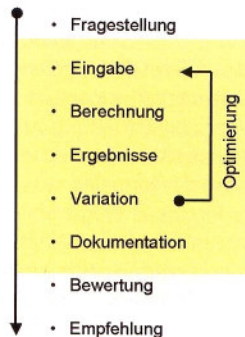


1



2

1 Oberfläche eines typischen Programms (Bsim) zur thermischen Gebäudesimulation
2 Vorgehensweise bei der thermischen Optimierung mittels Gebäudesimulation im Entwurfs- und Planungsprozess

Dynamische thermische Gebäudesimulation

Die gebührende Berücksichtigung energetischer Gesichtspunkte bei der Gebäudeplanung ist nicht erst seit der Einführung der Energieeinsparverordnung ein wesentliches Qualitätsmerkmal gelungener Architektur. Allerdings wird der EnEV – wie auch schon den zuvor verbindlichen Nachweisverfahren für den Wärmeschutz von Gebäuden – vorgeworfen, bestimmte bauphysikalisch relevante Aspekte völlig außer Acht zu lassen. Paradebeispiel hierfür ist die umstrittene Bedeutung solarer Wärmegewinne durch Einstrahlung auf massive Außenwände ohne zusätzliche Dämmung (welche diesen Gewinnen entgegenstehen würde). Ganz abgesehen davon kann der (theoretische) Primärenergiebedarf für Heizung und Brauchwassererwärmung ohnehin nicht alleiniges Kriterium für die thermischen Qualitäten eines Gebäudeentwurfs sein. Wärmegewinne, die während der Heizperiode willkommen sind, können im Sommer mehr als unerwünscht sein. Genauso von Interesse ist deshalb die thermische Behaglichkeit, oder, genauer gesagt, der technische (und damit auch finanzielle) Aufwand, der erforderlich ist, um die angestrebte thermische Behaglichkeit zu gewährleisten. Damit ein Gebäudeentwurf in dieser Hinsicht beurteilt werden kann, bedarf es Software zur dynamischen thermischen Simulation. Diese bildet die komplexen Zusammenhänge in einem physikalischen Modell ab und bezieht damit den Einfluss der Wärmespeicherung von Bauteilen ebenso ein wie beispielsweise die Verschattung oder

Wärmelasten aus künstlicher Beleuchtung. Erst dadurch ist es möglich, die zu erwartenden thermischen Zustände innerhalb eines Gebäudes, Raumes oder einzelnen Bauteils über den Jahres- und Tagesverlauf hinreichend genau vorauszusagen. Zwar kann die thermische Simulation auch im fortgeschrittenen Planungsstadium noch nützliche Erkenntnisse liefern, dabei eventuell erkannte Probleme, wie eine zu große Überhitzungshäufigkeit, lassen sich dann aber oft nur noch relativ aufwändig mit Hilfe der technischen Gebäudeausrüstung beheben. Es ist deshalb zweifellos von Vorteil, das Hilfsmittel der thermische Simulation schon frühzeitig in den Planungsprozess mit einzubinden. So können die Aspekte der Energieeffizienz und des thermischen Komforts bereits in die Bewertung von verschiedenen Entwurfsalternativen einfließen. Hinzu kommt die Möglichkeit, den Entwurf hinsichtlich des thermischen Verhaltens gezielt zu optimieren.

Grundlage der thermischen Simulation ist ein digitales Modell des Gebäudes, das Geometrie und bauphysikalische Eigenschaften aller relevanten Bauteile möglichst exakt beschreibt. Als wesentlicher Unterschied zu den statischen Nachweisverfahren, spielen bei der dynamischen Simulation auch die wärmespeichernden Eigenschaften der Materialien eine maßgebliche Rolle. Denn nur wenn diese Werte bekannt sind, kann der aus Aufheiz- und Abkühlvorgängen resultierende Temperaturverlauf (üblicherweise stündlich) über die Zeitachse ermittelt werden. Ergänzt wird dieses Modell durch Randbedingungen wie Wärme-/Kühl-

lasten, haustechnische Anlagen, zeitliche Nutzungsprofile und Wetterdaten. Auf Basis dieser Eingaben kann die Simulationsberechnung Antworten auf eine ganze Reihe von Fragestellungen geben. Dazu gehören die bereits erwähnte Frage zur Überhitzungshäufigkeit, aber auch solche zum Heizwärmebedarf, zu Wärmegewinnen und -verlusten, zum Luftwechsel oder zum Kondensationsrisiko des untersuchten Gebäudeentwurfs. Ebenso können die per Simulation ermittelten Werte als Basis für die Auslegung der haustechnischen Anlagen dienen.

Trotz der bisher angeführten Vorteile stellt sich dem Planer beziehungsweise seinem Auftraggeber sicher zunächst einmal die Frage nach dem Kosten/Nutzen-Verhältnis der thermische Simulation. Generell gilt hier: Je größer und komplexer ein Gebäude ist, umso wirtschaftlicher ist der Einsatz der Gebäudesimulation im Entwurfs- und Planungsprozess. Denn mit zunehmender Größe des zu planenden Bauwerks wächst in der Regel auch die Komplexität des thermischen Gebäudeverhaltens und gleichzeitig das Einsparpotenzial für Optimierungen. Für ein Standard-Einfamilienhaus lohnt sich eine thermische Gebäudesimulation also kaum, da keine ungewöhnlichen Ergebnisse zu erwarten sind. Hier reicht es im Allgemeinen völlig aus, auf Erfahrungswerte oder Untersuchungsergebnisse zurückzugreifen. Ist der Gebäudeentwurf allerdings besonders ausgefallen, können die Ergebnisse einer Gebäudesimulation durchaus sehr interessant sein. Für Arbeitsstätten wie Bürohochhäuser oder Firmenzentralen empfiehlt

sich die Verwendung der thermischen Gebäudesimulation aus ökonomischen Gründen ebenso wie für Produktionsanlagen, wo bei niedrigen Betriebskosten des Gebäudes ein hoher thermischer Komfort für die Arbeitskräfte gefordert ist. Und bei Gebäuden mit besonderen Anforderungen an das thermische Raumklima wie etwa bei Museen sollte schon aus Gründen der Planungssicherheit auf eine Simulation nicht verzichtet werden. Dasselbe gilt für Entwürfe, bei denen aufgrund eines hohen Glasflächenanteils an der Gebäudehülle Überhitzungsprobleme nicht ausgeschlossen werden können.

Die zweite interessante Frage ist die nach der Verlässlichkeit der von der Simulationssoftware gelieferten Ergebnisse. Dass es illusorisch ist, eine hundertprozentige Übereinstimmung zwischen Simulation und den tatsächlichen Verhältnissen im realisierten Objekt zu erwarten, dürfte jedem klar sein. Schon deshalb, weil die Programme mit einem physikalischen Modell arbeiten, das aber – wie die Bezeichnung »Modell« schon ausdrückt – zwangsläufig gewisse Vereinfachungen enthält. Die daraus resultierenden Ungenauigkeiten sollten sich bei ausgereiften Simulationsprogrammen jedoch in relativ engen Grenzen halten.

Gleiches gilt für den Einfluss der Unterschiede zwischen den realen Materialeigenschaften und den unter standardisierten Bedingungen ermittelten Kenngrößen wie etwa der Wärmeleitfähigkeit. Ursache für unter Umständen deutliche Abweichungen zwischen Simulation und gebauter Wirklichkeit sind in der Praxis deshalb meist nicht korrekt quantifizierte oder völlig unberücksichtigte Randbedingungen. Offensichtlich ist dies bei den in die Berechnung einfließenden Klimadaten. Denn selbst wenn diese für den Ort des geplanten Gebäudes vorliegen, können am konkreten Standort aufgrund des dort herrschenden Makroklimas doch merkliche Abweichungen auftreten. Ganz abgesehen davon, dass sich das Wetter zunehmend nicht mehr an die langjährigen Mittelwerte hält.

Eine aussagekräftige Simulation setzt beim »Simulanten« deshalb eine gewisse Fachkompetenz voraus. Er muss beurteilen können, welche Randbedingungen relevant sind, und ob es eventuell im Sinne eines realistischeren Ergebnisses besser ist, bestimmte Parameter abweichend von den üblichen Standardwerten zu setzen. Unter Umständen ist es auch sinnvoll, Szenarien

mit denkbar ungünstigen Randbedingungen durchzuspielen. Zum einen, um mit den Ergebnissen auf jeden Fall auf der sicheren Seite zu liegen. Zum andern, um sicherzustellen, dass das thermische Verhalten des geplanten Gebäudes auch dann keine Probleme bereitet, wenn sich seine Nutzung eventuell eines Tages ändert.

Eine dritte nahe liegende Frage lautet: Ist die thermische Gebäudesimulation eine Leistung, die der Architekt selbst anbieten kann beziehungsweise sogar sollte? Diese lässt sich mit »Im Prinzip ja« beantworten. In die Architektenausbildung wurde die integrale Gebäudeanalyse und damit auch die thermische Gebäudesimulation mittlerweile aufgenommen. So bietet beispielsweise die Technische Universität Braunschweig seit geraumer Zeit schon Seminare zum Thema Gebäudesimulation an. Und auch verschiedene Hersteller beziehungsweise Vertrieber entsprechender Software zählen die Architekten mit zu ihrer Zielgruppe.

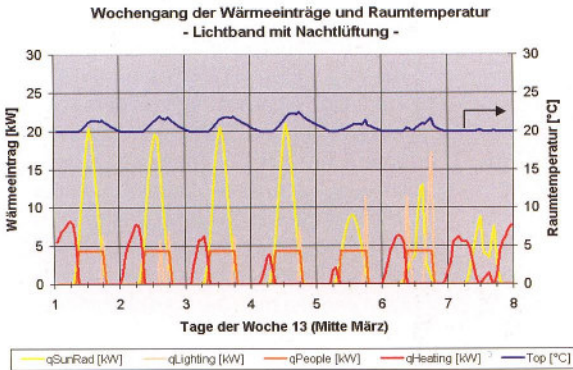
Allerdings muss auch klar gesagt werden, dass die thermische Gebäudesimulation keine Aufgabe ist, die man »mal so nebenbei« erledigt. Einarbeitung ins Thema allgemein und in eine Software im Besonderen erfordern ihre Zeit. Zur Themeneinarbeitung sollte jeder Planer aber ohnehin zumindest bis zu einem gewissen Grad bereit sein, wenn er seiner Rolle als Berater des Bauherrn und Koordinator des Projektablaufs gerecht werden möchte. Die Durchführung der Simulationen im eigenen Büro ist zwar im Hinblick auf eine möglichst rasche und reibungslose interdisziplinäre Projektbearbeitung zweifellos von großem Vorteil, die Rentabilität ist jedoch erst ab einer »kritischen Masse« an zu untersuchenden und zu optimierenden Projekten gegeben. Unter Umständen könnte es deshalb auch eine Überlegung wert sein, sich mit der thermischen Gebäudesimulation ein zusätzliches Betätigungsfeld zu erschließen und diese als Dienstleistung für Kollegen anzubieten.

VIESMANN
more than heat

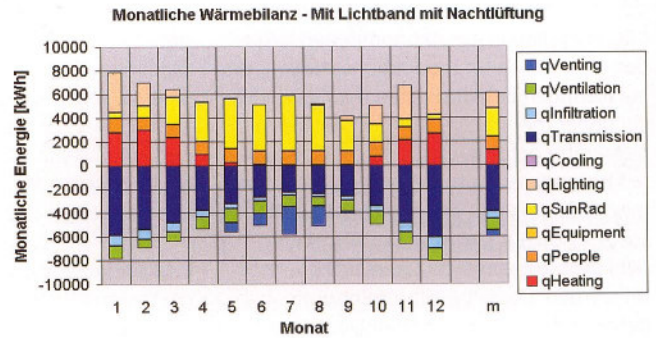


Solarhaus "Heliotrop"
Architekt: Rolf Disch
1994 / Freiburg
Heizsystem mit
Sonnenkollektoren
von Viessmann

weitere Informationen:
www.architec24.de



5



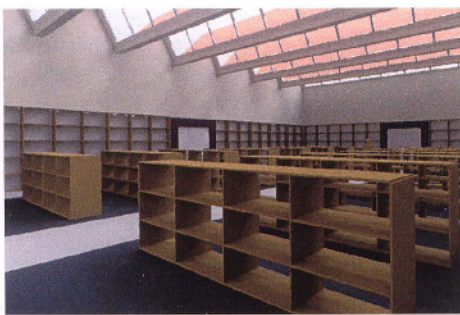
6

Egal, ob man als Architekt selbst thermische Simulationen anbieten will oder diese Aufgabe an ein kompetentes Ingenieurbüro überträgt: Gewisse Kenntnisse darüber, was von darauf spezialisierter Software zu erwarten ist, können keinesfalls schaden. Nicht zuletzt deshalb, weil die verfügbaren Programme – neben den damit verbundenen Hardwareanforderungen – bis vor wenigen Jahren einen entscheidenden Hinderungsgrund für die Durchführung von thermischer Gebäudesimulationen in kleineren bis mittleren Architektur- und Ingenieurbüros darstellten. Und dies keineswegs aufgrund mangelnder Funktionalität der Software. Abschreckend war – und ist zum Teil immer noch – die wenig komfortable Bedie-

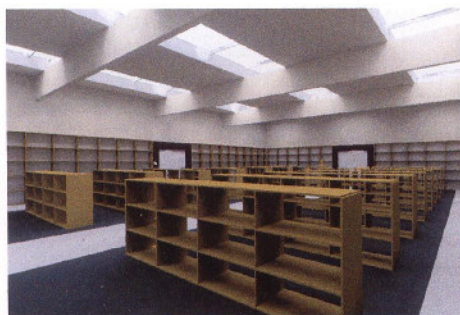
nung. So sind beispielsweise nach wie vor leistungsfähige Programme (sogar kostenlos) erhältlich, deren Ein- und Ausgabe in Form von Textdateien jedoch einer effizienten kommerziellen Nutzung im Weg steht. Dies darf insofern nicht verwundern, als dass die Simulationsprogramme anfänglich vorwiegend an und für Forschungseinrichtungen und Hochschulen entwickelt wurden, deren Rechenzentren damals über die für komplexe Simulationen erforderliche Hardwareausstattung verfügten. Erst seitdem auch preisgünstige PC-Systeme die nötige Rechenleistung bieten und sich damit die Zahl der potenziellen zahlenden Anwender vervielfacht hat, lohnt der zusätzliche Entwicklungsaufwand für »narrensichere« Benutzerschnittstellen. Etwa, um relativ komfortable Möglichkeiten beim Erstellen der der Simulation zugrunde liegenden Gebäudegeometrie zu bieten. Hier ist leider eine grafische 3D-Eingabe (oder zumindest 3D-Darstellung zur Kontrolle) noch keineswegs als selbstverständlich vorauszusetzen. Allerdings ist eine Übernahme von meist ohnehin vorhandenen CAD-Daten einer kompletten Neuerfassung zweifellos vorzuziehen. Viele, aber nicht alle Simulationsprogramme können zu diesem Zweck DXF-Zeichnungsdaten einlesen. Eine Möglichkeit zur grafischen Nachbearbeitung der Geometrie sollte dennoch vorhanden sein. Sei es, um gegebenenfalls aus 2D-Zeichnungen zu einem simulationstauglichen 3D-Modell zu gelangen, oder zur schnellen Variantenbildung. Eine mehr oder minder aufwändige Nachbearbeitung der importierten DXF- oder auch DWG-Dateien ist jedoch grundsätzlich erforderlich, da diese lediglich Geometrie-, nicht aber Bauteil- und Rauminformationen enthalten. Deutliche Rationalisierungseffekte verspricht die Datenübergabe im IFC-Format.

Da sich diese »intelligente« Schnittstelle in Skandinavien einer weitaus höherer Akzeptanz erfreut als hier zu Lande, erstaunt es wenig, dass das derzeit einzige von der »Industry Alliance for Interoperability« (IAI) – dem Gremium, das die Weiterentwicklung der IFC-Schnittstelle koordiniert – zertifizierte Programm zur thermischen Simulation aus Finnland stammt (RIUSKA von Granlund). Im Sinne einer vereinfachten interdisziplinären Datennutzung wäre es wünschenswert, wenn auch andere Hersteller diesem Beispiel folgen würden. Verschiedene, an deutschen Hochschulen laufende oder inzwischen abgeschlossene Projekte zur Übernahme digitaler Bauwerksmodelle in die Simulation via IFC geben aber Anlass zur Hoffnung.

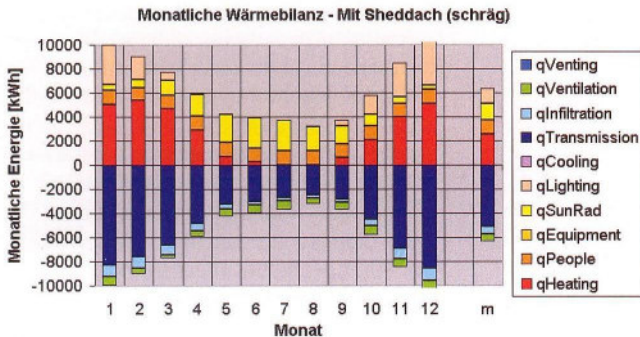
Je nach Fragestellung und Entwurfskonzept kann es unter Umständen aber auch gar nicht erforderlich sein, das Gebäude im Ganzen in der Simulationssoftware nachzubilden. Beispielsweise kann es ausreichen, sich bei der Untersuchung der Überhitzungshäufigkeit auf einen typischen Raum an der Südfassade zu beschränken, weil sich alle anderen Räume in thermischer Hinsicht gleich oder unproblematischer verhalten. In einem solchen Fall genügt es, wenn die verwendete Software lediglich mit einem Einzonenmodell arbeitet. Das heißt, die Simulation bezieht sich nur auf einen Raum beziehungsweise eine Gruppe von Räumen mit identischen Randbedingungen. Wesentlich universeller verwendbar sind jedoch Programme, die mit einem Mehrzonenmodell arbeiten. Denn schon bei wenig komplexen Projekten kann es für ein aussagekräftiges Simulationsergebnis relevant sein, differenzierte Randbedingungen und die gegenseitige, dynamische Beeinflussung unterschiedlicher Gebäudezonen zu berücksichtigen.



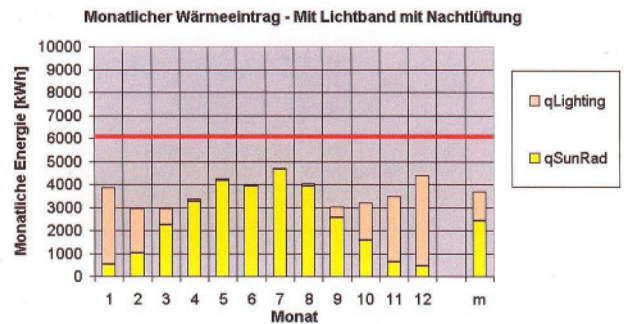
3



4



7



8

Projektbeispiel:

3,4 Für einen Verkaufsraum werden verschiedene Varianten (Sheddach und Lichtband) der natürlichen Beleuchtung hinsichtlich ihres thermischen Verhaltens untersucht (hier Renderings aus der Lichtsimulation mit Rayfront)

5 Variante Lichtband mit Nachtlüftung: Stündlicher Verlauf der Wärmeeinträge durch solare Einstrahlung (SunRad), künstliche Beleuchtung (Lighting), Personen (People) und Heizung (Heating) sowie der resultierenden Raumtemperatur (Top)

6,7 Monatliche Wärmebilanzen der beiden Varianten. Die Variante mit Lichtband weist aufgrund höherer solarer Einstrahlung einen deutlich geringeren Heizenergiebedarf auf. Allerdings ist deshalb auch mit einer höheren Überhitzungshäufigkeit zu rechnen (siehe Bild 9)

8 Variante mit Lichtbändern: Das Diagramm der monatlichen Wärmelast zeigt, dass diese bei Beleuchtung mit Tageslicht gegenüber der Referenz (rote Linie, ausschließlich künstliche Beleuchtung mit dem vom Bauherrn gewünschten System) deutlich geringer ausfällt

Ein weiterer, nicht zu vernachlässigender Aspekt bei der Auswahl geeigneter Software ist, inwieweit sich das Verhalten haustechnischer Geräte und Anlagen in der Simulation abbilden lässt. Vor allem, wenn mit »intelligenter« Haustechnik geplant wird, die nicht einfach zeitgesteuert arbeitet, sondern auch auf variable Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Helligkeit oder Sonneneinstrahlung reagiert. Ein Beispiel hierfür wäre die Tageslicht abhängige Regelung der künstlichen Beleuchtung (siehe Erläuterungen zu den Abbildungen).

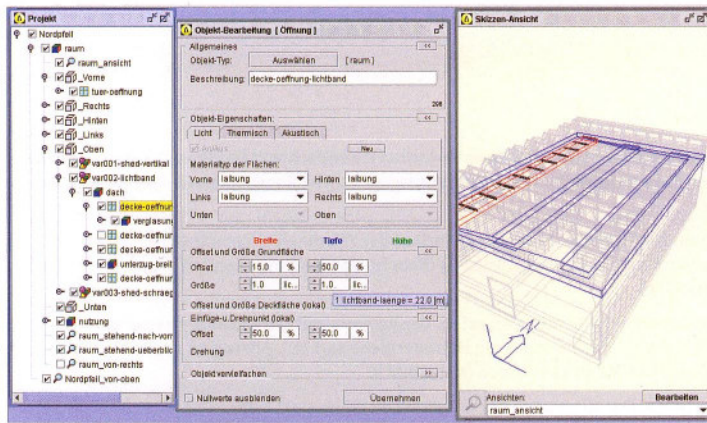
Nicht zuletzt sollte auch auf die Möglichkeiten zur Dokumentation der bei der thermischen Simulation verwendeten Software geachtet werden. So mag es zwar vielleicht des Öfteren angebracht sein, eine Menge bedrucktes Papier mit praktisch kaum nachvollziehbaren Berechnungsergebnissen zu produzieren, um dem Bauherrn zu verdeutlichen, welcher Aufwand hinter der (hoffentlich als besondere Leistung nach HOAI vereinbarten) thermischen Simulation steckt. Besser ist es aber zweifellos, wenn das Programm auch schnell tabellarische Übersichten der verschiedenen Varianten liefern kann. Und dies, ohne dass zuvor sämtliche Parameterwerte und Simulationsergebnisse mühsam manuell erfasst werden müssen. Im Idealfall lassen sich die Randbedingungen jeder untersuchten Variante praktisch »auf Knopfdruck« wieder abrufen, um beispielsweise auf Basis der bislang besten Lösung weitere Möglichkeiten zur Optimierungen auszuloten. Dass sich übersichtliche Tabellen und besser noch anschauliche Grafiken weit mehr als endlose Zahlenkolonnen dazu eignen, dem Bauherrn die Konsequenzen planerischer Entscheidungen zu verdeutlichen und ihn von den Vorteilen einer bestimmten Lösung zu überzeugen, versteht sich von selbst.

VIESMANN
more than heat

Porsche Werk Leipzig
 Architekt: gmp Gerkan, Mark & Partner
 2001 - 2002
 Heizsystem: 3x Vitoplex / 1x Vitodens 200
 von Viessmann
 weitere Informationen:
www.architec24.de

Überhitzungshäufigkeit der Raumtemperatur während der Betriebszeit								
Variation	Außenklima		Ohne Oberlicht mit Nachtlüftung		Lichtband mit Nachtlüftung		Shed (schräg)	
	[%]	[h]	[%]	[h]	[%]	[h]	[%]	[h]
Maximalwert	33,6°C		33,4°C		30,4°C		28,6°C	
> 30 °C	1%	31	3,6%	114	0,3%	10		
> 28 °C	2%	63	9,6%	301	3,1%	98		
> 26 °C	4%	125	26,6%	833	8,7%	272	4,1%	128

9



10

Zusammengefasst lässt sich sagen: Die dynamische thermische Simulation kann viel zur Gebäudeoptimierung beitragen und vor allem bei unkonventionelleren Gebäudekonzepten helfen, eventuelle Planungsfehler rechtzeitig zu erkennen. Auch lassen sich mit den auf einem physikalischen Modell basierenden Programmen Fragen klären, die ansonsten nur aus dem Bauch heraus oder gar aufgrund bloßer »baudeologischer« Vorurteile beantwortet werden. Allerdings ist zu beachten, dass die thermische Gebäudesimulation einen geschulten Anwender verlangt. Wer eine Gebäudesimulation durchführt, muss im Idealfall – paradoxerweise – vorher schon wissen, welche Ergebnisse zu erwarten sind. Andernfalls kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein Simulationsmodell mit sinnvollen Eingaben belegt wurde oder die Simulationsergebnisse richtig interpretiert werden. Ein Simulationsprogramm, das dem Planer die Planung abnimmt, gibt es (noch) nicht. Dass der Stand der verfügbaren Programme hinsichtlich der Bedienerfreundlichkeit verglichen mit anderen Sparten der Bausoftware noch einigen Nachholbedarf aufweist, ist kaum in Abrede zu stellen. Die Effizienz ließe sich vor allem bei der Modellerstellung wesentlich steigern, wenn CAD-Daten aus der Planung des Architekten ohne aufwändige manuelle Nachbearbeitung als Grundlage dienen könnten. In diesem Punkt darf der Simulationssoftware jedoch nicht allein die Schuld zugeschoben werden. Dass der Datenaustausch in Form von Gebäudemodellen (IFC-Format) noch nicht Standard ist, liegt auch daran, dass dafür eine durchgängige Unterstützung durch die CAD-Hersteller noch nicht gegeben ist. Diese können den Schwarzen Peter wiederum an die Anwender unter den Architekten weiterreichen, die in der Mehrzahl immer noch rein planorientiert arbeiten und die Vorteile »intelligenter« Bauteile und digitaler Gebäudemodelle kaum nutzen. *A. L., jr*

- Informationen zu einigen gängigen Programmen zur dynamischen thermischen Simulation:
- www.alware.de
 - www.bsimsim.dk
 - www.delzer.de
 - www.dezentral.de
 - www.edsl.net
 - www.eere.energy.gov/buildings/energyplus
 - www.equa.se
 - www.granlund.fi
 - www.mh-software.de
 - www.transsolar.de

VIESMANN

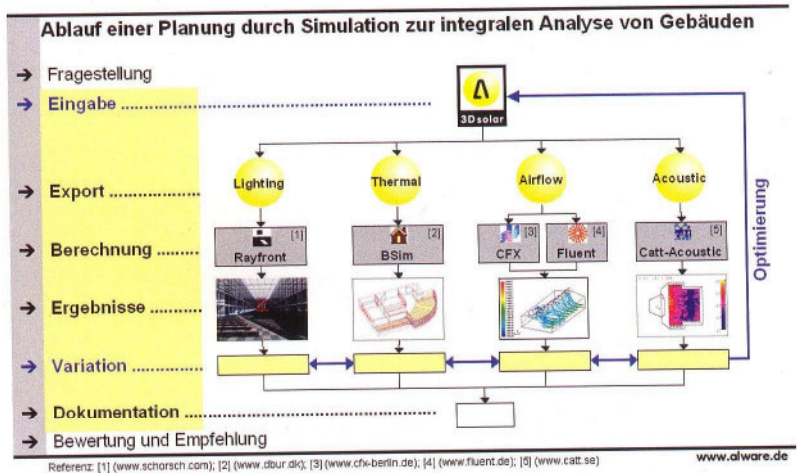
more than heat

B. Braun Melsungen AG
 Architekt:
 Michael Wilfort & Partner mit Walter Nägeli
 1988 - 2003
 Heizsystem: 2x Vitomax 200
 von Viessmann
 weitere Informationen:
 www.architec24.de

9 Projektbeispiel: Tabellarischer Vergleich der Überhitzungshäufigkeit für drei untersuchte Varianten

10 Benutzeroberfläche eines Programms (3Dsolar von ALware) zur Eingabe von Simulationsmodellen

11 Der Aufwand für den Aufbau eines Simulationsmodells lohnt sich besonders, wenn dieses nicht nur für die thermische, sondern auch für die Licht-, Strömungs- und Akustiksimulation verwendet werden kann



KEEP COOL.

STEINSTARKER HITZESCHUTZ

In Häusern aus Kalksandstein fühlen Sie sich wohl.

Und jetzt:
BARACKE ADE.

Mehr vom Original:
Kostenlose Hotline **0800/700 20 70**
www.kalksandstein.de/hitzeschutz



Der Kalksandstein
KS
DAS ORIGINAL

Autoren

Luger & Maul
siehe db 12/04

Klaus-Dieter Weiß
siehe db 12/04
(Seite 33)

Harald Stahr
1955 in Leipzig geboren. 1982 Diplom Informationstechnik an der TU Ilmenau. 1982–90 Hard- und Softwareentwicklung für Industrieroboter und Maschinen-Steuerungen. 1990 Umschulung »Energieeffizienz beim Hochbau« und Gründung des IB Naumann & Stahr. Dozententätigkeit zu Energieeffizienzthemen und Passivbauweise. (Seite 38)



Ursula Eicker
1963 geboren. 1982–86 Physikstudium in Mainz und Berlin. 1986–89 Heriot Watt University Edinburgh; Promotion. 1989–91 bei Solems Phototronics, Paris. 1991–93 Zentrum für Sonnenenergie, Stuttgart. Seit 1993 Professur an der HFT Stuttgart. Seit 2000 Leitung des Egle-Instituts für angewandte Forschung der HFT. Seit 2002 Leitung des Forschungszentrums Nachhaltige Energietechnik zafh.net. (Seite 40)



Markus Gohm
1955 in Feldkirch, Vorarlberg, geboren. 1976–84 Architekturstudium an der TU Innsbruck. 1985–90 in verschiedenen Architekturbüros tätig. 1994–96 Mitglied des Gestaltungsbeirates in Bludenz. Seit 1997 Dozent für Entwurf an der Fachhochschule Vaduz, Liechtenstein.



Ulf Hiessberger
1958 in Linz, Oberösterreich, geboren. 1979–86 Architekturstudium an der TU Innsbruck; 1986 Internationale Sommerakademie, Salzburg. 1987–90 in verschiedenen Architekturbüros tätig. 1994–97 Mitglied des Gestaltungsbeirates in Göfis, Vorarlberg.

Seit 1991 gemeinsames Büro in Feldkirch. (Seite 44)

Pfeifer Roser Kuhn
Siehe db 3/05



Werner Jacob
1943 in Schleiz/Thüringen geboren. Lehre als Polsterer und Dekorateur. 1960 DDR-Flucht; Studium der Geschichte, Germanistik, Psychologie; Lehrer. Zweitsudium Geschichte, Anglistik, Keltologie. Seit 1987 Publizist. (Seite 52)



Ulf Meyer
1970 geboren. Studium der Architektur an der TU Berlin und am IIT in Chicago. 2001/02 Mitarbeit im Büro Shigeru Ban in Tokio. 2004 Gastredakteur beim San Francisco Chronicle (Stipendiat des Arthur-F.-Burns-Fellowships). Seit 1996 freier Autor und Mitarbeiter verschiedener Fachzeitschriften und Tageszeitungen im Bereich Architektur. (Seite 60)



Gerhard Hausladen
1947 geboren. Studium Maschinenbau. Seit 1986 Ingenieurbüro für Haustechnik, Bauphysik und Energietechnik in Kirchheim bei München. 1992–2001 Professor für Technische Gebäudeausrüstung an der Universität Kassel. 1998 Gründer des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen in Kassel. Seit 2001 Ordinarius des Lehrstuhls für Bauklimatik und Haustechnik an der TU München.



Michael de Saldanha
1966 geboren. Studium Architektur. Seit 1997 Mitarbeit im Ingenieurbüro Hausladen, 1998 Gründungsmitglied des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen in Kassel, 1998–2001 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Kassel, seit 2002 Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik an der TU München.



Petra Liedl
1976 geboren. Studium Architektur. Freie Mitarbeit in verschiedenen Architekturbüros. Seit 2002 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik an der TU München. (Seite 31, Seite 72)



Christian Fischer
1951 geboren. Diplom Architektur Universität Stuttgart 1976, Promotion über die Planung energiesparender Gebäude RWTH Aachen 1992, seit 1980 als Bauphysiker (Wärme, Feuchte, Schallschutz, Akustik) beratend tätig, seit 1998 Niederlassungsleitung des DS-Plan Instituts für Bauphysik in Mülheim an der Ruhr, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schallschutz. (Seite 67)



Klaus Lambrecht
1965 geboren. Studium Physik und Volkswirtschaft in Freiburg, Edinburgh und München. Inhaber der Econsult in Rottenburg; berät zu Gebäudeenergiekonzepten für Industrie, Verwaltung und Wohnungsbau, Mitglied mehrerer Fachgremien und langjähriger Dozent der Architekten- und Ingenieurkammern sowie des Baukosteninformationszentrums. Seit 2001 Lehrauftrag für Energieeffizientes Bauen, Universität Stuttgart. (Seite 76)



Annette Bögle
1968 geboren. 1988–1994 Studium Bauingenieurwesen, Universität Stuttgart, 1994–95 Ingenieurin bei Boll und Partner, Stuttgart, 1995–2001 wissenschaftliche Mitarbeiterin, Institut für Konstruktion und Entwurf II, Uni Stuttgart, 1997–2004 Lehrauftrag für Baukonstruktion an der Staatlichen Akademie der Künste, Stuttgart. 2001–2004 Kuratorin der Ausstellung »leicht weit – Light Structures«, DAM Frankfurt, 2004 Promotion »Zur Morphologie komplexer Formen im Bauwesen«. Seit 2004 wissenschaftliche Assistentin, Fachgebiet Massivbau, TU Berlin (Seite 80)



Andreas Lahme
1965 geboren. 1986–91 Studium Physik. 1992–95 Ingenieurbüro Kaiserbautechnik in Duisburg. 1995–97 F+E-Projekt, Heizsysteme für NEH' an der FH Köln. 1997–2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter TU Braunschweig, Fachbereich Architektur. Seit 2001 Geschäftsführer von ALWare in Braunschweig. (Seite 84)

Christoph Randl
1955 geboren. 1987 Diplom an der TU Berlin. 1987–93 Mitarbeit in mehreren Architekturbüros. 1993–2002 Geschäftsführer Architektur und Technik der Bayerischen Architektenkammer. Seit 2002 freier Architekt und Publizist in München. (Seite 3, Seite 103)

Bildnachweis

S. 3–8: (alle Pläne): gmp.Aachen
S. 3, 4: (links): KSS, Köln; (Mitte und rechts): Lauber Luftbild, Köln
S. 5: Heiner Leiska, Köln
S. 7: Jürgen Schmidt, Aachen
S. 8: (beide): Heiner Leiska, Köln
S. 10: (links, von oben): Lukas Schaller, Wien; Manuel Cuadra, Frankfurt; Max Spichal; (rechts, von oben): Walter Ebenhofer, Steyr; Bruno Klomfar, Wien
S. 11: (oben): Ruedi Walti, Basel; (Mitte): aus: Peter Rice, An Engineer Imagines, Silvia Rice (Hrsg.), Artemis, London, 1994; (unten): Klaus Lambrecht, Rottenburg
S. 12, 13: (von links): Gerard Greene u. Simon Woodroffe, London; Martin Zentner, Stuttgart; Courtesy Comune di Roma; Sergej Ageev, Moskau; Hafen Safari, Hamburg
S. 14: Skidmore, Owings & Merrill LLP, New York
S. 16: Ruedi Walti, Basel
S. 18: (von Links) Ingrid Ostermann, Hannover; HLT, Kopenhagen / Adam Mork; Casa da Música, Porto
S. 20: (von links): Markus Bredt, Berlin; RIBA Library Photographs Collection, London; Ausstellungskatalog, Museum für Kunst und Gewerbe, Hamburg
S. 24, 25: (oben): aut. architektur und tirol, Innsbruck; (alle übrigen): Lukas Schaller, Wien
S. 26: Manuel Cuadra, Frankfurt
S. 31, 32: (1, 4): Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München; (2, 3) Lothar Sprenger, Dresden
S. 33: Walter Ebenhofer, Steyr
S. 34–37: (1–4): Walter Ebenhofer, Steyr; (5–7): Klaus-Dieter Weiß, Minden
S. 38, 39: (alle): Naumann & Stahr, Leipzig
S. 40–43: (Plan): Stadt Ostfildern; (1, 2, 6): Ursula Eicker, Stuttgart; (3–5, 7): Valentin Wormbs, Stuttgart
S. 44–50: (alle): Bruno Klomfar, Wien
S. 52: (alle): Pfeifer Roser Kuhn, Freiburg
S. 55: Ruedi Walti, Basel
S. 56–59: (1, 4–8): Ruedi Walti, Basel; (2, 3): Pfeifer Roser Kuhn, Freiburg
S. 60–64: (1, 3): Landesarchiv Berlin, Edmund Kasperski; (2, 4, 5, 7, 8): Gerhard Ullmann, Berlin; (6): Ulf Meyer, Berlin
S. 67–71: (1, Photonik Zentrum, Berlin, Sauerbruch Hutton Architekten, Berlin); Bitter Bredt Fotografie, Berlin; (2–5): Christian Fischer, DS-Plan, Mülheim an der Ruhr
S. 72–75: Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
S. 76–79: Klaus Lambrecht, Rottenburg
S. 80–83: (1, 2, 5, 7) aus: Peter Rice, An Engineer Imagines, Silvia Rice (Hrsg.), Artemis, London, 1994; (3): Annette Bögle, Berlin; (4, 6) aus: Konstruktion und Raum in der Architektur des 20. Jahrhunderts – Exemplarisch, Winfried Nerdinger (Hrsg.), Prestel Verlag, München mit TU München, 2004
S. 101: Klaus Frahm, Börsen
S. 103: (Plan): Herzog & de Meuron, Basel
S. 104, 105, 108: (Fotos): Allianz Arena München Stadion GmbH, München
S. 106–108: (Pläne): Sailer Stepan Partner, München