

Computersimulation in der Technischen Gebäudeausrüstung

Bei der Planungsarbeit im Bauwesen werden zunehmend Computersimulationsprogramme eingesetzt. Der Einsatzbereich geht von einfachen Berechnungen bis zu dreidimensionalen visuellen Ansichten des Gebäudes. In der technischen Gebäudeausrüstung kommen Simulationsprogramme für das thermische Verhalten von Gebäuden und Anlagen und für die Raumluchtströmung zur Anwendung. Dieser Beitrag soll über die Möglichkeiten, den Stand der Technik und über zukünftige Anforderungen bei der Computersimulation für Gebäude und Anlagen informieren.**

Beweggründe

Durch die Vielfalt und Komplexität heutiger Bau- und Anlagenkonstruktionen sind oft eingehende Analysen schon im Planungsstadium erforderlich. Aus Kostengründen können experimentelle Untersuchungen an Prototypen oder maßstabsgetreuen Modelltypen nicht durchgeführt werden. Durch die Computersimulation wird das Planungskonzept mit geringen Kosten und mit einer zeitlichen Straffung optimiert und bewertet. Die Wirtschaftlichkeit der Computersimulation steigt mit zunehmender Anzahl von Untersuchungsvarianten. Im Unterschied zu anderen Ingenieurtechniken werden hier nicht Erfahrungen am gegenständlichen Modell, sondern am mathematischen Modell gesammelt.

Gewöhnlich handelt es sich bei den in Normen und VDI-Richtlinien angegebenen Rechenverfahren um Handrechenmethoden, die wegen ihrer Durchführbarkeit nicht alle einflußnehmenden Größen berücksichtigen können. Mitunter werden auch Verfahren angegeben, welche mit den physikalischen Zusammenhängen nicht im Einklang stehen, z.B. Korrekturfaktormethoden. In der Regel führt die Anwendung der Auslegungsnormen zu überdimensionierten Anlagen, was insbesondere bei raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) zu Zugerscheinungen führen kann.

Mit der Neuausgabe der VDI 2078 [1] wird erstmals auch in der Planungspraxis eine

** gefördert vom Bundesministerium für Forschung und Technologie im Rahmen des Verbundvorhabens

"Menschengerechte Raumklimatisierung durch Quelllüftung und Flächenkühlung", Förderkennzeichen 01 HK 170 8

neue Arbeitsmethodik eingeleitet, welche bisher nur systemtechnischen Untersuchungen vorbehalten war. Das EDV-Verfahren in der VDI 2078 gestattet neben der Ermittlung der Kühllast für eine vorgegebene Soll-Raumlufttemperatur auch die Berechnung der sich einstellenden Ist-Raumlufttemperatur bei begrenzter Anlagenleistung. Damit kann der Ausschluß ansonsten geeigneter Systeme durch die Analyse der Raumlufttemperaturentwicklung möglicherweise verhindert werden. Es zeigt sich hier schon ein erster Ansatz für eine Simulationsrechnung.

Allerdings kann auch die VDI 2078 nicht alle möglichen Bau- und Anlagenkonstruktionen abdecken. Mit der Computersimulation werden die Objekte wesentlich detaillierter erfaßt und führen zu genaueren und damit risikomindernden Aussagen über die einzelnen Vorgänge.

Anwendungsgebiete

Einen Überblick über die möglichen Anwendungsgebiete mit Beispielen geben die Arbeiten von *Esdorn, Jahn* und *Schmidt* [2] und [3]. Ergänzend erfolgt hier nur eine stichpunktartige Aufzählung :

Beurteilung der Baukonstruktion

Gebäude haben u.a. die Aufgabe, die thermische Schutzfunktion vor außenklimatischen Einflüssen zu übernehmen. Sie müssen auch die Voraussetzungen für die Herstellung eines behaglichen Raumzustandes durch eine technische Anlage schaffen. Der Aufwand für die Anlagen ist umso geringer, je höher der Erfüllungsgrad dieser Voraussetzungen ist. Mit der Computersimulation kann hier ein Optimum zwischen baukonstruktivem und anlagentechnischem Aufwand zusammen mit dem Architekten erarbeitet werden, z.B. durch Variation der bauphysikalischen Fassadengestaltung oder der Speichermassen in Räumen. Es kann auch geprüft werden, ob eine RLT-Anlage überhaupt notwendig ist.

Konzeptplanung und Dimensionierung von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung

Die Möglichkeiten reichen hier von einer besser angepaßten Lastermittlung über eine optimale Systemauswahl bis zur Vorgabe einer günstigen Betriebsweise der Anlage.

Eine Lastermittlung mit der Computersimulation bedarf jedoch einer gesonderten Vereinbarung mit dem Auftraggeber. Es würden sich hierbei folgende Vorteile ergeben:

- In Büro- und Geschäftsbauten können die inneren Wärmequellen zu einer Reduzierung der Heizlast führen.
- Bei der Kühllastberechnung ist man nicht auf die Zuordnung eines Typraumes (vgl. VDI 2078) angewiesen. Speichereffekte, Strahlungslasten und nicht klimatisierte Nachbarräume werden mit der Computersimulation genauer ermittelt und führen u.U. auch zu einer Reduzierung der maximalen Last.
- Für die Auslegung der Zentralgeräte und der Versorgungsleitungen wird die Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit der angeschlossenen Lastzonen zu kleineren Dimensionen führen.
- Die Auftrennung zwischen der Gebäudelast als reine Eigenschaft des Gebäudes und der Anlagenleistung ist bei einer Computersimulation nicht mehr erforderlich. Die physikalisch gegebene Kopplung zwischen Anlage und Raum findet somit Berücksichtigung.
- Die Auslegung der Anlage kann auch durch die Vorgabe einer Betriebsweise in einem Behaglichkeitsfeld erfolgen.

Bei einer derartigen Lastermittlung müssen allerdings auch die Anfahrspitzen untersucht werden. Man beachte auch, daß der Lastverlauf Einfluß auf die vertragliche Gestaltung mit Energielieferanten nehmen kann, z.B. beim Anschlußwert. Für bestehende Anlagen kann durch die Aufnahme des Ist-Zustandes eine gezielte Sanierung vorgenommen werden.

Entwurf von Energieversorgungskonzepten

Aus dem Vergleich zwischen Energieangebot und Energieanforderung lassen sich z.B. wirtschaftliche Speichergrößen ermitteln.

Überprüfung der Funktionserfüllung, Sensitivitätsanalysen

Für den Auslegungsfall oder für den durchschnittlichen Jahresbetrieb kann mit der Computersimulation schon im Planungsstadium überprüft werden, zu welchem Anteil die konzipierte Anlage ihre Anforderungen erfüllt. Schon durch eine geringe Unterschreitung der Maximalforderung können erhebliche Kosten eingespart werden. Weitere Aspekte sind z.B. die Erweiterung der gestalterischen Möglichkeiten des Architekten durch eine Platzersparnis.

Mit einer Sensitivitätsanalyse wird die Empfindlichkeit bestimmter Annahmen untersucht, z.B. der Einfluß eines abweichenden Nutzerverhaltens, Sollwertveränderungen, der Ausfall von Anlagenteilen, die Nichteinhaltung von Herstellerangaben. Die Planungsziele müssen in der Konstruktion von fehlertoleranten Anlagen liegen. Viele Energieversorgungskonzepte scheitern an dieser Forderung. Die Fehlertoleranz trägt auch zu einer Minimierung des Nutzereinflusses bei.

Entwicklung von Regel- und Steuerungsstrategien

Ziel der Ausarbeitung von Regel- und Steuerungsstrategien ist, neben der Einhaltung von Sollwerten auch den Energieverbrauch durch die Betriebsweise der Anlage auf das notwendige Minimum zu senken. Mit der Computersimulation kann man für die Reglerauslegung genauere Kenntnisse über das Übertragungsverhalten der Regelstrecke gewinnen. Eine Beurteilung zur Regelung von RLT-Anlagen auf behagliche Sollwertfelder mittels Anlagensimulation wird bei *Schmidt* und *Häusler* [4] angegeben. Für eine unterbrochene Betriebsweise der Anlagen lassen sich mit der Computersimulation optimale Konzepte bezüglich der Ein- und Ausschaltzeiten erarbeiten.

Einsatz in der Digitalen Gebäudeautomation

Denkbar ist auch der direkte Einsatz des Simulationsprogrammes zur Berechnung von Stellgrößen aus aktuellen Störgrößen (Echtzeitsimulation). Im Gegensatz zu herkömmlichen Regelungen mit P- und PI-Reglern könnten hierbei ganz andersartige Regelalgorithmen verwendet werden (Deadbeat-, Zustandsregler usw.), bei denen eine Einstellung nicht notwendig ist.

Betriebsüberwachung bei ausgeführten Objekten

Infolge verringerter Wirkungsgrade im Betriebsablauf, Bedienungsfehler oder sonstiger unbeabsichtigter Eingriffe kann es vorkommen, daß diese Fehlfunktionen zu einem erhöhten Energieeinsatz führen. Durch regeltechnische Eingriffe oder durch nachgeschaltete Systeme werden die Fehlfunktionen kompensiert und daher nicht entdeckt. Erst durch auffällige Mehrkosten werden eingehende Untersuchungen veranlaßt. Durch die Zusammenschaltung der Computersimulation mit der zentralen Leittechnik (ZLT) können diese Fehlfunktionen frühzeitig erkannt werden. Im Simula-

tionsprogramm findet dabei ein Referenzbetrieb statt, der einen ständigen Soll-Istwertvergleich durchführt.

Schulung und Ausbildung

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist bei der Schulung des Betriebspersonals oder in der Ingenieurausbildung gegeben.

Simulationsmodelle

Vorstehende Anwendungen sind natürlich nur dann möglich, wenn das Simulationsprogramm auch über die erforderliche Leistungsfähigkeit verfügt. Hierzu muß sowohl das programmierte mathematische Modell als auch die Bedienungsfreundlichkeit beachtet werden. Die Modelle unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung und stehen in gegenseitiger Anregung zu Forschungsaktivitäten. So werden z.B. derzeit die neuen Systeme "Kühldecke mit Quelllüftung" im Rahmen eines Verbundprojektes [5] modelliert.

Bei der Modellierung kann in mehrere Schwerpunkte unterschieden werden :

Wettermodell

Für die meteorologischen Randbedingungen hat sich die Verwendung von Stundenmittelwerten in Form von sog. Testreferenzjahren (TRY) [6] durchgesetzt. Dabei hat sicherlich auch die allgemeine Verfügbarkeit der TRY's [7] beigetragen. Durch eine Simulation mit TRY-Daten gewinnt man Aussagen über den durchschnittlich zu erwartenden Energieverbrauch bzw. Behaglichkeitsstatistiken. Maximal muß dafür nur ein Betriebsjahr für eine bestimmte Klimaregion simuliert werden. Für eine Kühllastberechnung mittels Computersimulation können die in der VDI 2078 angegebenen Tagesverläufe für extrem heiße Tage verwendet werden. Um zu realistischen Startwerten für die Simulation einer Hitzeperiode zu kommen, ist eine Anlaufrechnung mit Wetterdaten aus einer Vorperiode (trübe Tage) empfehlenswert. Diesbezügliches Datenmaterial ist jedoch in der VDI 2078 nicht enthalten. Zur dynamischen Heizlastermittlung können die Datumsangaben von *Wentzlaff* [8] für extreme Kälteperioden an verschiedenen Orten der alten Bundesländer herangezogen werden. Wünschenswert ist aber die Erstellung von realistischen Hitze- und

Kälteperioden mit allen für eine Simulation relevanten Klimaparametern, ähnlich der Forschungsarbeit in [7].

Gebäudemodell

Kern des Berechnungsverfahrens ist die numerische Lösung der instationären Fourier'schen Wärmeleitungsgleichung für Wände und des Wärmeaustausches zwischen den Wandoberflächen. Durch die Instationarität werden Speichereffekte berücksichtigt. Aus dem numerischen Lösungsverfahren resultieren auch die grundlegenden Unterschiede und Rechenzeiten der einzelnen Simulationsprogramme. Oft führen zu starke Vereinfachungen zu einer Einschränkung des Einsatzbereiches. So können z.B. Varianten des Wandschichtaufbaues mit Ein-Speicher-Ersatzmodellen für Wände nicht untersucht werden. Gewichtsfaktormethoden setzen lineare zeitinvariante Systeme voraus. Nur durch geschickte Auswahl der Eingangsgrößen kann die Eignung dieser Methode wieder hergestellt werden [9]. Rückwirkungen zwischen Anlage und Gebäude, welche zu Regelabweichungen führen können, sind bei einigen Modellen nicht möglich oder werden im Programm nicht berechnet.

Berechnungsziel und Lösungsverfahren sind gegeneinander abzuwägen, bedürfen aber einiger Kenntnisse und Erfahrungen. Informationen über das angewendete Lösungsverfahren im Programm sind jedoch nicht immer erhältlich.

Eine Kombination von Raumluftrömung, instationärem Feuchteverhalten der Umfassungswände und thermischem Verhalten des Gebäudes und Anlagen in einem Programm ist z.Z. nicht bekannt. Hier ist noch erhebliche Forschungsarbeit zu leisten. Näherungsweise Aussagen über die Behaglichkeit in der Aufenthaltszone gewinnt man derzeit durch vereinfachte Raumluftrömungsmodelle (Freistrahtheorie, Kolbenströmung usw.).

Verknüpfungmodell

Jedes Bauteil im Gebäude unterliegt gewissen Randbedingungen, welche die Verknüpfung zu anderen Bauteilen herstellt. Während das Gebäudemodell die innere Struktur des Bauteils mathematisch beschreibt, erfolgt durch das Verknüpfungmodell die Aufbereitung der Randbedingungen. Ausgehend von den zur Verfügung stehenden Wetter- und Lastdaten wird z.B. die Strahlungsverteilung auf die Fassade und im

Gebäude oder die Gebäudedurchströmung berechnet. Im Verknüpfungsmodell wird auch die Kopplung zwischen den einzelnen Räumen und den Anlagenkomponenten beschrieben. Aufgrund der Komplexität dieser Vorgänge erfährt dieses Modell zunehmendes Interesse im Forschungsbereich.

Nutzungsmodell

Im Nutzungsmodell werden die Absolutwerte und der Zeitverlauf der inneren Lasten, die Anlagenbetriebszeiten und die Soll-Vorgaben verarbeitet. Dabei kommen Simulationsmodelle für den Sonnenschutzbetrieb, das Lüftungsverhalten und den Betrieb der Beleuchtungsanlagen zum Einsatz. Die Modelle werden aus der allgemeinen Erfahrung, umfangreichen statistischen Untersuchungen in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und in Absprache mit dem Betreiber erstellt.

Anlagenmodell

Die Anlagenmodelle erfassen sowohl die Einzelkomponenten, wie z.B. Wärme- und Kälteerzeuger, Wärmeübertrager, Befeuchter, Pumpen und Ventilatoren, Rohr- und Kanalnetze als auch den Zusammenschluß dieser Komponenten einschließlich der Regel- und Steuerungseinrichtungen. Die Netzmodelle sind z.Z. bezüglich ihrer dynamischen Wirkung etwas unterentwickelt. Für eine hinreichend genaue Simulation ist man auf die technischen Angaben der Hersteller angewiesen. Zukünftig müssen hier mehr Angaben über das dynamische Verhalten der Komponenten gefordert werden. Die charakterisierenden Werte eines Anlagenbauteils sollten durch den Anwender vollständig verändert werden können. Bei einem amerikanischen Programm fanden sich z.B. fest installierte Konstanten für einen Kühler, der zudem in Europa überhaupt nicht erhältlich ist.

Bewertungsmodell

Die Ergebnisbewertung richtet sich nach der Aufgabenstellung der Simulation. Üblicherweise werden Aussagen über die thermische Behaglichkeit und den Energieverbrauch benötigt. Denkbar sind aber auch Modelle für den Einfluß der Anlagen auf die Arbeitsproduktivität oder auf Herstellungserzeugnisse.

Zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit hat sich als sinnvolle und verständliche Angabe der Prozentsatz der Unzufriedenen (PPD-Wert) herausgestellt. Für die

jeweiligen einflußnehmenden Größen (empfundene Temperatur, Strahlungsasymmetrie, Fußbodentemperatur usw.) wurden umfangreiche Befragungen vorgenommen und statistisch ausgewertet. Für einen bestimmten Raumzustand kann anhand der zu erwartenden Anzahl von Unzufriedenen die Behaglichkeit beurteilt werden (punktuelle Auswertung). Algorithmen hierzu finden sich zum Beispiel in DIN ISO 7730 [10]. Bei der Computersimulation werden dagegen für den Simulationszeitraum mehrere Raumzustände auftreten, welche unterschiedliche PPD-Werte hervorbringen. Bei der Auswertung der Häufigkeit entsteht regelmäßig die Fragestellung, wie oft ein bestimmter PPD-Wert überschritten werden darf. Diesbezügliche Empfehlungen sind in der Literatur nur unzureichend vorhanden.

Die vorstehenden Teilmodelle werden miteinander verbunden und ergeben zusammen das Gesamtmodell der Computersimulation.

Es erhebt sich die Frage nach der Gültigkeit und Konsistenz der einzelnen Modelle. Derzeit sind internationale Bestrebungen im Gange, einige Algorithmen für die Modelle in CEN-Normen festzulegen. Dies darf jedoch nicht die bisher erfolgreiche Weiterentwicklung hemmen. Eine andere Möglichkeit wird schon seit Jahren von der Internationalen Energieagentur (IEA) verfolgt. Im Rahmen öffentlich geförderter Projekte wurden schon mehrmals Vergleichsrechnungen verschiedener Simulationsprogramme auf internationaler Ebene durchgeführt. Die Algorithmen der deutschen Teilnehmer werden in der Regel ausführlich in der Fachliteratur und in Dissertationen dokumentiert. Hierin könnte ein Grund für die vergleichsweise geringen Ergebnisunterschiede bei den deutschen Programmen liegen. Im Hause des Verfassers wurde die Entwicklung eines Simulationskernsystems (SKS), ähnlich dem bereits genormten Graphischen Kernsystem (GKS) vorgeschlagen. Dabei liegt die Vorstellung zugrunde, durch eine übergreifende Gruppenarbeit frei zugängliche Module für die einzelnen Modelle zu erstellen.

Vorgehensweise

Bei der Durchführung einer Computersimulation werden einige Bearbeitungsabschnitte durchlaufen, welche ein hohes Maß an Fachqualifikation erfordern. In Anbetracht der hohen Rechenzeiten und des enormen Eingabeaufwandes ist ein sorgfältiges und

gezieltes Vorgehen geboten. Außerdem müssen trotz großer Mengen von Parametern realistische Ergebnisse gewährleistet sein. *Bach* und *Madjidi* [11] sprechen in diesem Zusammenhang sogar von einem speziell ausgebildeten Simulationsingenieur. Tatsächlich herrscht an den meisten Hochschulen immer noch das stationäre Denken vor. Die erforderlichen Kenntnisse werden besonders deutlich, wenn man die einzelnen Bearbeitungsschritte einer Computersimulation näher betrachtet.

Berechnungsziel der Simulation

Entsprechend dem Fortschreiten in den Planungsphasen muß auch die Simulation sukzessiv durchgeführt werden. Da der Eingabeaufwand mit zunehmendem Detaillierungsgrad ansteigt, muß zwischen den zur Verfügung stehenden Daten und der aktuell gewünschten Genauigkeit des Ergebnisses die erforderliche Erfassungstiefe abgewogen werden.

Objektbeschreibung

Gegenüber herkömmlichen Handrechenmethoden müssen bei einer Computersimulation weitaus mehr Daten zur Beschreibung des Gebäudes und der Anlage zur Verfügung gestellt werden. Da diese gewöhnlich nicht vollständig erhältlich sind, müssen sie teilweise aus der Erfahrung vorgegeben werden.

Zoneneinteilung

In der Regel wird nicht das ganze Gebäude simuliert, sondern nur charakteristische Simulationszonen. Bei der Auswahl der Zonen müssen physikalische Unterschiede und die Auswirkungen des zeitlichen Verlaufes der Eingangsgrößen beachtet werden.

Auswahl vorhandener und Entwicklung neuer Simulationsmodelle

Die Erfahrung bei der Anwendung der Computersimulation zeigt, daß durch die Vielfalt von Bau- und Anlagenkomponenten sowie der Regel- und Steuerungsstrategien immer wieder vorhandene Modelle angepaßt oder neue Modelle entwickelt werden müssen. Die neuen Modelle sind so zu gestalten, daß sie in das vorhandene Gesamtmodell integriert werden können. Unter Umständen ist hierzu die genaue Kenntnis über das angewendete numerische Lösungsverfahren erforderlich.

Durchführung der Simulationsrechnung

Aufgrund der vielen Parameter wird vor dem Start der eigentlichen Simulation zunächst die Durchführung einer Validierungsrechnung empfohlen. Hierzu werden Randbedingungen gewählt, welche einen Ergebnisvergleich mit anderen Methoden erlauben. So kann z.B. mit der Kühllastberechnung nach VDI 2078 oder mit Ergebnissen für den stationären Zustand verglichen werden. Anschließend erfolgt unter Auswahl geeigneter Witterungsbedingungen die Jahressimulation. Die Rechnung unter Auslegungsbedingungen vermittelt auch einen grundsätzlichen und überschaubaren Einblick in das Verhalten des Systems Gebäude-Anlage.

Sondierung und Beurteilung der Ergebnisse

Hier ist besonders ein umfangreicher Erfahrungsbestand gefragt. Zweifelhafte und unerwartete Ergebnisse bedürfen einer Erklärung bzw. zusätzlicher Kontrollrechnungen.

Optimierung der Systeme

Eingehende Sachkenntnisse verhelfen auch hier zu einem gezieltem Vorgehen. Aus den vielfältigen Möglichkeiten muß eine erfolgsträchtige Auswahl getroffen werden.

Sensitivitätsanalysen

Zur Absicherung der eigenen Aussagen und im Sinne der fehlertoleranten Systementwicklung muß der Schwankungseinfluß der wichtigsten Parameter untersucht werden.

Zukünftige Programmanforderungen

Um eine Planungsaufgabe durch den Einsatz einer Computersimulation zu bewerkstelligen, folgen aus den vorstehenden Ausführungen gewisse Anforderungen an die Funktion und Struktur des Simulationsprogrammes.

Hardware

Eine möglichst preiswerte, allgemein verfügbare und kompatible Hardware muß schon aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten gefordert werden. Da Simulationsprogramme sehr rechenintensiv sind, verdient die Geschwindigkeit der Hardware besondere Beachtung.

Modulare Programmierung

Die einzelnen Modelle sollten modular programmiert sein, damit sie bei Weiterentwicklungen oder Ergänzungen jederzeit unkompliziert ausgetauscht werden können. Die besten Voraussetzungen hierfür sind durch eine objektorientierte Programmiersprache gegeben, z.B. mit C++.

Bedienungsoberfläche

Aufgrund der enormen Anzahl von Eingabewerten muß eine komfortable Benutzeroberfläche Fehleingaben abfangen können. Die Vorgabe von Standardwerten, die Berechnung von Kennwerten und die Visualisierung der Daten tragen gleichfalls zu einem sicheren Ablauf bei.

Schnittstellen

Zur Reduzierung des Eingabeaufwandes ist eine CAD-Anbindung wünschenswert. Weiterhin sollte das Programm über standardisierte Schnittstellen, z.B. zur grafischen Auswertung der Ergebnisse oder zur Übernahme von Meßdaten, verfügen. Da einige Daten aus der Computersimulation auch für die Standardberechnungen, z.B. Rechnungen nach DIN 4701 oder VDI 2078 usw., benötigt werden, sollte eine Schnittstelle zu den entsprechenden Programmen vorhanden sein.

Zusammenfassend muß also eine „Softwarekonvergenz“ gefordert werden.

Zusammenfassung

Der wesentliche Unterschied der Computersimulation zu den herkömmlichen Berechnungsmethoden liegt in der detaillierteren mathematischen Beschreibung, in der Verknüpfung der Komponenten untereinander und in der Betrachtung des Betriebsverhaltens unter verschiedenen außenklimatischen Zeitverläufen. Die gängigen Normen in der TGA vernachlässigen diese Aspekte. Durch das Instrument Computersimulation erhält der planende Ingenieur genauere und abgesicherte Ergebnisse, welche erfahrungsgemäß zu niedrigeren Investitions- und Betriebskosten sowie zu einer definierten Funktionserfüllung führen. Die aufgeführten Einsatzmöglichkeiten sind sehr vielfältig und werden längst noch nicht voll ausgeschöpft. Dies hängt u.a. auch mit den hohen fachlichen Anforderungen

zusammen, die an die Benutzer gestellt werden. Wie sich schon oft gezeigt hat, bewährt sich eine nur auf Computersimulation spezialisierte Firmierung nicht. Erst die ständige Rückkopplung zur Planung, Bau und Betrieb der Anlagen bringt praxistaugliche Lösungen hervor.

Der Anspruch, behagliche Raumzustände mit minimalem Kostenaufwand zu erreichen, wird zukünftig den Einsatz der Computersimulation vorantreiben. Die öffentliche Hand tendiert z.Z. zu der Forderung, die Computersimulation zum regulären Bestandteil des Planungsprozesses zu erheben. Die Ingenieurausbildung, die Forschungstätigkeit und die Erstellung neuer Normen müssen diesem Sachverhalt Rechnung tragen.

Literatur

- [1] VDI 2078 : Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)
Entwurf November 1990
- [2] *Jahn, A. und Schmidt, M.:*
Computersimulation in der Gebäudetechnik
HLH 35 (1984), Nr. 7, S. 332-337
- [3] *Esdorn, H. und Schmidt, M.:*
Computersimulation in der Gebäudetechnik
TAB 4/88, S. 300-302
- [4] *Schmidt, M. und Häusler, P.:*
Energetische Aspekte der Regelung von RLT-Anlagen auf Sollwertfelder
Kongreßband XXII. Internationaler Kongreß für Technische Gebäudeausrüstung
1988 in Berlin
- [5] Verbundprojekt „Menschengerechte Raumklimatisierung durch Quelllüftung und Flächenkühlung“
BMFT Förderkennzeichen 01 HK 170 8, s. HLH 44 (1993), Nr. 9, S. 547
- [6] *Jahn, A.:*
Test-Referenzjahr. Eine Sammlung stündlicher Werte interessierender
Wetterelemente
HLH 28 (1977), Nr. 6, 7 und 8
- [7] Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der
Bundesrepublik Deutschland
BMFT Forschungsbericht (03E-5280-A) Energieforschung,

Projektleitung: o. Prof. Dr.-Ing. H. Esdorn, o. Prof. Dr. rer. nat. H. Fortak, Dr.-
Ing. A. Jahn

[8] *Wentzlaff, G.:*

Weiterentwicklung der Berechnungsverfahren für den Norm-Wärmebedarf und
den Jahreswärmeverbrauch von Heizanlagen

Diss. an der TU-Berlin, 1983

[9] *Jahn, A., Nadler, N. und Guo, J.:*

Neuausgabe der VDI-Kühllastregeln - VDI 2078/1993. Erläuterungen zum EDV-
Verfahren

Gesundheitsingenieur 114 (1993), H. 3, S. 117-126

[10] DIN ISO 7730 : Gemäßigtes Umgebungsklima

Entwurf Oktober 1987

[11] *Bach, H. und Madjidi, M. :*

Einsatzmöglichkeiten noch nicht ausgeschöpft

CCI 13 und 14/1992