

# ENERGIEOPTIMIERTE GEBÄUDEPLANUNG MIT VERTEILTER INFORMATIONSMODELLIERUNG

Michael Petersen, Udo F. Meißner  
Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen  
Technische Universität Darmstadt

## 1. Einleitung

Im Entwurfsprozeß von Gebäuden spielt die frühzeitige Beachtung energetischer Belange eine immer größere Rolle, da nur so bauliche Maßnahmen rechtzeitig eingeplant und effizient und kostengünstig in den Entwurf integriert werden können. Eine nachträgliche Behebung energetischer Mängel in der Planung ist meist nicht möglich, da dann i.d.R. bauliche Maßnahmen erforderlich werden, die wirtschaftlich nicht rentabel sind.

Zur Berücksichtigung bauphysikalischer Aspekte in der Gebäudeplanung bestehen in Deutschland seit den 70er Jahren Verordnungen. Die DIN 4108 aus dem Jahre 1974 diente dabei weniger zur Einsparung von Energie oder zur Reduzierung der Umweltbelastung; vielmehr sollten damit nur Schäden an Bauteilen, besonders Feuchteschäden und Schimmelpilzbildung, vermieden werden. Unter dem Eindruck der Ölkrise wurde im Jahre 1977 die erste Fassung der Wärmeschutzverordnung (1. WSchVO) verabschiedet, die im Gegensatz zur DIN 4108 die Wärmeverluste der einzelnen Bauteile betrachtet. In der dritten Fassung der WSchVO von 1995 wird ein holistisches Konzept verfolgt, d.h. neben bauteilbezogenen Anforderungen ist der Heizwärmebedarf eines Gebäudes zu ermitteln. Die Durchführung dieser Nachweise ist trotz vieler vereinfachender Annahmen der 3. WSchVO mit einem erheblich größerem Aufwand durch die Aufbereitung der Planungsinformationen verbunden. Als Nachfolger der 3. WSchVO wird in diesem Jahr die Energieeinspar-Verordnung (EnEV) verabschiedet werden. Dabei ist für den gebäudeklimatischen Nachweis die Ermittlung des Heizenergiebedarfs erforderlich, der die detaillierte Betrachtung aller gebäudeklimatischen Einflußfaktoren wie z.B. Nutzungen, energetische Gebäudetechnik, klimatische Umgebungsbedingungen usw. voraussetzt. Diese genaue Betrachtung des Klimahaushaltes von Gebäuden ist hinsichtlich der Aufbereitung der Planungsgrundlagen und der Durchführung der Nachweise aufwendig, erlaubt jedoch Rückschlüsse, die bei einer Berücksichtigung im Entwurf die bauphysikalischen Eigenschaften eines Gebäudes nachhaltig verbessern kann.

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es deshalb, bauphysikalische Betrachtungen unmittelbar in frühe Planungsphasen einzubeziehen. Dazu sollen dem planenden Ingenieur Softwarewerkzeuge zur Verfügung gestellt werden, die es erlauben, einerseits Änderungen am Gebäudeentwurf direkt auf ihre Auswirkungen auf die bauphysikalischen Betrachtungen zu ermitteln, andererseits aber auch die Ergebnisse der bauphysikalischen Nachweise und Simulationen direkt zur gezielten Durchführung von weiteren Planungsschritten nutzen zu können.

Zur direkten Unterstützung der bauphysikalischen Planungen ist es erforderlich, daß die bauphysikalischen Betrachtungen auch unmittelbar in den Arbeitsumgebungen zur Verfügung stehen. Deshalb wurde ein middlewarebasiertes Softwarekonzept geschaffen, das eine dynamische, netzwerkbasierende Integration verschiedenartiger Fachkomponenten zur Modellierung und Optimierung bauphysikalischer Systeme in der Gebäudeplanung ermöglicht.

## 2. Analyse und softwaretechnische Erstellung von Gebäudemodellen für die Bauphysik

Um eine direkte Einbindung bauphysikalischer Nachweisverfahren und Simulationen in den Planungsprozeß zu ermöglichen, ist eine ganzheitliche bauphysikalische Abbildung des Gebäudes als Einheit aus baulicher Hülle, Nutzung und (energetischer) Gebäudetechnik in einem rechnerinternen Modell durchzuführen. Darüber hinaus müssen Informationen über die klimatischen Umweltbedingungen (Standortinformationen, geographische Höhe und Lage, Temperatur- und Niederschlagsverläufe) und über ökologische Bereiche (Primärenergiegehalte) bereitgestellt

werden. Dazu wurden auf Basis einer objektorientierten Analyse drei Modelle spezifiziert, welche die verschiedenen Sichten auf das Gebäude widerspiegeln:

Im *Bauteilorientierten Modell* wird die bauliche Hülle des Gebäudes beschrieben. Sie besteht aus der dreidimensionalen geometrischen Repräsentation aller Bauteile und aller zugehörigen Informationen wie Bauteilschichtung, Bauteiltyp, Materialien, Lage, Orientierung und Oberflächeninformationen.

Im *Raumorientierten Modell* werden die Nutzungsstrukturen des Gebäudes abgebildet, indem unter Verwendung der bestehenden Bauteildefinitionen Räume, Zonen, Ebenen und Abschnitte festgelegt werden, die mit Informationen über Nutzungsarten, gebäudeklimatischen Anforderungen und Einrichtungen der energetischen Gebäudetechnik verknüpft sind. Darüber hinaus sind Raumdefinitionen durch semantische Beziehungsobjekte miteinander verbunden, so daß eine Abbildung von energetischen Zonenübergängen möglich wird. Damit ist eine automatisierte Ermittlung des beheizten Gebäudevolumens und eine Berücksichtigung mehrerer Zonen mit unterschiedlichen Nutzungen, wie sie in der EnEV vorgesehen ist, möglich.

Das *Umgebungs-/Umweltmodell* betrachtet das Gebäude als Ganzes und stellt dafür Informationen über den Standort mit den zugehörigen Klimadaten (Temperatur/Sonneneinstrahlung/Niederschlag) sowie geographischen Kennwerten zur Verfügung. Darüber hinaus ist es in der Lage, ökologische Aspekte, die in der EnEV eine wichtige Rolle spielen, zu berücksichtigen.

Mit der Vereinigung der drei vorgestellten Teilproduktmodelle zu einem *bauphysikalischen Gebäudemodell* wird eine holistische Sicht auf das Bauwerk geschaffen, welche die Grundlage für eine planungsbegleitende, energieoptimierte Gebäudeplanung ist.

Die spezifizierten Teilproduktmodelle wurden gezielt unter Verwendung von *Refactoring*-Techniken erstellt. Diese Technologie bietet aufbauend auf der objektorientierten Modellierung nach der UML [1] die Möglichkeit zur zielgerichteten Verbesserung des Softwareentwurfs und der Softwarequalität. Grundprinzip der Softwareentwicklung mit Hilfe von *Refactoring*-Technologien ist, daß ein bereits vorhandener Softwareentwurf mit geeigneten Validierungsmethoden für alle Objekte versehen wird, damit eine Verbesserung des Entwurfs ohne Funktionalitätsverlust vorgenommen werden kann [2]. Auf diese Weise wird der Tatsache Rechnung getragen, daß in der Analysephase von objektorientierten Softwaresystemen dem Entwickler meist nicht alle fachspezifischen Anforderungen an die Software bekannt sind, so daß die Analyse nicht vollständig und abschließend erstellt werden kann. Mit Hilfe der Refactoring-Technologie kann somit aufbauend auf einer relativ kurzen Analysephase bereits der Softwareentwurf vorgenommen werden, bei dem jedoch gezielt Möglichkeiten zur Verbesserung und Veränderung vorgesehen werden.

### **3. Komponenten für die bauphysikalische Modellierung**

Die Planung von Gebäuden auf der Basis von Teilproduktmodellen erfordert neue Methoden der Informationsverarbeitung, die den ganzheitlichen Modellansatz unterstützen und die Vorteile voll nutzen können. Dabei ist die Netzwerkfähigkeit des Gesamtsystems von besonderer Bedeutung: Einerseits wird auf diese Weise eine Kooperation verschiedener Fachplaner bei der Gebäudeplanung ermöglicht, so daß Planungsarbeiten mit Hilfe von Computernetzen von verschiedenen Beteiligten effizient parallel durchgeführt werden können. Andererseits besitzt die funktionale Aufteilung des Gesamtsystems in einzelne, in sich eigenständig arbeitende Komponenten den Vorteil, daß sich je nach fachlicher Anforderung der Planungsaufgabe jeweils verschiedene Komponenten im Netzwerk dynamisch zu einem virtuellen Planungsinstrument verbinden können. Dieses Konzept ist somit durch Bereitstellung entsprechender Fachkomponenten auch auf andere Bereiche der Gebäudeplanung direkt übertragbar.

Aus softwaretechnischer Sicht besitzt die Komponentenarchitektur den Vorteil einer guten Wartbarkeit der Einzelkomponenten, da diese nur über definierte Schnittstellen miteinander kommunizieren. Besonders wichtig wird dieser Aspekt bei der Abbildung von gesetzlichen Vorschriften wie z.B. der EnEV, die in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden, so daß eine notwendige Anpassung der Nachweiskomponenten leicht vorgenommen werden kann.

Im Hinblick auf eine Realisierung als eigenständige Softwarekomponenten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes VAMOS, das derzeit am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der TU Darmstadt entwickelt wird, die folgenden fünf Bereiche identifiziert:

## I. Modellerzeugung, -manipulation und -management

Die Komponente zur Modellerzeugung und –manipulation wurde auf Basis des CAD-Systems AutoCAD als ARX-Laufzeitmodul erstellt (Abbildung 1). Dadurch ist es einerseits möglich, bestehende Planungsabläufe unter Verwendung von Standardwerkzeugen des entwerfenden Ingenieurs zu erhalten, andererseits können die umfangreichen Fähigkeiten des AutoCAD-Geometrikerns für die Erstellung komplexer Objektstrukturen des bauteil- und des raumorientierten Modells genutzt werden.

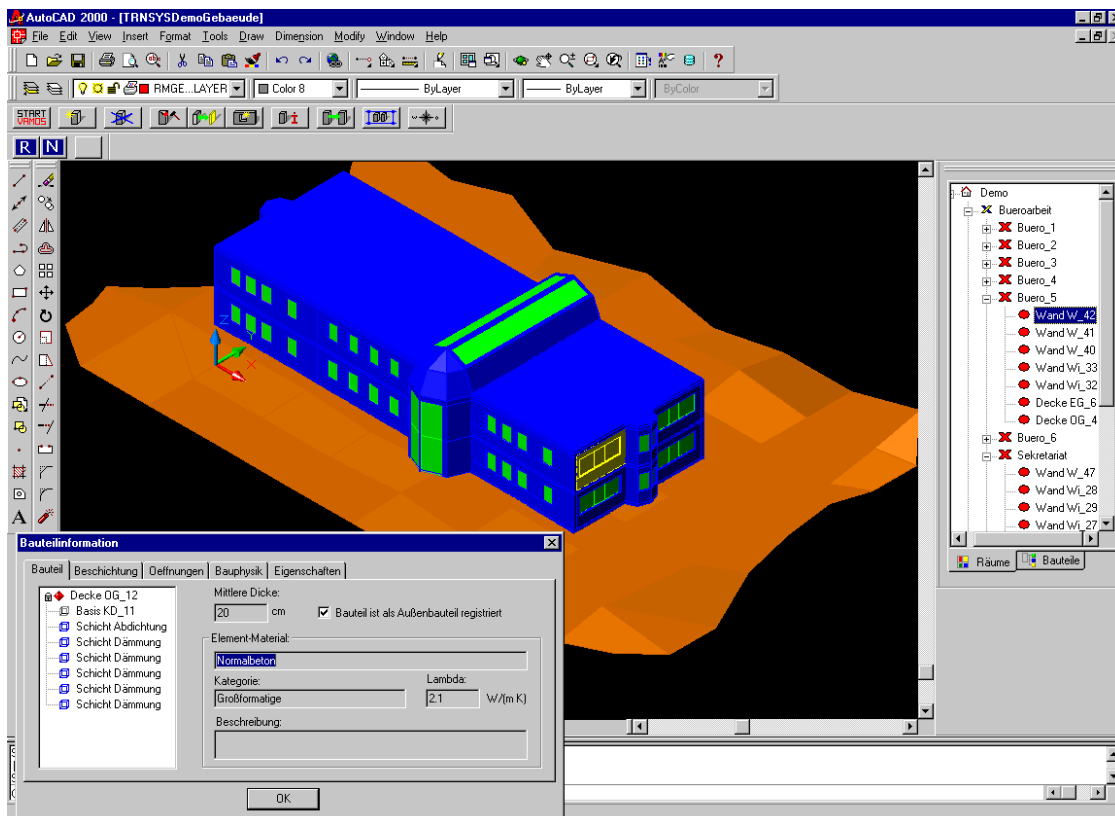


Abbildung 1: CAD-Komponente zur Erzeugung des bauphysikalischen Gebäudemodells

## II. Energetische Nachweise

Die bauphysikalischen Nachweise für den Bereich Energieeinsparung wurden unter Verwendung der *Java-Applet*-Technologie abgebildet, da auf diese Weise gesetzliche Vorschriften und Regeln in einer plattformunabhängigen Form bereitgestellt werden können, die erst bei Bedarf auf jeden Arbeitsplatzrechner im Netzwerk übertragen werden. Die so erreichte zentrale Wartbarkeit und Anpassbarkeit an Veränderungen der Gesetzesgrundlagen ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, daß Entwurfsentscheidungen auf Basis aktueller Vorschriften auf ihren Beitrag zum energetischen Gesamtnachweis hin untersucht werden können.

Im Rahmen der Nachweiskomponenten wurden sowohl die aktuelle Wärmeschutzverordnung (WSVO) als auch die Energieeinsparverordnung (EnEV, Referentenentwurf zur DIN EN 832) berücksichtigt (Abbildung 2).

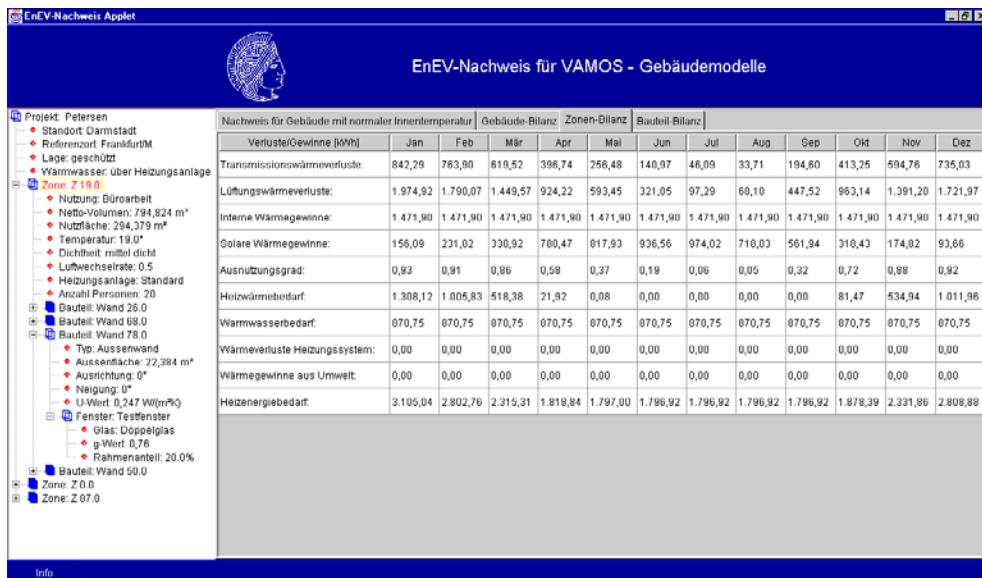


Abbildung 2: EnEV-Nachweiskomponente

### III. Simulation des Gebäudeklimas

Für die ganzheitliche Erfassung des Gebäudeklimas und der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bereichen des Gebäudemodells reichen die Möglichkeiten durch Auswertung der Nachweise nicht aus. Für weitergehende Untersuchungen wurde deshalb das Simulationsprogramm TRNSYS um ein Schnittstellenmodul erweitert, so daß die vorliegenden Objektstrukturen des *bauphysikalischen Gebäudemodells* direkt für eine instationäre Simulation des thermischen Gebäudehaushaltes genutzt werden können.

### IV. Modellpersistenz und Variantenverwaltung/Versionierung

Besonders im Hinblick auf eine kooperative Durchführung des Bauplanungsprozesses durch verschiedene Fachplaner ist die persistente, dauerhafte Speicherung der Gebäudemodelle und deren Konsistenzhaltung von großer Bedeutung. Deshalb wurde eine eigenständige Komponente entwickelt, die alle Modellinformationen in einer Datenbank (ObjectStore) verlustfrei ablegt und darüber hinaus in der Lage ist, verschiedene Versionen eines Gebäudemodells zu verwalten [3]. Dadurch kann der planende Ingenieur durch Variation einzelner Modellparameter die Auswirkungen auf den Energiehaushalt des Gebäudes ermitteln und so zu einem optimierten Gebäudeentwurf kommen.

### V. Dynamische Informationsrecherche im Internet

Für bauphysikalische Simulation sind eine Vielzahl von Eingangsgrößen erforderlich. Anders als in der Tragwerksplanung sind diese Größen im besonderen Maße von den Produktangaben der Hersteller abhängig. Dies betrifft nicht nur bauphysikalische Bauteil- und Materialeigenschaften, sondern auch Angaben über die Technische Gebäudeausstattung. Für eine realitätsnahe Abbildung des Gebäudes müssen diese Kenngrößen deshalb zunächst gesammelt und aufbereitet werden. Erfolgte diese Informationsbeschaffung bisher meist in konventioneller Art auf postalischem Wege, so bietet das *World Wide Web* nun neue Möglichkeiten, aktuelle herstellereigenspezifische Kenngrößen zu recherchieren. Weit verbreitet ist mittlerweile die Vorgehensweise, Informationen auf den jeweiligen *HTTP-Servern* der Hersteller im Internet zu suchen. Diese Online-Suche ermöglicht zwar das Recherchieren aktueller Kenngrößen, ist jedoch häufig sehr zeitaufwendig, besonders, wenn Vergleiche zwischen verschiedenen Anbietern durchgeführt werden müssen. Im Rahmen des VAMOS-Projekts wurde deshalb die Technologie der *mobilen Internet-Agenten* untersucht, um diese Aufgaben zu automatisieren. Mobile Internet-Agenten sind Computerprogramme, die in der Lage sind, sich selbst in Computer-Netzwerken nacheinander auf beliebig viele Zielrechner zu übertragen und dort jeweils verschiedene Aufgaben auszuführen. Auf ihrer „Migration“ durch das Internet können sie auf diese Weise die WWW-Server verschiedener Produkthanbieter nach geeigneten Informationen durchsuchen und die dabei aggregierten Informationen wieder an das Softwaresystem, das sie ausgesendet hat, in aufbereiteter Form zurückliefern (Abbildung 3). Somit vertreten sie eigenständig die Interessen ihres Absenders im Internet.

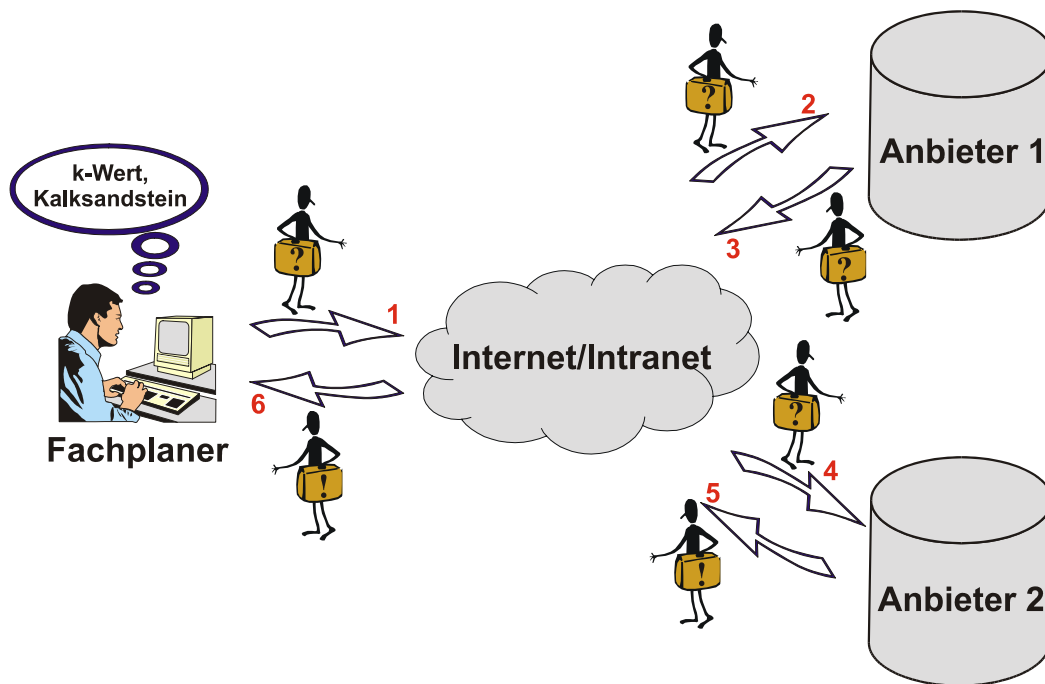


Abbildung 3: Einsatz von mobilen Internet-Agenten zur dynamischen Informationsrecherche

Bei der Übertragung der gesammelten Informationen ist es besonders wichtig, ein unabhängiges Datenformat zu wählen, das auf allen beteiligten Rechnern verarbeitet werden kann. Die neue Metasprache *XML (Extensible Markup Language)* bietet dabei den Vorteil, daß beliebige Objektstrukturen mit komplexen Zusammenhängen zwischen Softwaresystemen im Internet so ausgetauscht werden können, daß sie auf Empfängerseite automatisch interpretiert und ausgewertet werden können. Dies wird dadurch erreicht, daß neben den eigentlichen auszutauschenden Daten (XML) auch Informationen über deren strukturellen Aufbau (XSL) mitgeliefert werden. Im Rahmen des VAMOS-Projekts wurde eine Komponente entwickelt, die aufbauend auf der Java-Spezifikation für Internet-Agenten (sog. *Aglets*) [4] eine dynamische Informations-Recherche im Internet ermöglicht. Die dabei gesammelten Daten werden im XML-Format an eine Materialdatenbank übergeben, die direkt aus der CAD-Komponenten genutzt werden kann.

#### 4. Middlewarebasierte Integration von Softwarekomponenten

Um die beschriebenen fünf Komponenten zu einem virtuellen Planungsinstrument für die bauphysikalische Gebäudeplanung integrieren zu können, ist es erforderlich, daß alle Einzelsysteme auf die aktuellen Planungsinformationen, die im bauphysikalischen Gebäudemodell enthalten sind, zugreifen können. Mit Hilfe der *CORBA-Technologie (Common Object Request Broker Architecture)* [5] ist es möglich, Modelle in Computer-Netzwerken so vorzuhalten, daß beliebige Programmsysteme über festgelegte Schnittstellen darauf zugreifen können. Alle fünf Komponenten des VAMOS-Programmsystems sind so in der Lage, einerseits die Planungsinformationen ganz oder teilweise untereinander auszutauschen und für die jeweilige, fachspezifische Aufgabe zu verwenden. Andererseits können fachspezifische Funktionalitäten einzelner Komponenten durch Veröffentlichung von anderen Komponenten im Netzwerk genutzt werden.

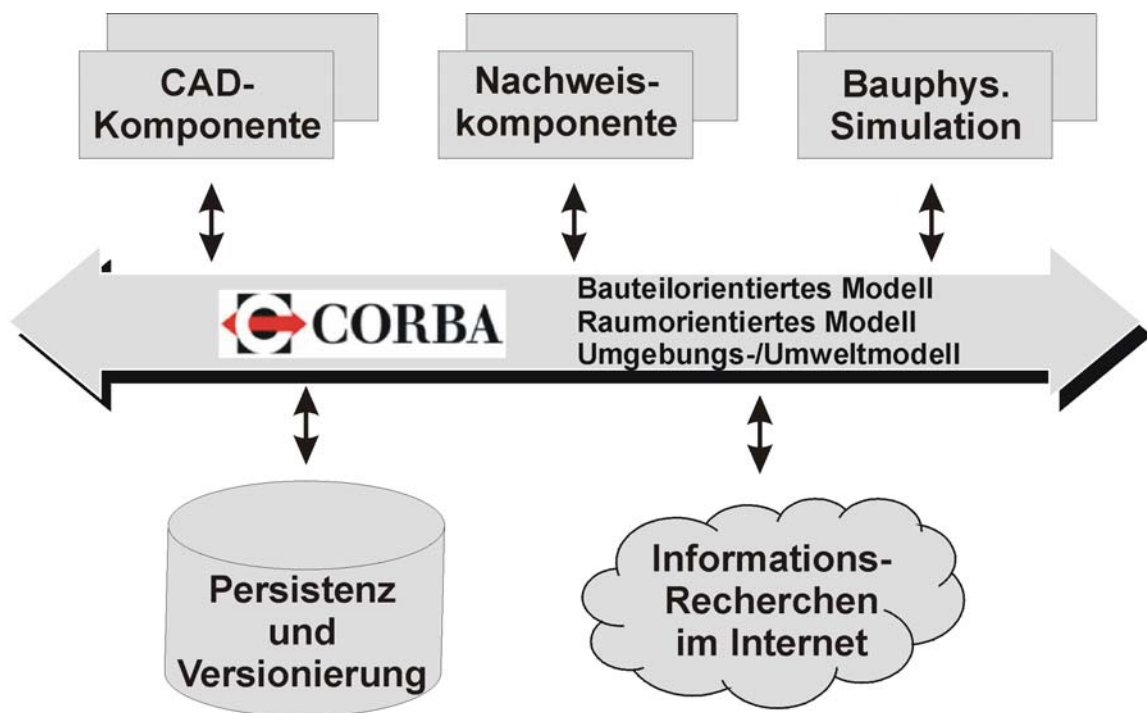


Abbildung 4: Middleware-Architektur des VAMOS-Systems

## 5. Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Beitrages wurde ein Softwaresystem für die Optimierung des Energiehaushaltes baulicher Anlagen in der Planungsphase auf Basis eines intelligenten, netzwerkbasierten Bussystems vorgestellt. Es wurden Gebäudemodelle entwickelt, die zentral im Netzwerk bereitgestellt werden, um so eine direkte Integration bauphysikalischer und klimatischer Aspekte in den Bauplanungsprozeß zu ermöglichen.

Mit dem vorgestellten Software-System ist eine direkte Abschätzung des Einflusses von baulichen Änderungen am Gebäudeentwurf möglich, so daß gezielte Maßnahmen für einen energetisch wirtschaftlichen Entwurf getroffen und planerische Fehler durch Bereitstellung von Wissen und Verarbeitungsregeln über Netzwerke vermieden werden können.

Das Internet und die neuen Software-Technologien eröffnen neue Möglichkeiten zur verteilten Ingenieurplanung in Computernetzen. Dabei wird einerseits eine netzwerkweite Kooperation verschiedener Fachplaner an einer Planungsaufgabe ermöglicht, andererseits lassen sich auch Bereiche der Ingenieurarbeit durch gezielten Nutzung des Internets und der Software-Technologien erheblich vereinfachen. In diesem Beitrag wurde eine Übertragung dieser Technologien auf das Arbeitsumfeld des Fachplaners in bauphysikalischen Planungsprozessen vorgenommen und die daraus resultierenden Vorteile im Hinblick auf eine verteilte energieoptimierte Gebäudeplanung aufgezeigt.

## 6. Literatur

- [1] Oestereich, Bernd: Objektorientierte Softwareentwicklung/Analyse und Design mit der UML, Oldenbourg, München, 1998
- [2] Fowler, Martin: Refactoring, Addison-Wesley, München, 2000
- [3] Theiß, Mirko: Implementierung einer middleware-basierten, persistenten Datenhaltung von Gebäudemodellen in AutoCAD R14, Darmstadt, 1999
- [4] Danny B. Lange, Mitsuru Oshima: Programming and deploying Java mobile agents with aglets; Addison Wesley Verlag; 1998
- [5] Orfali, R., u.a.: Instant CORBA, Addison-Wesley Longman, 1998