

DISS. ETH Nr. 19146

**MODEL-BASED, PERFORMANCE-ORIENTED
BUILDING DESIGN EMPLOYING
DISTRIBUTED SERVICE SYSTEMS**

A dissertation submitted to

ETH ZÜRICH

For the degree of

Doctor of Sciences (Dr. sc. ETH Zürich)

Presented by

ARNO SCHLÜTER

Dipl.-Ing., Universität Karlsruhe (TH), Germany

* May 30, 1974

Citizen of Germany

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut

Chair of Building Systems,

Institute of Technology in Architecture (ITA),

Faculty of Architecture, ETH Zürich

Prof. Dr. Ludger Hovestadt

Chair for Computer Aided Architectural Design,

Institute of Technology in Architecture (ITA),

Faculty of Architecture, ETH Zürich

2010

Abstract

The operation of buildings accounts for up to 25% of the global CO₂ emissions. Main contributors to these emissions are the systems of building infrastructure – systems that deliver energy and matter to maintain comfortable interior conditions in order to be able to inhabit and use the building. An emerging generation of technical infrastructure – distributed building service systems – provides a new conceptual paradigm for building supply. In analogy to distributed systems in information and communication technology, they consist of individual entities that cooperatively supply the building space. Their employment in buildings requires the consideration of parameters of climate, location, geometry, construction, and system components already from early design stages on. When integrated into the architectural process, distributed building service systems support the design and realization of buildings that are environmentally, economically and socially sustainable. The aim of this work is to facilitate such an integration in two steps, first, by assessing the demand of energy and matter of a specific building design and second, to design and layout the supply by selecting, defining and placing appropriate distributed systems and components. A system model for distributed building service systems is established, characterizing the relevant entities, their properties and dependencies. Methods of knowledge representation are used to capture the necessary types of knowledge. A two-fold, integrated design process is described, utilizing a knowledge base and computer-based methods for simulation and problem solving. During the design process, the concrete system model objects are instantiated and stored using a Building Information Model as a database. Qualitative and quantitative performance assessment is employed to evaluate design solutions. A prototypical design tool, the Design Performance Viewer (DPV) is described, representing a partial implementation of the described methods. Applying the design tool in a joint industry-university case study, the integrated design process is exemplified, establishing a seamless digital design process from early stage performance assessment to the digital fabrication of integrated building components. The work concludes with an outlook on technologies and techniques for the adaptive and efficient operation of the systems in a dynamic environment.

Kurzfassung

Der Betrieb von Gebäuden verursacht bis zu 25% der weltweiten, anthropogenen CO₂-Emissionen. Den technischen Systemen für die Versorgung von Gebäuden mit Energie und Stoffen kommt dabei eine große Bedeutung zu. Eine neue Generation dezentraler, verteilter Systeme technischer Infrastruktur ermöglicht neue Konzepte einer effizienteren und flexibleren Versorgung von Gebäuden. Die Eigenschaften verteilter Systeme und deren vielfältige Abhängigkeiten macht die Gesamtbetrachtung eines Gebäudes inklusive seines Klimas, seines Ortes, seiner Form und Konstruktion sowie seiner Systeme bereits in den frühen Phasen einer Planung notwendig. Ziel dieser Arbeit ist es, die Betrachtung von Energie- und Stoffflüssen in Gebäuden und deren effiziente Versorgung durch verteilte Systeme in den architektonischen Prozeß zu integrieren. Eine solche Vorgehensweise birgt große Potentiale für nachhaltige Gebäude in Hinblick auf ökologische, ökonomische und sozialen Kriterien. Um das notwendige Systemwissen und die vielfältigen Abhängigkeiten der Systemkomponenten in den architektonischen Prozeß einzubinden, wird mittels Methoden der Wissensrepräsentation ein objektorientiertes Systemmodell formuliert. Das digitale Gebäudemodell (Building Information Model, BIM) dient als Datenbank der gemäß des Systemmodells erstellten Objekte. In einem zweistufigen, integrierten Entwurfsprozeß werden die Objekte mit Methoden der Simulation und computerunterstützten Problemlösung kombiniert. In der ersten Stufe wird der Bedarf eines spezifischen Gebäudeentwurfes an Energie und Stoffen ermittelt. In der zweiten Stufe werden die für eine optimale Versorgung notwendigen, verteilten Systeme und Komponenten definiert und plaziert. Die entstehenden Lösungen können nach qualitativen und quantitativen Kriterien bewertet werden. Eine Teilimplementierung von Systemmodell, Datenbank und Methoden in einem prototypischen Werkzeug, dem Design Performance Viewer (DPV), ermöglicht eine Anwendung im integrierten Entwurfsprozeß. Methodik und Werkzeug werden anhand eines Fallbeispiels demonstriert, welches einen nahtlosen, digitalen architektonischen Prozeß vom performance-orientierten Entwurf bis zur Fertigung mittels digitaler Fabrikation zu Ziel hat. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf Ansätze für den effizienten Betrieb verteilter Systeme im Gebäude. Ziel ist das adaptive und damit effiziente Verhalten der Systems in einer dynamischen Innen- und Außenwelt.