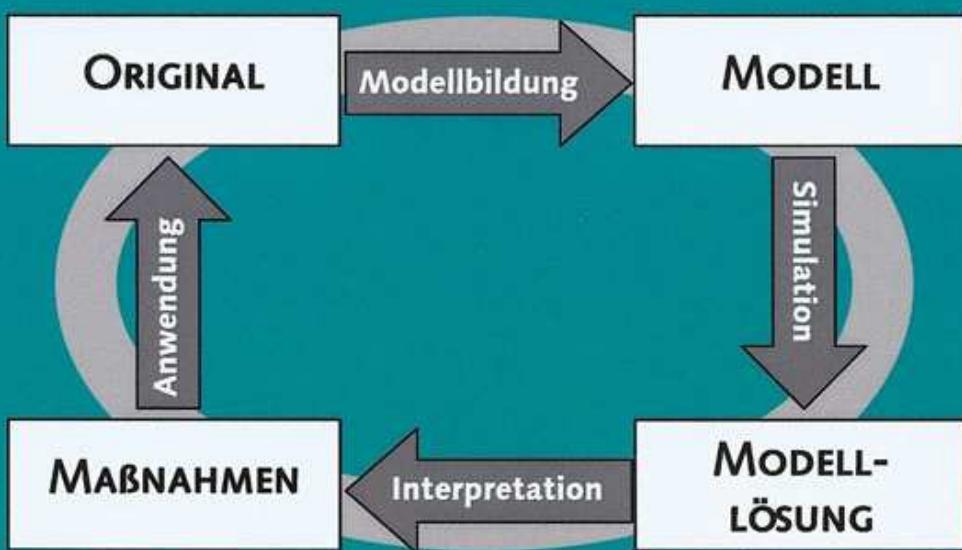


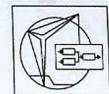
# TAG DES BAUBETRIEBS 2010

## TAGUNGSBEITRÄGE

MODELLIERUNG VON PROZESSEN  
ZUR FERTIGUNG VON UNIKATEN

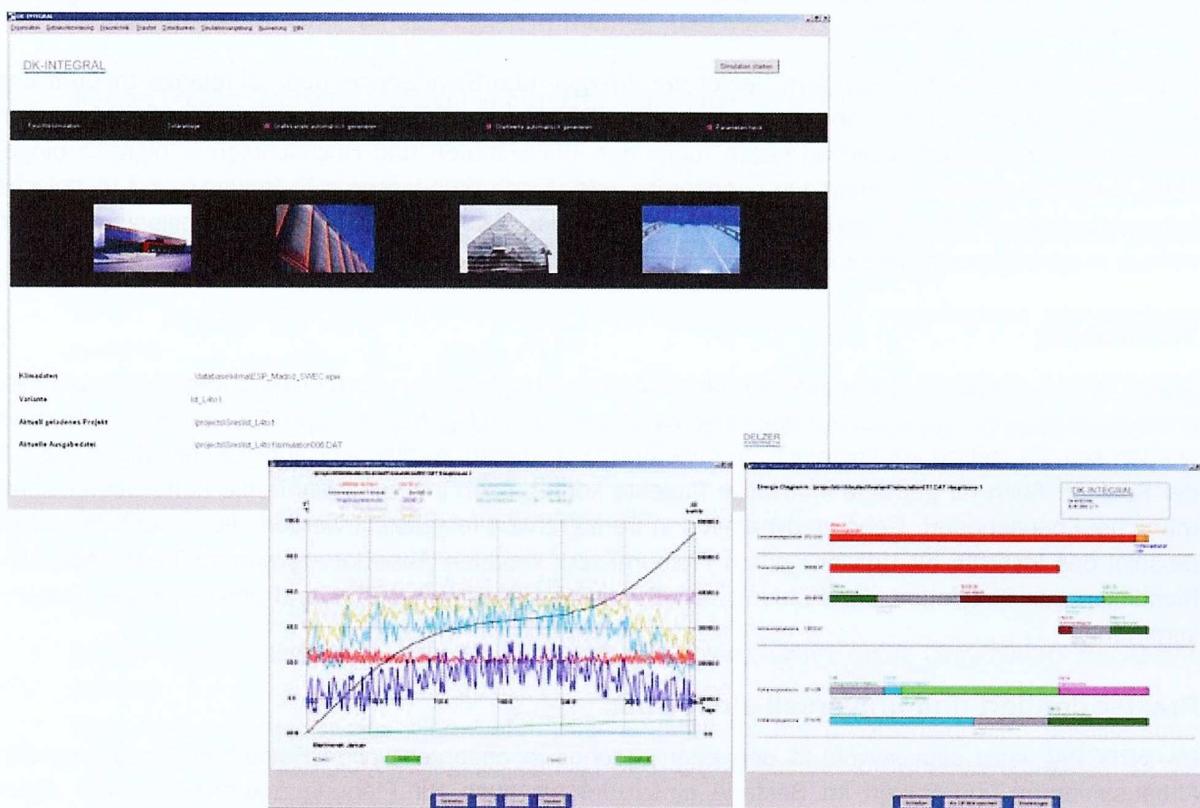
FORSCHUNGSWORKSHOP  
ZUR SIMULATION  
VON BAUPROZESSEN





## **DK-INTEGRAL – Simulationssoftware für energieeffiziente Unikate**

DK-INTEGRAL ist ein dynamisches Simulationswerkzeug zur Entwicklung energieeffizienter Unikate in den Bereichen Architektur, Materialien und Prozesse. Bereits vor und während dem Modellbau/Prototypenbau können noch nie da gewesene Konzepte und zukunftsweisende Ideen im Simulationsmodell validiert werden. Die Simulationsergebnisse bieten dann eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung der besten Variante in die Realität.

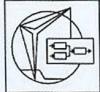


### **Über DK-INTEGRAL**

Hinter DK-INTEGRAL steckt die Weiterentwicklung der dynamischen Simulationssoftware DK-Solar, von einem spezifischeren Softwaretool mit Schwerpunkt Solarenergie hin zu einem integralen Simulationswerkzeug für energieeffizientes Bauen.

### **Überblick über die wichtigsten Features von DK-INTEGRAL**

- gekoppelter Wärme- und Feuchtetransport in Bauteilen
- latente Energiespeicherung/PCM Phase Change Material
- Tageslicht und Kunstlicht
- Heizung/Kühlung/Lüftung (Hüllflächen/Hypokausten)
- Solarenergie/Geothermie/BHKW/KWK
- optimierte Regelungstechnik direkt auf Microcontroller umsetzbar



## Die Antwort auf anspruchsvolle planerische Anforderungen

Der verantwortungsvolle Umgang mit Ressourcen und die Verminderung der Schadstoffbelastung sind Bereiche, die in Zukunft ständig an Bedeutung gewinnen werden. Architekten und Ingenieure werden in ihrer planerischen Tätigkeit schon heute durch energietechnische und ökologische Aspekte herausgefordert, die in ihren Arbeiten und Entwürfen eine wesentliche Rolle spielen.

DELZER Kybernetik bietet mit DK-INTEGRAL ein Programm an, mit dem sich Auswahl und Dimensionierung aller energietechnisch relevanten Parameter schon im frühen Entwurfsstadium simulieren lassen. Auf diese Weise kann bereits im Entwurf, aber auch im Rahmen einer Modernisierung oder Erweiterung von Bestandsprojekten, das optimale Zusammenspiel eines Gebäudes simuliert und umgesetzt werden. Mittels Simulationsläufen können Parameter für Energieeinsparung und Kostenoptimierung wirklichkeitsnah dargestellt werden. Dabei wird besonders auf die Faktoren Gebäude, Standort, Materialien, technische Anlagen, Energiefassaden, Solarsysteme, Geothermie und Feuchte/Austrocknung eingegangen. Das größte Einsparpotenzial bei den Investitions- und Betriebskosten liegt im optimalen Zusammenspiel dieser Parameter. Dies bildet die Basis für eine erfolgreiche ganzheitliche/integrale Planung.

DELZER Kybernetik verfügt auf dem Gebiet der Energie- und Solartechnik über jahrelange theoretische und praktische Erfahrung. Schon heute wird DK-INTEGRAL von F&E-Firmen zur Produktentwicklung, von Fachleuten, Architekten sowie an vielen führenden Universitäten und Hochschulen erfolgreich eingesetzt. Dank der sicheren Vorhersage energierelevanter Ergebnisse lassen sich Gewerke und technische Anlagen praxisgerecht auslegen und optimal aufeinander abstimmen. Eine Überdimensionierung kann nahezu ausgeschlossen werden.

## Validierung

DK-INTEGRAL wird an wissenschaftlichen Instituten und Hochschulen für die Lehre und für Forschungsprojekte eingesetzt. Detaillierte Vergleiche zwischen Bestandsgebäuden und Simulationsergebnissen wurden seit 25 Jahren kontinuierlich durchgeführt und zeigten jeweils sehr gute Übereinstimmung mit der Realität. Auch für gewagte innovative Projekte konnte nach Inbetriebnahme die hohe Übereinstimmung bei Energiebedarf, Gebäudedynamik und Behaglichkeit festgestellt werden (siehe auch folgendes Beispiel des Instituts für Umweltmedizin Freiburg). Zur weiteren Absicherung wurden Tests nach VDI-Richtlinien zur Simulation der Kühlung von Bürogebäuden durchgeführt und zeigten klare Übereinstimmung.

## Praxisorientiert und universell einsetzbar

DK-INTEGRAL lässt sich sowohl in den energietechnisch anspruchsvollen Bereichen Denkmalschutz, Altbausanierung und Bauen im Bestand einsetzen, als auch zur Planung zukunftsweisender neuer Gebäudekomplexe. Die Einsatzbereiche erstrecken sich von Privathäusern über Bürogebäude bis hin zu öffentlichen Gebäuden und Sonderbauten mit komplexen Anforderungen an Gebäudeklimatik und Energiemanagement.

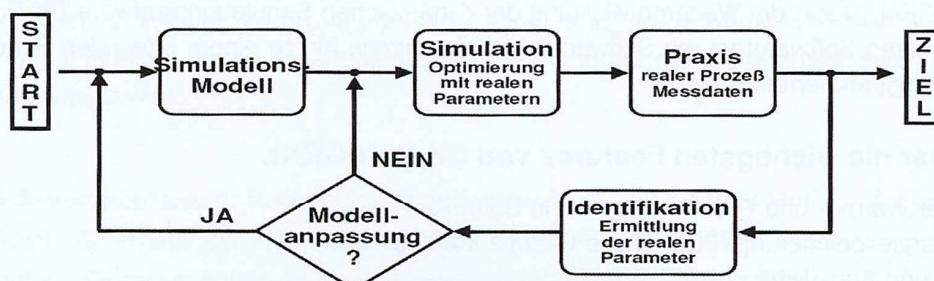
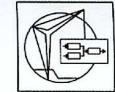


Bild 1 Systematischer Entwicklungsregelkreis für Unikatprozesse mit DK-INTEGRAL

## Mögliche Simulationsszenarien mit DK-INTEGRAL:



- Simulation, Auslegung und grafische Dokumentation von Energieversorgung, Anlagen zur Nutzung der Sonnenenergie sowie von Dämm- und Lüftungsmaßnahmen
- Simulation und vergleichende Darstellung von Gebäudekomplexen mit unterschiedlichen Nutzungszenzen
- Simulation und vergleichende Darstellung von Gebäudeensembles oder von miteinander gekoppelten Gebäuden

Dadurch können gebäudeklimatisch komplexe Situationen erfasst und effiziente Energiekonzepte entwickelt werden.
- Besondere gebäudeklimatische und bauphysikalische Einflüsse in Sonderbauten können simuliert, gewichtet und im Sinne einer integralen Planung in das energetische Gesamtkonzept integriert werden.

Welche Anforderungen aber auch Möglichkeiten stehen beispielsweise hinter den hohen Innenraumtemperaturen und Luftfeuchtigkeit in Thermal- und Meerwasserbädern oder Tropenhallen?  
Wie reagiert das Gesamtenergiekonzept auf großflächige Speicher, wie zum Beispiel die Eislaufflächen (Phase Changing Material) in Eishallen oder Bauteile/Wandschichten mit PCM?
- freie Wahl des Gebäudestandortes (weltweit) und der Gebäudeausrichtung
- freie Anordnung der Bauteile in Winkel und Neigung
- Eine breite Palette von Wärmetransfer-Situationen ist im Detail darstellbar: innere und äußere Flächentemperaturen, Transferschichten.
- flexible Eingabemöglichkeit sehr effektiver Regelungsstrategien für verschiedene Mehrspeichersysteme
- gekoppelte Simulation von Anlagentechnik und Gebäude zur Berücksichtigung der solaren Gewinne und der Wechselwirkungen von Kollektoranlage/Geothermie und Gebäudeverhalten
- Einbeziehen von Topographie und Beschattung
- Berücksichtigung interner Wärme- und Kältequellen
- Berücksichtigung des Nutzerverhaltens
- benutzerdefinierte Simulationszeiträume
- gebäudeunabhängig: reine Untersuchung von Materialverhalten unter bestimmten Randbedingungen:

Wie reagiert beispielsweise eine Natureisfläche (Material mit unterschiedlichen physikalischen Zuständen, in der Simulation eingegeben als PCM) auf wechselnde Umweltbedingungen?

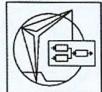
## Praxisreport

Anhand von zwei unterschiedlichen Anwendungen werden die Einsatzmöglichkeiten von DK-INTEGRAL exemplarisch verdeutlicht.

### 1. Anwendungsbereich Architektur „Innovativer Neubau“: Umweltmedizin Freiburg

Die Auftragsabwicklung erfolgte in zwei Stufen:

- Konzeptentwicklung in der Planungsphase,
- Erfolgskontrolle durch Langzeitanalyse nach der Realisierung.



Universitätsklinikum Freiburg  
**Neubau**  
**Institut für Umweltmedizin und**  
**Krankenhaushygiene**

  
**Baden-Württemberg**  
VERMÖGEN UND BAU BADEN-WÜRTTEMBERG  
UNIVERSITÄTSBAUAMT FREIBURG

#### PROJEKTBETEILIGTE

Bauherr	Land Baden-Württemberg, vertreten durch Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Universitätsbauamt Freiburg
Architekt	Pfeifer Kuhn Architekten, Freiburg bis 30.06.2005 Pfeifer Roser Kuhn Architekten
Technische Gebäudeausrüstung	Ingenieurbüro für Versorgungstechnik Kuder, Flein
Kybernetik	Ingenieurbüro Delzer, Lörrach
Tragwerksplanung	Mohnke Bauingenieure, Denzlingen
Prüfstatik	Dipl.- Ing. Müller, Freiburg
Vermessung	Vermessungsamt der Stadt Freiburg
Bodengutachten	Wibel, Leinenkugel + Partner, Ing.- Gesellschaft, Kirchzarten
Tief- u. Wasserbau	Ing.- Büro Zink, Laufen
Brandschutz	Brandschutzconsult Schreiner, Ettenheim
Bauphysik	Ing.- Büro Rink, Reute
Sicherheits- u. Gesundheitskoordinator	Ing.- Büro Peter, Baden-Baden
Labor- u. Einrichtungsplanung	Universitätsklinikum Freiburg, Geschäftsbereich Technik
Freianlagen	Volker Harbauer, Glottertal
Kunst am Bau	Wolfgang Winter, Frankfurt Bertold Hörbelt, Havixbeck
Redaktion u. Herausgeber	Universitätsbauamt Freiburg
Fotos	Guido Kirsch, Freiburg
Gestaltung	woschnay grafik   design, Freiburg

#### Energetisches Gesamtkonzept

Die „Umweltmedizin Freiburg“ ist ein Gebäude, das aufgrund seines ganzheitlichen Konzeptes für Architektur und Energieeffizienz in vielen Veröffentlichungen als beispielhaft gelobt wurde.

Mit DK-INTEGRAL wurde das Gesamtkonzept für Büro- und Laborbereich und ein neues Lüftungskonzept für die Bürozone mit natürlicher Lüftung entwickelt, in dem das Raumklima über ein Zusammenspiel zwischen Doppelfassade und Erdregister reguliert werden kann.

Das Erdregister dient Jahreszeitenabhängig als Kälte- oder Wärmequelle, während die Doppelfassade als Energiefassade und Luftkollektor für die Regulierung von Kühlung und Heizung über die natürliche Lüftung genutzt wird.

#### Natürliche Bürolüftung und Temperierung im Winter

Die Luftkollektoren in der Doppelfassade dienen im Winter zur Erwärmung der Zuluft. Die Zuluft wird durch Abluftwärme mittels Kreislauf/Wärmeverbundsystem oder über das Erdregister vorgewärmt und von unten in die Fassade eingeleitet. Dann strömt sie mäanderförmig durch die Energiefassade im Gegenstrom zur Wärmeleitung von außen nach innen in die Büroräume. Dabei wird sie an Sonnentagen zusätzlich durch die solare Strahlung auf die Fassade erwärmt. Durch dieses Prinzip der Luft-

führung werden auch die Transmissionswärmeverluste, die sonst durch die Bauteile verloren gehen, zum Teil zurückgewonnen.

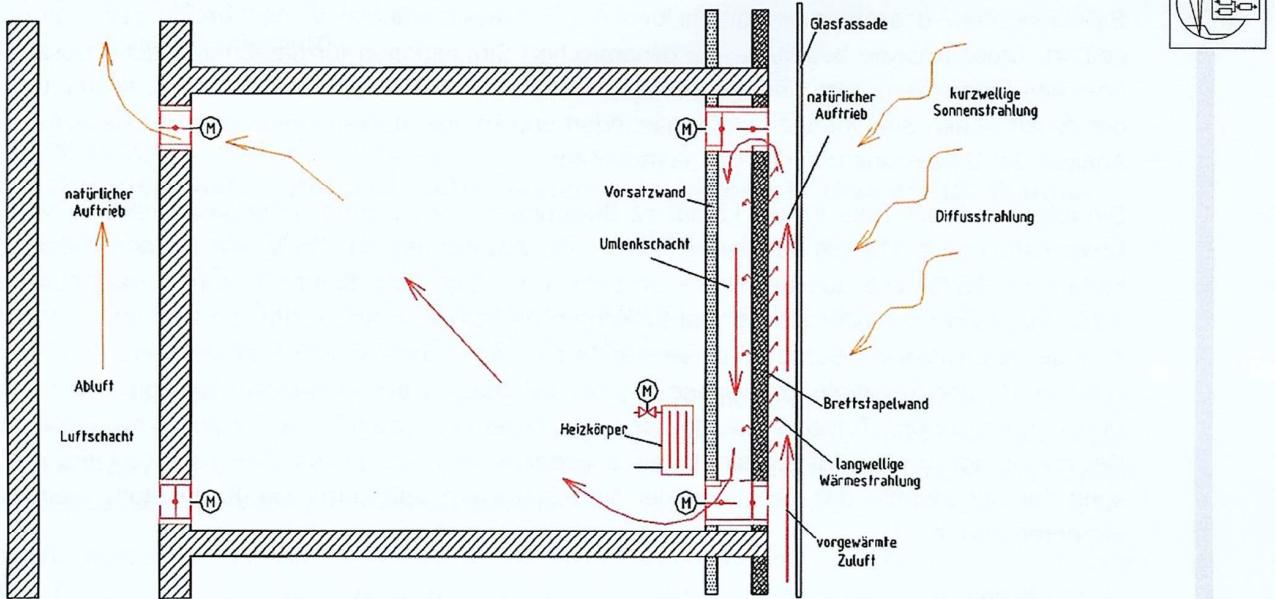


Bild 2 Systematische Darstellung der natürlichen Bürolüftung im Winter im Detail

### Natürliche Bürolüftung und Temperierung im Sommer

Im Sommer wird die Zuluft für die Büroräume über das Dach eingeleitet und durch die Erdregisterkälte gekühlt. Dazu fällt kühle Luft, die schwerer ist als warme Luft, durch einen Luftschaft von oben ins Gebäude und verstärkt so die natürliche Lüftung. Wird das Temperaturniveau im Erdregister zu hoch, um die Außenluft auf diese Weise vorzutemperieren, so wird eine Wärmepumpe zugeschaltet.

Der Auftrieb der Luftkollektoren im Sommer verstärkt die Abluft. Die hohen Temperaturen in der Energiefassade würden über die Wärmeleitung der Fassade die Räume zusätzlich erwärmen. Deshalb strömt die Abluft mäanderförmig von Innen nach außen und nimmt so einen Teil des Wärmeeintrages mit und wird dann durch die Luftkollektoren an die Umgebung abgegeben.

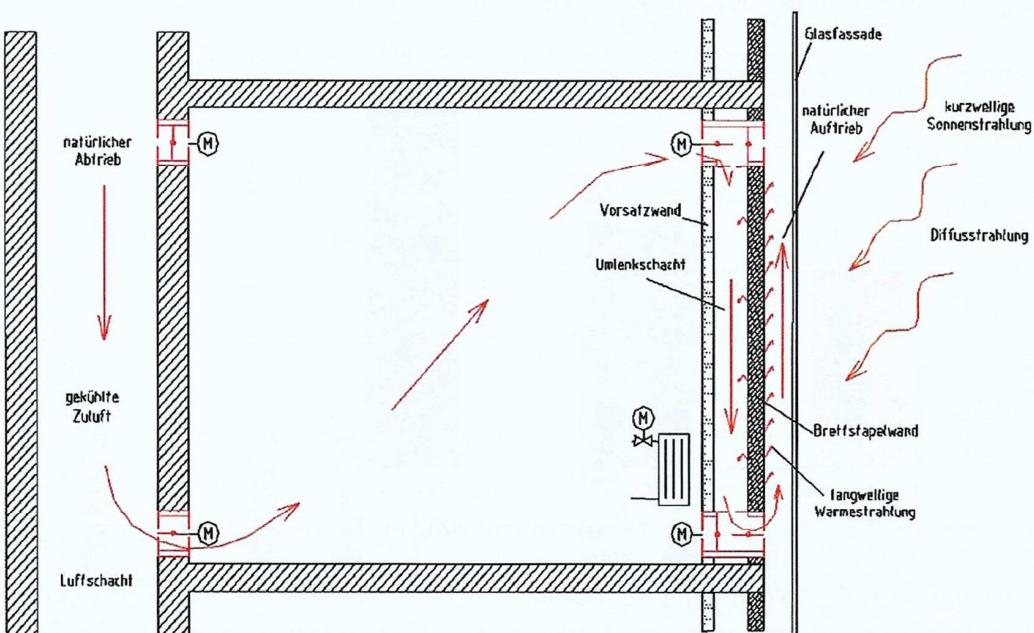


Bild 3 Systematische Darstellung der natürlichen Bürolüftung im Sommer im Detail



## Erfolgskontrolle durch Langzeitanalyse nach der Realisierung

Nach der Realisierung des Gebäudes wurde eine Erfolgskontrolle des Konzepts durch Analyse der Gebäudedaten, des Nutzerverhaltens und der Energieverbräuche in den ersten zwei Jahren durchgeführt. Diese Analyse bestätigte die dynamischen Simulationen für das energetische Gesamtkonzept über den Energieverbrauch und die Behaglichkeitsparameter in den Räumen. Vor allem die Genauigkeit der dynamischen Simulationen in Energiebedarf und Temperaturverläufen waren die Basis für eine gute Analyse der Umsetzung und des Nutzerverhaltens.

Die folgende Grafik zeigt für die komplexe Bürozone mit natürlichen Luftströmungen eine sehr genaue Übereinstimmung. Für die Laborzone beträgt die Abweichung ca. 35 % und für den Gesamtenergiebedarf ca. 15 %. Wie aus der Grafik ersichtlich ist, lagen die Simulationsergebnisse aus dem Jahr 2002 insgesamt niedriger als die real erreichten Werte. Diese Abweichungen konnten im Rahmen der Analyse des Nutzerverhaltens durch verstärkte Lüftung in der Laborzone erklärt werden. In der Laborzone wurde der maximale Luftwechsel im Normalbetrieb in der Planungsphase von 8 auf 4 halbiert. Mittels rotem Knopf/Turbotaste kann der Luftwechsel im Bedarfsfall von 4 auf 8 angehoben werden. Der rote Knopf wurde häufiger genutzt als angedacht. Hier könnte zum Beispiel eine Luftqualitätsmessung der Schadstoffe das Vertrauen der Nutzer steigern und somit die Turbolüftung weniger häufig aktivieren lassen.

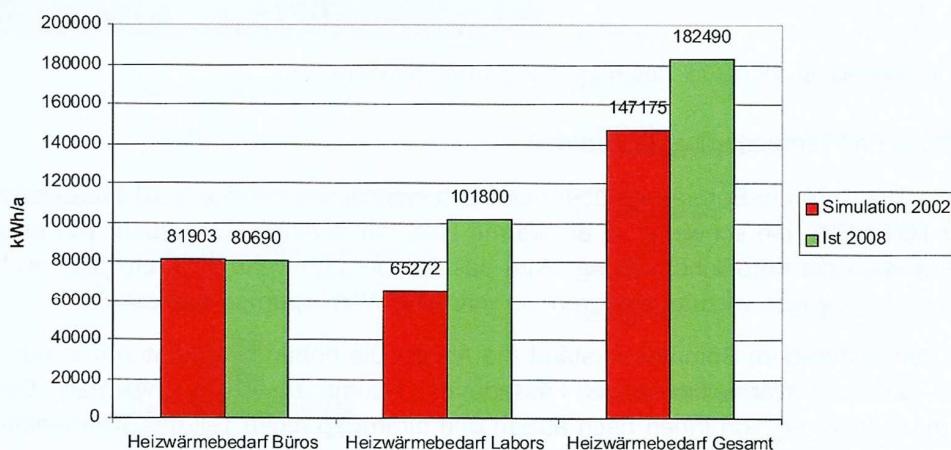


Bild 4 Vergleich Prognose im Jahr 2002 mit Ist-Verbrauch im Jahr 2008

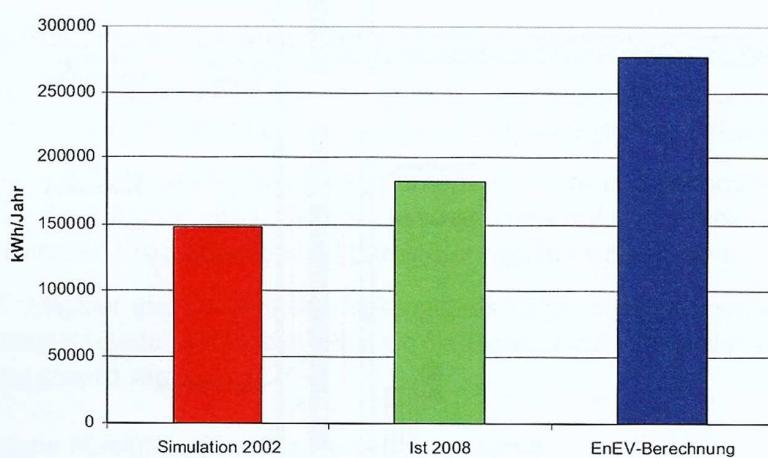
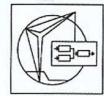


Bild 5 Heizwärmebedarf Gesamt (Vergleich Prognose im Jahr 2002 mit Ist im Jahr 2008)

Während im Vergleich der dynamischen Simulation 2002 zur Realität (Ist 2008) das Optimierungspotenzial im Bereich des Nutzerverhaltens bereits numerisch zu erkennen ist, ist dieses Potenzial im Vergleich hierzu bei der statischen EnEV-Berechnung nicht zu erkennen. Durch die rechnerische Unge-

nauigkeit weichen die errechneten Werte so dramatisch nach oben ab, dass der Nutzer sich sogar trotz der in der Analyse deutlich gewordenen Mängel zu seinen (nach EnEV Berechnung) unerwartet positiven Verbräuchen beglückwünschen könnte. Dabei **bleiben** real vorhandene Potenziale zur Kosten- und Verbrauchsoptimierung ungenutzt.



## 2. Anwendungsbereich Forschung:

### Forschungsprojekt Innerstädtische Systembauweisen der Universität Weimar

Kooperationsprojekt Professuren Stahlbau, Architektur, Bauklimatik, Gebäudetechnik,  
Frau Prof. SCHULZ, THOMAS WAHLBUHL, JULIANE ROß

**Studie zur effektiven Sanierung von Stadthäusern im Bestand, Altbauten und Gebäuden unter Denkmalschutz der Bauhaus Universität Weimar mit DK-INTEGRAL.**

Um die Vergleichbarkeit bei den Simulationsergebnissen zu gewährleisten, sollten alle Untersuchungen mit einem Programm durchgeführt werden, damit Modellierungsunterschiede oder andere Randbedingungen das Ergebnis nicht verfälschen. Mit DK-INTEGRAL steht ein dynamisches Simulationsprogramm zur Verfügung, das diese Vielfalt realitätsnah abbildet.

Untersucht wurde der Einsatz unterschiedlicher Fassadenmaterialien an einem innerstädtischen Gebäude-Prototypen. Alle untersuchten Varianten entsprachen demselben Energiestandard KfW-Effizienzhaus-55 und hatten gleiche U-Werte der Hüllflächen. In der statischen Berechnung sind die Ergebnisse aller Varianten unter diesen Randbedingungen identisch. Die dynamische Simulation mit DK-INTEGRAL zeigte dagegen aufgrund des unterschiedlichen Speicherverhaltens der eingesetzten Materialien deutliche Unterschiede in den Ergebnissen.

Untersuchte Varianten mit massiven Bauteilen:

- Variante 1a: Gipskartonplatte, Kalksandstein Planelement, Mineralwolldämmung
- Variante 1b: Gipskartonplatte, Kalksandstein Planelement, Lehmbauplatte
- Variante 1c: PCM-Gipskartonplatte, Kalksandstein Planelement, Mineralwolldämmung
- Variante 1d: Gipskartonplatte, Kalksandstein Planelement, Holzfaserdämmung
- Variante 2: Kalksandstein, Gipskarton, Lattung

Untersuchte Varianten ohne massive Bauteile:

- Variante 5a: Gipskartonplatte, Mineralwolldämmung, Mineralwolldämmung
- Variante 5b: Gipskartonplatte, Mineralwolldämmung, Mineralwolldämmung, PCM
- Variante 6a: Gipskartonplatte, Mineralwolldämmung, Hoesch-Matrix System

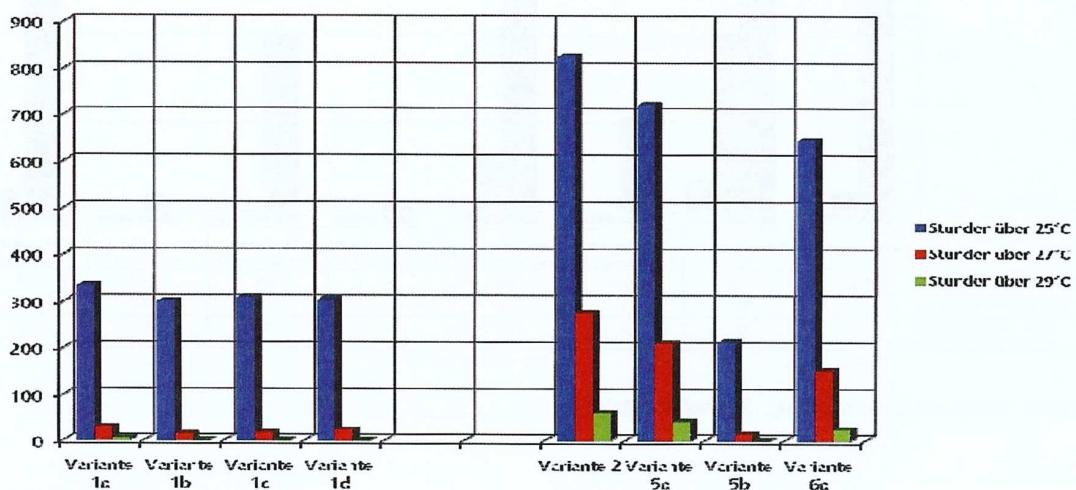


Bild 6 Grafik zur Untersuchung „Überhitzungsstunden im Sommer“

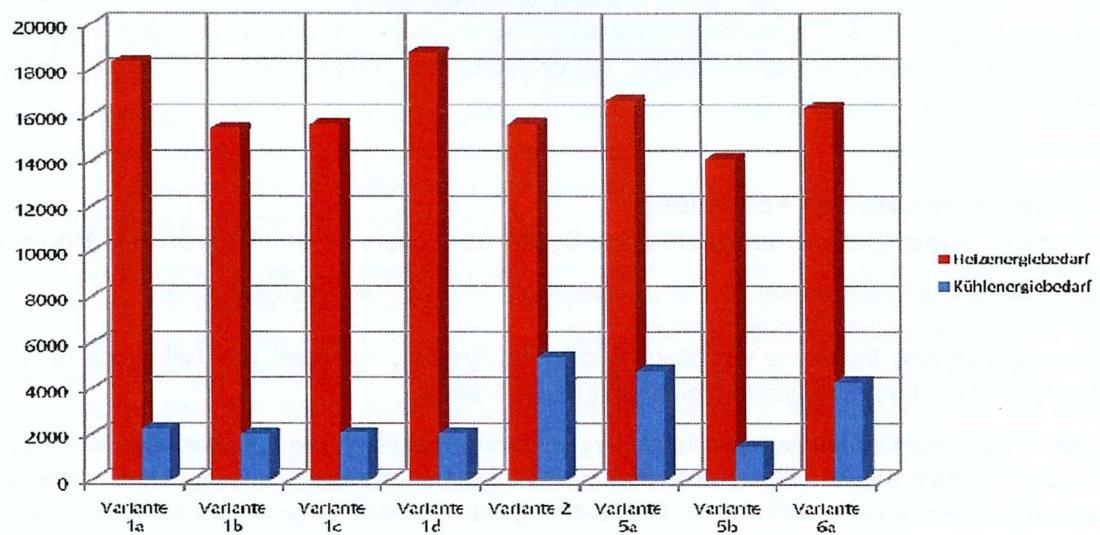


Bild 7 Grafik zur Untersuchung „Heiz- und Kühlenergiebedarf“

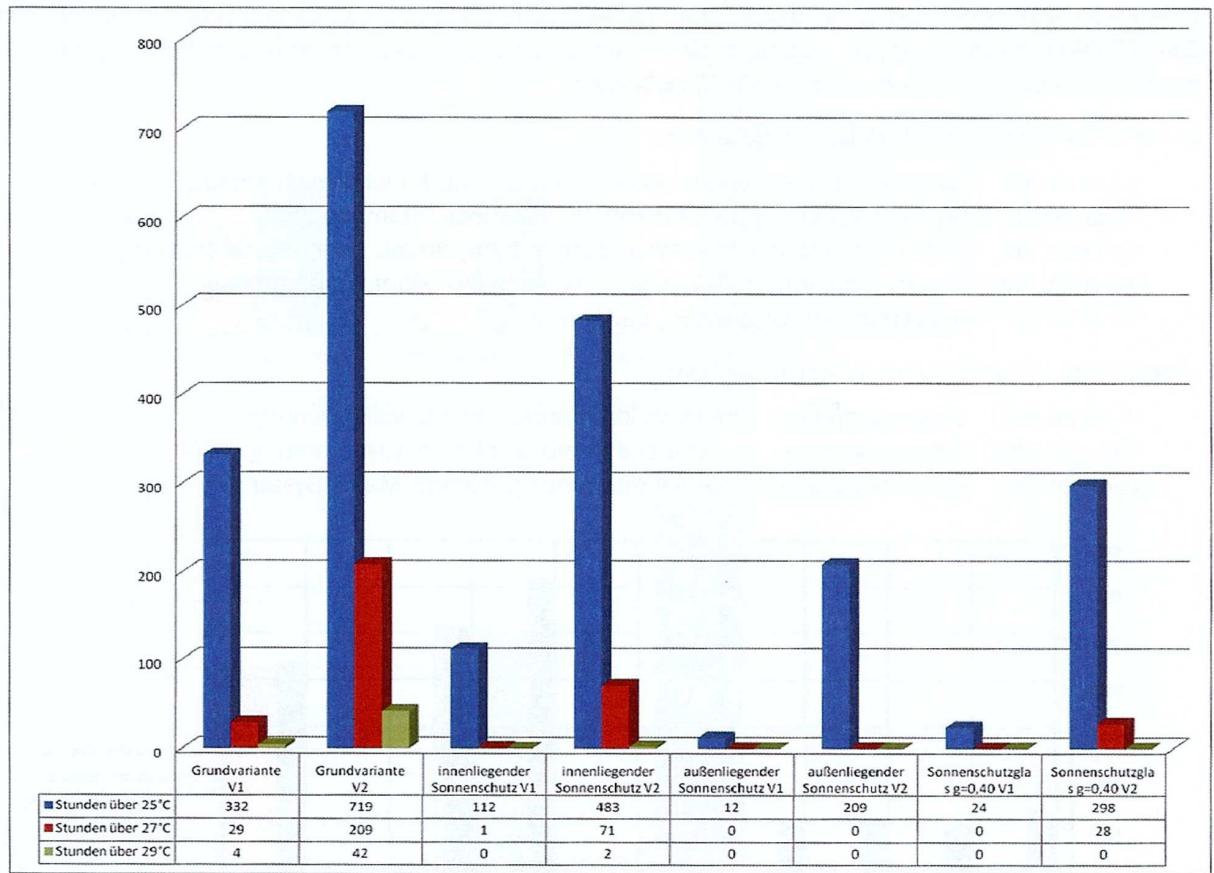
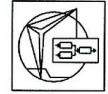


Bild 8 Grafik zur Untersuchung „Sonnenschutz“

## **Ergebnisse der Studie:**



1. Bei gleichem Energiestandard der Varianten kommen unterschiedliche Ergebnisse bezüglich Innentemperaturen im Sommer, Kühl- und Heizenergiebedarf zustande.
2. In Räumen mit Wandaufbauten aus speicherfähigem Material werden im Sommer seltener unangenehm hohe Innenraumtemperaturen erreicht, als in Räumen ohne speicherfähiges Material.
3. Gebäude, welche ohne speicherfähiges Material gebaut werden, brauchen eine zusätzliche Kühlung.
4. In Gebäuden mit speicherfähigem Material lassen sich bei unangenehm hohen Außentemperaturen auch ohne außen liegenden Sonnenschutz akzeptable Innenraumtemperaturen erreichen. Diese Erkenntnis ist besonders für denkmalgeschützte Gebäude oder Gebäude in historischen Innenstädten mit Gestaltungsaufgaben interessant. Hier ist ein außen liegender Sonnenschutz häufig unzulässig.

Autor:

Dipl.-Ing. SIEGFRIED DELZER  
Geschäftsführer  
DELZER Kybernetik GmbH  
Tuellinger Strasse 90,  
D-79539 Loerrach  
<http://www.delzer.de/>