluftqualität beeinflussen. Am Beispiel der Funktion des Null-Energiebandes zur Raumtemperatur-regelung ist in Bild 3 die Auswirkung der Ausdehnung des Toleranzbandes auf die Energieeinsparung dargestellt. Es wird gezeigt, daß für eine rationelle Betriebsweise

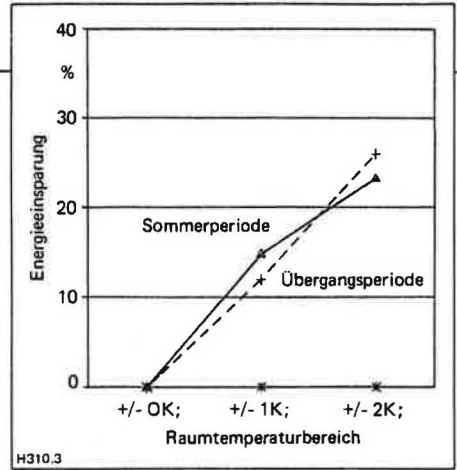


Bild 3: Auswirkung der Ausdehnung des Toleranzbandes für die Raumtemperatur auf die Energieeinsparung

die Grenzen des Komfortbereichs immer vollständig ausgenutzt werden sollten. Weitere Fallstudien liegen von den italienischen und schwedischen Teilnehmern des Annex 17 vor.

### Emulation als Testmethode für BEMS

Bei der Emulation werden reale BEMS-Komponenten über eine Schnittstelle mit einem Computer gekoppelt, auf dem ein Simulationsprogramm in Echtzeit abläuft. Die Kopplung von BEMS-Hardware mit Simulationsprogrammen hat sich als geeignetes Hilfsmittel zum Testen und Entwickeln von regelungs- und steuerungstechnischen Funktionen erwiesen. Es haben sich die folgenden Vorteile der Emulation gegenüber der Erprobung im Feld abgezeichnet: die absolute Reproduzierbarkeit der

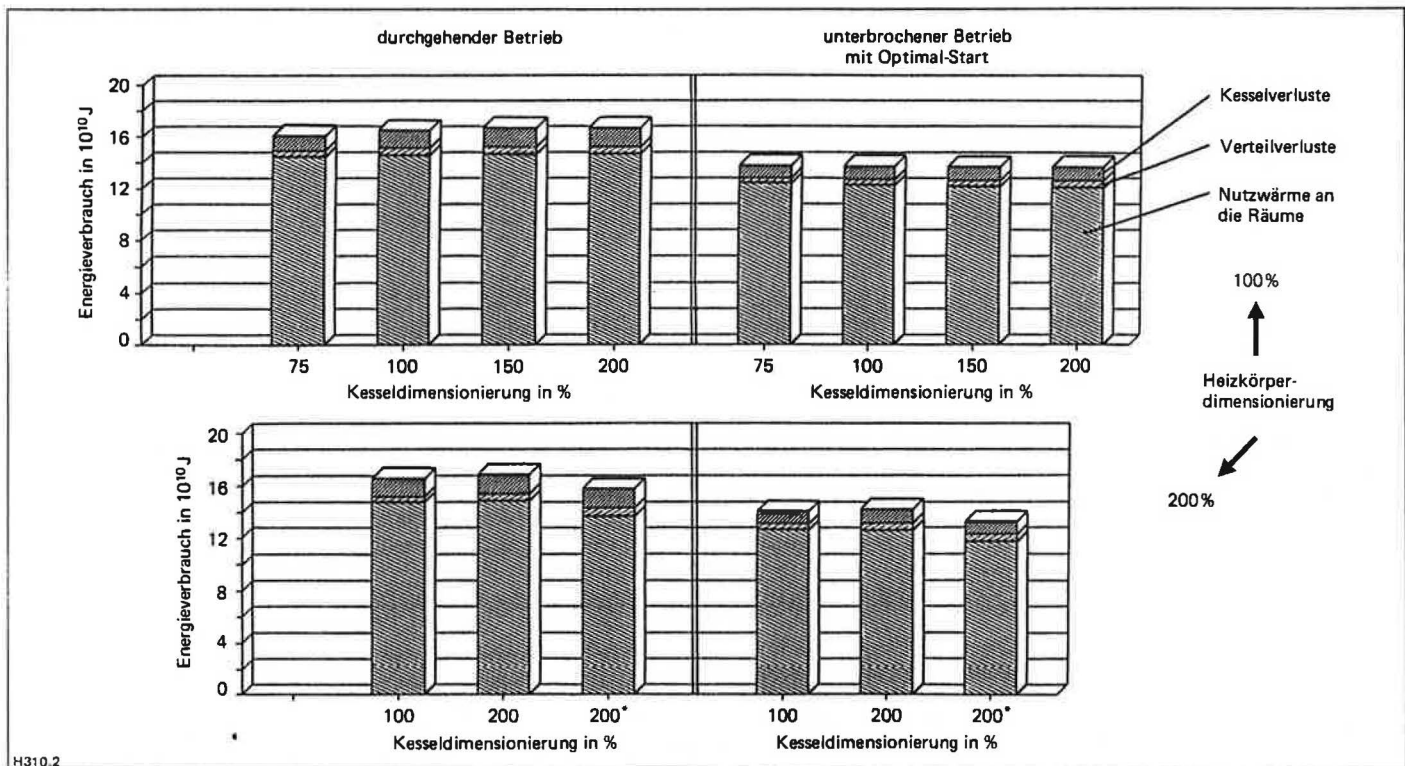


Bild 2: Energiebedarf verschiedener Heizanlagen bei durchgehendem und unterbrochenem Heizbetrieb mit Optimal-Start (\*: Sollwert der Raumtemperatur um 1K herabgesetzt)



Versuche, die Möglichkeit der Definition beliebiger Randbedingungen und die Kosten- und Zeitersparnis bei der Entwicklung neuer Funktionen. Sechs verschiedene Emulatorkonzepte sind von den Teilnehmern des Arbeitskreises entwickelt worden. Sie unterscheiden sich in der Auswahl des Computers für die Betriebssimulation, die Datenschnittstelle zur BEMS-Komponente und die einzusetzenden Programme für die Betriebssimulation sowie die Überwachung des Emulationsprozesses. Eingesetzt werden jeweils die beiden Simulationsprogramme TRNSYS und HVACSIM+.

### Weiteres Forschungspotential

Im Arbeitskreis IEA-Annex 16 ist die internationale Bestandsaufnahme vorhandener Normen, Richtlinien, Ausschreibungshilfen, Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Sensoren erfolgreich durchgeführt worden. Darüber hinaus sind nun aus der Befragungsaktion sowie den detailliert beschriebenen Fallstudien der einzelnen Teilnehmerländer umfangreiche Benutzererfahrungen mit BEMS dokumentiert. Die Simulations- und Emulationsarbeiten in IEA-Annex 17 demonstrieren, daß die in IEA-Annex 10 und IEA-Annex 17 entwickelten Simulationsmodelle ein geeignetes Beurteilungsinstrumentarium für BEMS-Software und die überaus kostengünstigste Testumgebung für BEMS-Hardware darstellen.

Wie auch die Ergebnisse aus Annex 16 zeigen, findet nach dem heutigen Stand der Technik keine permanente Überwachung durch BEMS, speziell im Hinblick auf Ener-

gieeinsparung und Fehlerdiagnose, statt. Heutige BEMS schöpfen das bereits vorhandene Leistungspotential der Hardware nicht aus. Denkbar wäre der Einsatz von Simulationsprogrammen, mit den in IEA-Annex 10 und IEA-Annex 17 entwickelten mathematischen Modellen, zur Vorausberechnung des Betriebsverhaltens und zum Vergleich des gerechneten mit dem tatsächlichen Prozeßverlaufs und damit zur ständigen Überwachung des Betriebs und Erkennung von Fehlfunktionen. Durch eine Echtzeitsimulation kann dem realen Prozeßbereich ein Rechenmodell gegenübergestellt werden, das durch den ständigen und augenblicklichen Vergleich von Prozeßdaten und Sollwerten den bestmöglichen Betrieb der Anlagen gestattet. Die Fehlerdiagnose und die Erarbeitung von Lösungsvorschlägen könnten durch wissensbasierte Systeme unterstützt werden. Ein neues IEA Vorhaben (Annex 25, *Real Time Simulation of HVAC-Systems for Building Optimization, Fault Detection and Diagnosis*) wird diese Ziele verfolgen. [H 310]

### Literaturangaben

- [1] Teekaram A. u. R. Grey: An International Guide for Writing a Building Energy and Management System Specification that includes Personnel Training and Performance Testing, IEA A 16 UK:90:08:30, BSRIA, Bracknell, Großbritannien (Mai 1991).
- [2] Teekaram, A. u. R. Grey: An International Survey of Standards Applicable to Building Energy and Management Systems, IEA A 16 UK:90:07:31, BSRIA, Bracknell, Großbritannien (Juli 1991).

- [3] Hyvarinen, J.: Cost Benefit Assessment Methods for BEMS. Final Report IEA-Annex 16, VTT, Espoo, Finnland (Mai 1991).
- [4] Nakahara, N.: A Guide to Sensors in BEMS. Final Report IEA-Annex 16, Japan BEMS Committee (Mai 1991).
- [5] Brendel, T. u. A. Schneider: User Experiences with BEMS. Final Report IEA-Annex 16, IDB, Frankfurt (Mai 1991).
- [6] Nicolaas, H. u. H. Peitsmann: Case Studies of BEMS Installations. Final Report IEA-Annex 16, TNO, Delft, NL (Mai 1991).
- [7] Ast, H., H. Bach u. W. Stephan: Bestimmung und Bewertung des Energieverbrauchs von Heiz- und RLT-Anlagen; deutscher Beitrag zum IEA-Annex 10. Abschlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 03-E-8163 (1988).
- [8] TRNSYS: A Transient System Simulation Program. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA (1983).
- [9] Park, C., R. Clarc u. G. Kelly: An Overview on HVACSIM+, A dynamic building/HVAC/control system simulation program. Proc 1st Annual Building Energy Simulation Conference, Seattle, USA (1985).
- [10] PIBNET, A Program for Dynamic Thermohydraulic Simulation of Heating Plants, VTT, Finnland.
- [11] W. Stephan: Gebäude- und Anlagenbetriebs-simulationsprogramm GERALT. Programmdokumentation, Teil 1: Übersicht und Handhabung, interner Bericht IKE, Abt. HLK, Universität Stuttgart (März 1991).
- [12] Madjidi, M. u. W. Stephan: Computer simulation as a tool for the evaluation of an adaptive start/stop strategy for heating systems. Third International Conference on System Simulation in Buildings, Liege (Dezember 1990).
- [13] Kohonen, R., A. Laitinen, I. Aho, M. Madjidi u. W. Stephan: Study on optimal start/stop operation of hydronic heating systems. IBPSA BS, 91 Conference, Nizza (August 1991).
- [14] Leimgruber, J., P. Lipsky u. A. Reichlin: Gradientenmethode zur Berechnung der optimalen Schaltzeiten in Heizungs- und Klimaanlage. Technische Rundschau Sulzer Vol. 1/88, S. 19/21.
- [15] Stephan, W., M. Madjidi u. A. Theiss: Case Study on the Control Strategy of an Office Building. AN 17-9100403-7 Dokument des IEA-Annex 17, IKE, Abt. HLK, Universität Stuttgart (März 1991).
- [16] Stephan, W.: Energetische Beurteilung der Betriebsweise heiz- und raumlufttechnischer Anlagen durch rechnerische Betriebssimulation. Universität Stuttgart, Dissertation (1991).

## Gräfliche Einsichten über einen Topf-Hit

Seine Existenz hat der Eintopf dem Grafen Sir Benjamin Thompson Rumford (1753 – 1814) zu verdanken. Rumford ward um 1772 Lehrer in Rumford (jetzt Concord), trat in die Königliche Miliz, als Amerikaner kämpfte er im amerikanischen Unabhängigkeitskrieg auf seiten der Engländer, daher mußte er nach England fliehen. Jahre später (1784) landete er am Hof in München, trat in bayerische Dienste, wirkte für die Organisation der Armee und brachte es bis zum Kriegsminister. Er gründete Schulen für die Soldatenkinder und Manufakturen im Interesse der Armen. Auch den Englischen Garten in München legte er an. Er führte in Bayern die Kartoffel als Grundnahrungsmittel ein, jede Garnison mußte ein Kartoffelfeld anlegen. Ständig tüftelte er an

Rezepten, wie man die Massenverpflegung der Truppe und der Menschen in den Armenhäusern rationell und kostengünstig verbessern könnte. Das Ergebnis war „Meine Suppenküche“ – das erste deutsche Eintopfgericht.

Sein berühmter Rumford-Eintopf aus Erbsen, Graupen, Kartoffeln und Speckfleisch sättigte für wenig Geld viele Leute. Obwohl der Eintopf nicht die gewohnte feste Konsistenz der damaligen Gerichte hatte und bei einigen zuerst überraschte Gesichter hervorrief, setzte er sich schnell durch. Graf Rumford entwickelte nicht nur den Eintopf. Er erfand 1796 einen Kamin, der mehr Wärme und weniger Rauch in das Zimmer abgab, und konstruierte den Vorläufer des heutigen Kachelofens. Mit

Klappen und Schiebern verbesserte er den Herd in der Küche. Mit einer indirekt beheizbaren Backröhre revolutionierte der vielseitige Erfinder die damalige Küchentechnik. 1799 kehrte Rumford nach England zurück, wo er über Natur und Anwendung der Wärme experimentierte und die Umsetzung von Arbeit und Wärme erkannte. 1802 ging er nach Paris. [H 3 991]

**Quellen:** Hermann-Rietschel-Archiv für Geschichte der Heiz- und Klimatechnik. Universität Kaiserslautern, Lehrgebiet Technische Gebäudeausrüstung und Bauphysik. Professor K. W. Usemann VDI