

Zeitschrift: Centrum : Jahrbuch Architektur und Stadt

Herausgeber: Peter Neitzke, Carl Steckeweh, Reinhart Wustlich

Band: - (1992)

Artikel: Architektur und Künstliche Intelligenz : zukünftige Computerprogramme zur Unterstützung des Entwurfs

Autor: Schmitt, Gerhard

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1073018>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Künstliche Intelligenz als Reizwort: Selten hat die lang zurückliegende, aber nicht besonders glückliche Wahl eines Begriffs für ein Fachgebiet eine so lang andauernde Auseinandersetzung nach sich gezogen. Dieser Artikel soll die ursprüngliche Aufgabenstellung der Künstlichen Intelligenz (KI) schildern und demonstrieren, daß und wie Techniken der KI in Computerprogrammen anwendbar sind, die den architektonischen Entwurf unterstützen. Er wird auch zeigen, daß der architektonische Entwurf eines der interessantesten Anwendungsgebiete für die KI überhaupt ist und daß beide Disziplinen voneinander lernen können.

Langfristig sehe ich die größte Bedeutung der KI für die Architektur darin, dazu beizutragen, das Gesamtwissen über das Bauen zu erhöhen und dem Architekten die Kontrolle über den gesamten Bauprozess wieder zu ermöglichen. Dies ist ohne die Existenz intelligenter Objekte, aus denen Architektur aufgebaut ist, Objekte, die Architektschaffende direkt sehen und manipulieren können, undenkbar. Die Objekte werden mit Architekten auf einem definierten Kompetenzniveau kommunizieren können. Erste Entwicklungen in diese Richtung werden hier vorgestellt.

Was war Künstliche Intelligenz?

Am Anfang steht die Definition dessen, was man ursprünglich unter KI verstand und worauf die ernsthafte KI-Forschung aufbaut. Der Begriff der KI kam 1956 nach einer Konferenz in Dartmouth zum Durchbruch. Damals wollte eine Gruppe junger Forscher in einer zweimonatigen Studie nachweisen, daß jede Art des Lernens und jeder andere Aspekt der Intelligenz so präzise beschrieben werden kann, daß eine Maschine konstruierbar ist, die dieselben Vorgänge simuliert. 30 Jahre später definieren Eugene Charniak und Drew McDermott den Begriff KI folgendermaßen: „Artificial intelligence is the study of mental faculties through the use of computational models.“¹ („Künstliche Intelligenz ist die Erforschung mentaler Fähigkeiten mit Hilfe von Computermodellen.“) Die an sich wenig kontroverse Definition basiert allerdings auf der fundamentalen Voraussetzung, daß das menschliche Gehirn zumindest auf einer Ebene wie ein Computer funktioniert. Diese implizite Annahme ist es wohl, welche die meiste Kritik und Verurteilung von KI nach sich zieht, ebenso wie die ursprünglich hochgesteckte Absicht, alle mentalen Prozesse, wie Lernen und Intelli-

genz, vollkommen zu erforschen und offenzulegen. Die Grundannahme scheint auch eine nahe Verbindung von KI und Psychologie zu indizieren. Jedoch sehen die meisten KI-Forscher ihr Feld als eigenständig an, müssen sie doch stets nachprüfbare Programme liefern, während in der Psychologie die experimentelle Bestätigung oft ausreicht.

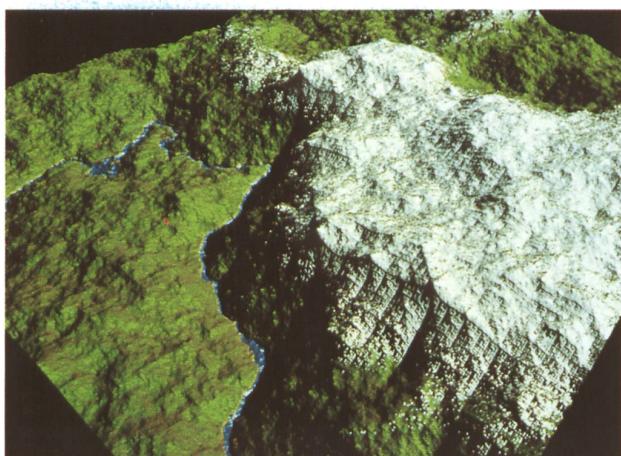
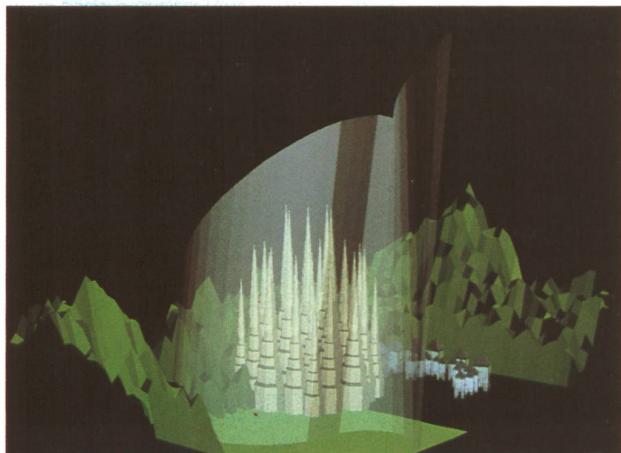
Anwendungen der Künstlichen Intelligenz

Entwickler von KI-Programmen versuchen Probleme zu lösen, an denen herkömmliche Programmieransätze scheitern. Sie arbeiten mit Wissen, repräsentiert in verschiedenster Form, von einfachen heuristischen Regeln bis hin zu komplexen Objekten und Prototypen. Verallgemeinernd lässt sich sagen, daß die Erfolge der KI um so überzeugender ausfallen, je präziser Anwendungsgebiet und Problemstellung eingegrenzt sind. Die bekanntesten Anwendungen existieren in der Medizin (Diagnose), im Computerwesen (Konfiguration) und in der Erdölindustrie (Auffinden von Erdölvorkommen). Diese Anwendungen der KI sind als Expertensysteme bekannt, also als Programme, die menschliches Expertenwissen so genau und umfänglich wie möglich spiegeln und abrufbar machen. Der Vorteil ist die fast unbegrenzte Kapazität des Computergedächtnisses und seine Eigenschaft, nichts zu vergessen. Diese Vorteile können sich bei bestimmten Problemen in Nachteile verwandeln, ebenso die explosionsartig ansteigende Zahl der Kombinationsmöglichkeiten bei wachsender Zahl von Wissensmodulen. Die Anwendungen von KI-Methoden sind jedoch weitaus vielfältiger. Die folgende – unvollständige – Auflistung lässt bereits auf potentielle Anwendungen in der Architektur und im Bauwesen schließen: Computer Vision (Erkennen von Gegenständen durch Computer), heute unabdingbar in Roboteranwendungen; Language Parsing und Language Comprehension (Sprachverständnis) nach Syntax und Semantik, heute eingebaut in kommerzielle Programme, auch auf Personal Computern; Search (Suche) durch gewaltige Search Spaces, welche mögliche Lösungen für die unterschiedlichsten Probleme beinhalten, heute Teil praktisch aller KI-Anwendungen; Logik und Deduktion, mit verschiedenen Anwendungen in mathematischen Beweisen; Expert Systems (Expertensysteme), mit Anwendungen in Diagnose und Planung; Learning (Lernen) nach verschiedenen, vom menschlichen Lernen abgeleiteten Methoden.

1 Fraktale Landschaft (Shen-Guan Shih) und fraktales Dorf (Gerhard Schmitt). KI-Bezug: Fraktale als Subset der Formengrammatiken, das grafische Pendant zu regelbasierten Systemen.

Architekturbüro und Computer

In Produkte umgesetzte Forschungsergebnisse der Computerwissenschaft haben in allen industrialisierten Gesellschaften Schlüsselfunktionen übernommen. Der Sektor der Information Technologies (IT, Informationstechnologien) liegt umsatzmäßig heute weltweit nach dem Energiesektor bereits an zweiter Stelle. In den Architekturbüros der Industrienationen ist eine breite Einführung von Computern seit Anfang der achtziger Jahre im Gang. Dabei haben sich mit geringer zeitlicher Verschiebung folgende Szenarien abgespielt: *Phase 1*: Generelle Skepsis gegenüber oder Verurteilung von Computern und insbesondere von CAD (Computer



ter Aided Design)-Programmen. *Phase 2*: Einführung von Textverarbeitung und Tabellenkalkulation, erste Kontakte mit CAD-Programmen. *Phase 3*: Erkenntnis der Vorteile von Computern in der allgemeinen Datenverarbeitung, Einsatz von CAD-Programmen in der Erstellung von Zeichnungen. *Phase 4*: Konsolidierung des Einsatzes von allgemeiner Datenverarbeitung und CAD im Architekturbüro, erste Kontakte mit CAAD (Computer Aided Architectural Design). Tatsache ist, daß am Anfang einer Phase meist fundamentale Skepsis steht und am Ende der Entwicklung eine sehr viel differenziertere Einstellung vorherrscht. Die Einführung von produktivitätssteigernden Zeichenprogrammen (CAD) in der Mehrzahl der Architekturbüros in den Industrienationen ist bereits Realität und zeigt die erwarteten Resultate. Es scheint, als sei das traditionelle CAD auf immer schnelleren Maschinen eine wirksame Hilfe und als sei mit der Unterstützung traditioneller Architekturtätigkeiten durch den Computer dessen Rolle genügend definiert. Dagegen ist die Anwendung von Computern und Programmen im Sinne der Entwurfsunterstützung (CAAD) noch weit weniger verbreitet. Ein Grund ist der Mangel an intelligenten Programmen, die in der Entwurfsphase Unterstützung bieten. Der KI bietet sich dadurch eine intellektuelle und praktische Herausforderung, die in der Geschichte der Technik nicht unbekannt ist: Mit einem neuen Instrument wird eine bestehende manuelle Tätigkeit zunächst unterstützt, erleichtert und schließlich ersetzt; eine Maschine wird entwickelt, die die menschliche oder, im Falle des Transports, die tierische Tätigkeit nachahmt; durch Fortentwicklung der Maschine gewinnt diese eine eigene Form und möglicherweise neue Funktionen, die sie im Laufe der Zeit zum selbständigen Instrument machen, das seinerseits wieder Rückwirkungen auf die Nutzer hat.

CAAD und Künstliche Intelligenz

Bei den bisherigen Einsatzgebieten von Computern im Bauwesen – EDV und CAD – konnten Architekten von den allgemein zur Verfügung stehenden Programmen profitieren. Mit der Entwicklung in Richtung Computer Aided Architectural Design wird die Frage wichtig, wer CAAD-Programme entwirft und implementiert. Tatsache ist, daß die wenigsten Programmierer Architekten sind oder einen architekturspezifischen Hintergrund haben. Die Soft-

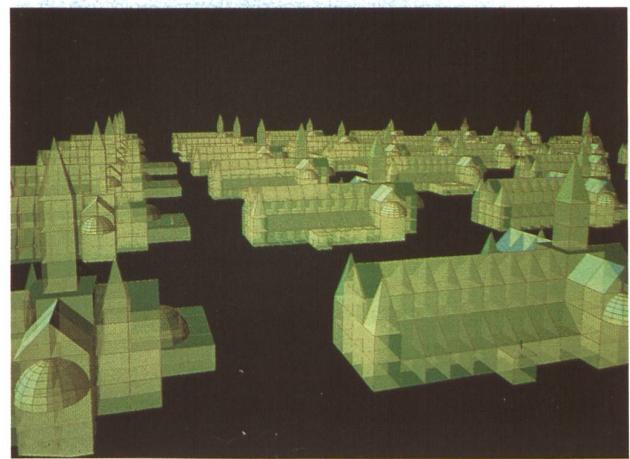
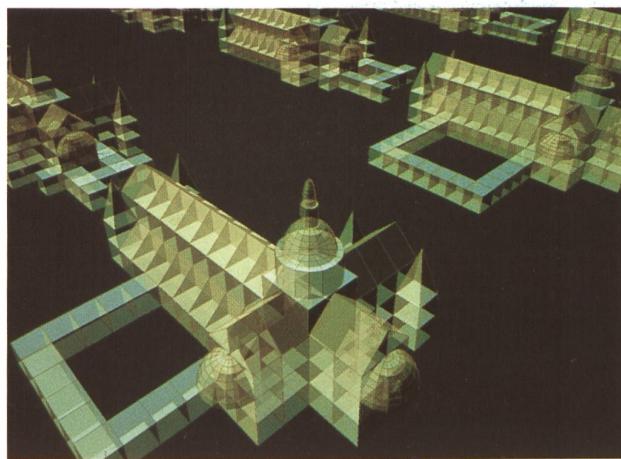
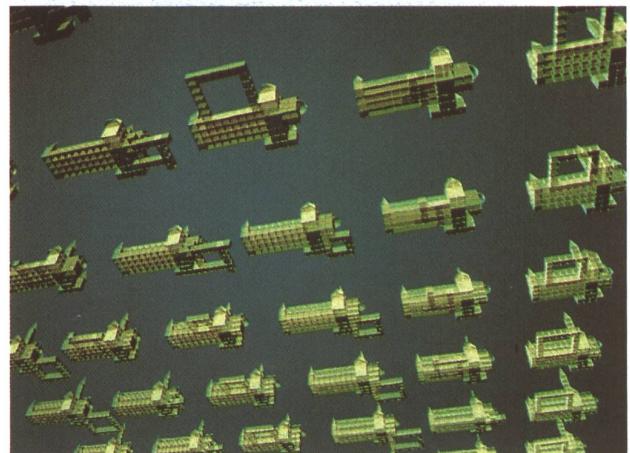
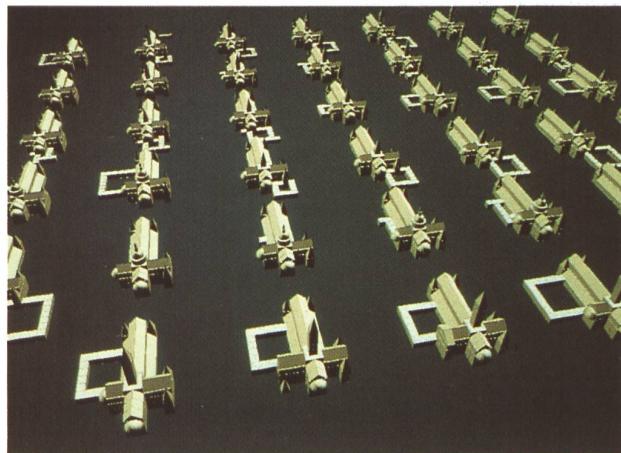
2 Formengrammatiken in der Studie von Klosteranlagen (Programm: Shen-Guan Shih). KI-Bezug: Formengrammatiken, das graphische Pendant zu regelbasierten Systemen, statten dreidimensionale Objekte mit minimalem „Wissen“ aus.

warehäuser beliefern den kommerziellen und professionellen Markt und müssen sich daher auf die Gebiete konzentrieren, die mit relativ wenig Programmieraufwand schnelle Resultate und hohe Verkaufszahlen bringen. Dies ist noch immer die Umsetzung von Papiermethoden auf den Computer – zweidimensionale Repräsentationen mit geringer Organisationstiefe.

Auch in der Architekturforschung konzentrierte man sich zunächst auf die Unterstützung traditioneller Methoden mit den neuen Maschinen, verdeutlicht in Forschungsgebieten wie Geometrie und Graphik. Die wenigsten der Forscher waren Architekten und konzentrierten sich deshalb auf die

Herstellung von Programmen, die das Resultat eines Prozesses, nicht aber den Prozeß selbst unterstützten. Daraus ergab sich ein fundamentales Mißverständnis über die Rolle des CAD im Entwurf:

Traditionelle Zeichenmethoden, eins zu eins auf den Computer übertragen, lassen sich nur bis zu einem gewissen Grad beschleunigen. Das Äquivalent wäre die Konstruktion eines Gefährts mit mechanischen Beinen, die sich zwar schneller als die menschlichen Beine bewegen würden, trotzdem aber rasch an eine Geschwindigkeitsgrenze stoßen würden. Die Durchsetzung neuer Methoden im Entwurf setzt demnach einen Paradigmenwechsel von CAD zu



3 Objekttypen und Detaillierungsgrade zur alternativen Erzeugung dreidimensionaler Objekte. Von links nach rechts ersetzen Objekte mit höherem Detaillierungsgrad ihre Vorgänger oder werden durch andere Typen ersetzt.

CAAD in Forschung und Praxis voraus, wobei die KI eine wesentliche Rolle spielt.

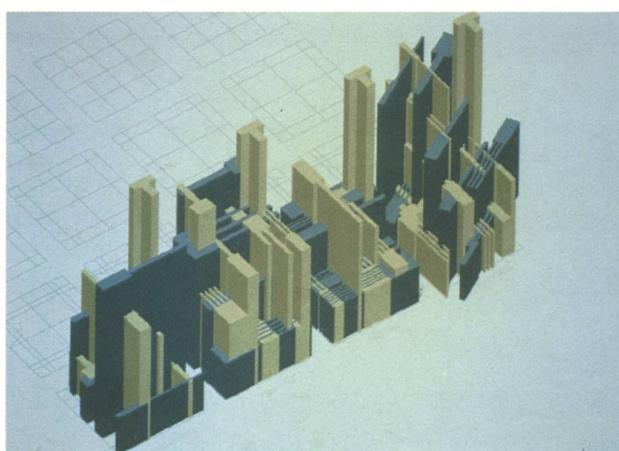
Programmiermethoden, die ursprünglich der KI zugerechnet wurden, sind Allgemeingut geworden und finden sich in wachsender Zahl in „traditionellen“ Computerprodukten. Von den meisten Anwendern unerkannt, befinden sich KI-Methoden und -Techniken auch bereits in kommerziellen CAD-Paketen in Anwendung. Stimmerkennung der Computer für Programmbefehle und Erkennung natürlicher Sätze und deren Umsetzung in Datenbanksuchbefehle sind Ergebnisse der KI-Forschung, die in Zukunft Bestandteil der meisten CAD-Programme sein werden. Geometrische Konstruktionshilfen, welche die am häufigsten verwendeten Vorgänge kennen oder lernen und diese unaufgefordert zur Verfügung stellen, sind eine weitere praktische Anwendung. Tatsache ist, daß CAAD in der Architektur inzwischen eine Reihe von Tätigkeiten unterstützt und neue erleichtert, die ohne dieses Hilfsmittel nicht möglich wären. Die Prämisse für die Zukunft ist, daß die KI-Forschung einen qualitativen Sprung vorbereiten kann, der die Stellung und das Schaffen von Architektur fundamental verändert. Nachfolgend einige Ansätze, die diese Annahme unterstützen.

Intelligente Objekte

Das amerikanische Verteidigungsministerium und große Flugzeughersteller untersuchen zur Zeit die Möglichkeit, mit Hilfe objektorientierter Datenbanken neue Flugzeuge

in ihrer Gesamtheit und in ihrer internen Organisation zu repräsentieren, also dem Computer über das Flugzeug und seine Funktionen Wissen und nicht nur Daten zu vermitteln.² Mit diesem Vorgehen wird den Computern und Programmen, die das Flugzeug steuern und im Ernstfall Pannen erkennen und beheben müssen, eine neue Entscheidungsqualität zugebilligt. Zumaldest im Management bestehender Gebäude, aber auch im Entwurf neuer Bauten sind solche Programme vorstellbar.

Voraussetzung für die Repräsentation von Artefakten im Computer ist, daß Wissen über diese Objekte in expliziter Form vorliegt. Das schließlich auf dem Bildschirm erscheinende Bild ist lediglich eine zweidimensionale Abstraktionsebene dieses Wissens. Die Vollständigkeit der gewählten Repräsentation entscheidet darüber, welche Art von Abfragen und Objektmanipulationen möglich sind. Mit Ausnahme von zweidimensionalen Pixelbildern enthält jede Objektrepräsentation auf dem Computer mehr Manipulationsmöglichkeiten als die Bleistiftlinie auf dem Medium Papier. Erst langsam lernen wir, die Manipulationsmöglichkeiten von Computerobjekten zu erkennen und vor allem zu nutzen. Die Papierzeichnung ermöglicht und verlangt die semantische Interpretation auf der Seite der Betrachtenden. Das ideale Computermodell dagegen beinhaltet und kennt die Semantik bereits ganz oder teilweise. Deshalb ist es denkbar, im Computer entsprechend definierte Objekte miteinander und aufeinander reagieren zu lassen. Die objektorientierte Programmierweise ist eine der Grundlagen für die Realisierung dieser Idee. Im objektorientierten Pro-

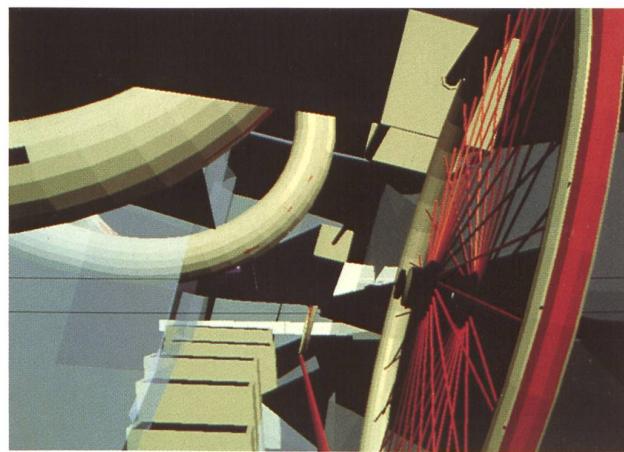
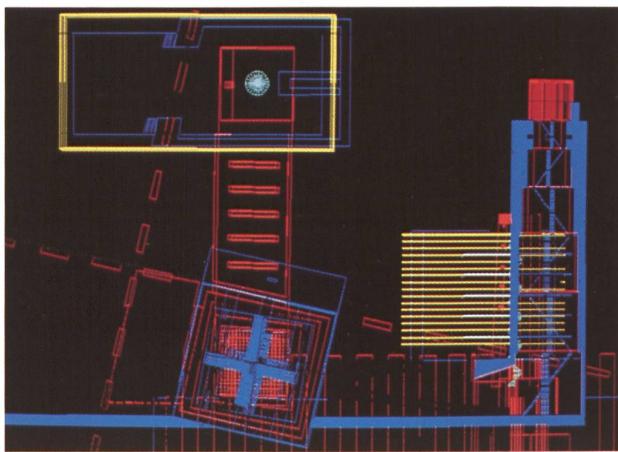
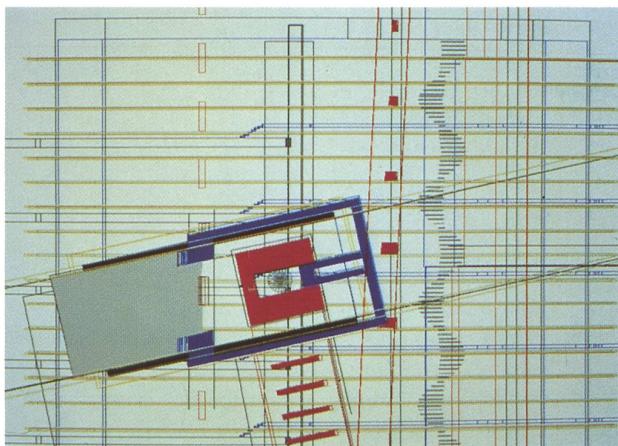


4 Objekttypen und Detaillierungsgrade zur alternativen Erzeugung dreidimensionaler Objekte. Die konsequente Verwendung von Objektklassen, die ihre Eigenschaften auf Unterklassen vererben, erlaubt das schnelle Modellieren und Modifizieren komplexer Objekte, hier zum Thema „Towers of Thought“.

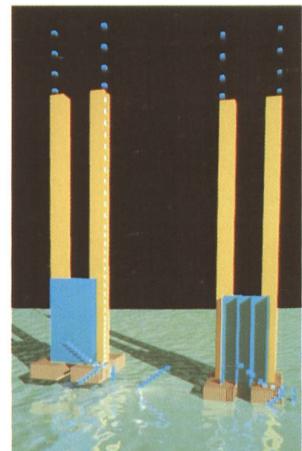
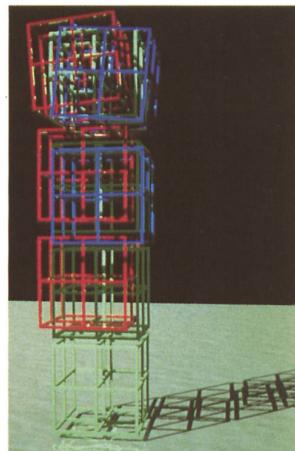
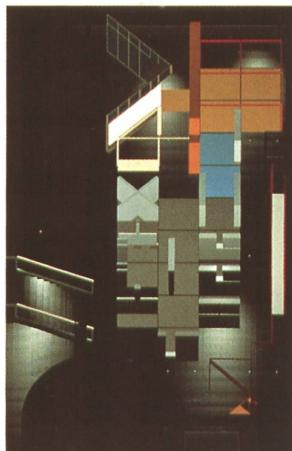
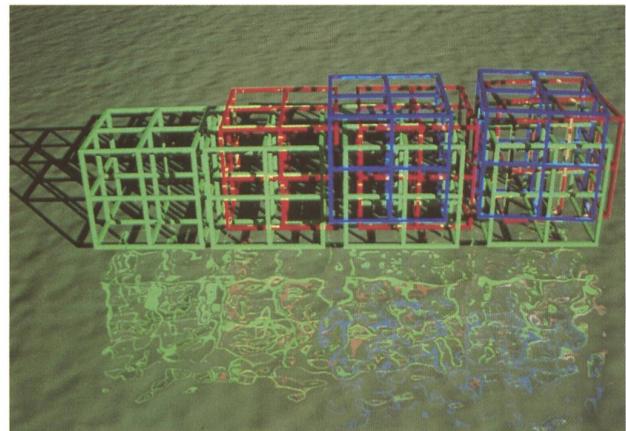
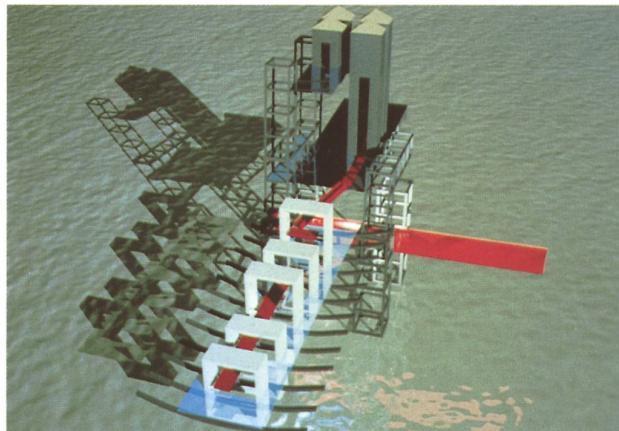
grammieren existiert eine Hierarchie von Objekten, die in Klassen zusammengefaßt sind. Mitglieder einer Klasse haben ähnliche Eigenschaften, die sie von ihrer Überklasse ererben. Objekte können miteinander durch Messages (Botschaften) kommunizieren, jedoch nur, wenn sie entsprechende Methods (Rezepturen und Methoden) besitzen. (Abbildungen 3 und 4).

Das gleiche Prinzip wird bereits bei allen graphischen Nutzeroberflächen angewandt und ergibt eine natürlich erscheinende Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Für die Architektur bedarf es jedoch wesentlich komplexerer Objekte als zum Beispiel Dateienbehälter, Uhren oder Kalkulatoren auf dem Bildschirm. Wir verfolgen daher die Entwicklung von intelligenten Objekten, in vereinfachter Form auch als Prototypen bekannt, die Wissen über sich

selbst und ihre Umwelt beinhalten. Nach Rosenman, Gero und Oxman bestehen Prototypen aus Informationen über Verhalten, Funktion und Struktur der Objekte, die sie repräsentieren.³ So können wir Architekturobjekte beschreiben, die in einem gegebenen Kontext bestimmte Funktionen erfüllen, ein entsprechendes Verhalten zeigen und eine dazu passende Geometrie besitzen. Die Interaktion der Prototypen geschieht über den Austausch von Botschaften. Damit wird die Entstehung eines Vokabulars intelligenter Objekte denkbar, die nach Regeln der Baukunst, des energiebewußten Bauens oder entsprechend Baugesetzen reagieren. Das Adjektiv ‚intelligent‘ bedeutet dabei das absolut unterste Niveau dieses Begriffs. Im folgenden Beispiele aus Lehre und Forschung, die die Praktikabilität dieser Ideen testen.



5 „Photorealistische“ Darstellung von Ergebnissen zum Thema „Towers of Thought“. Alle Modelle sind unter konsequenter Verwendung von Objektklassen, die ihre Eigenschaften auf Unterklassen vererben, hergestellt und mit einem Ray Tracer berechnet. Die Erzeugung einer virtuellen, also abstrakten Realität ist das Ziel dieses Prozesses.

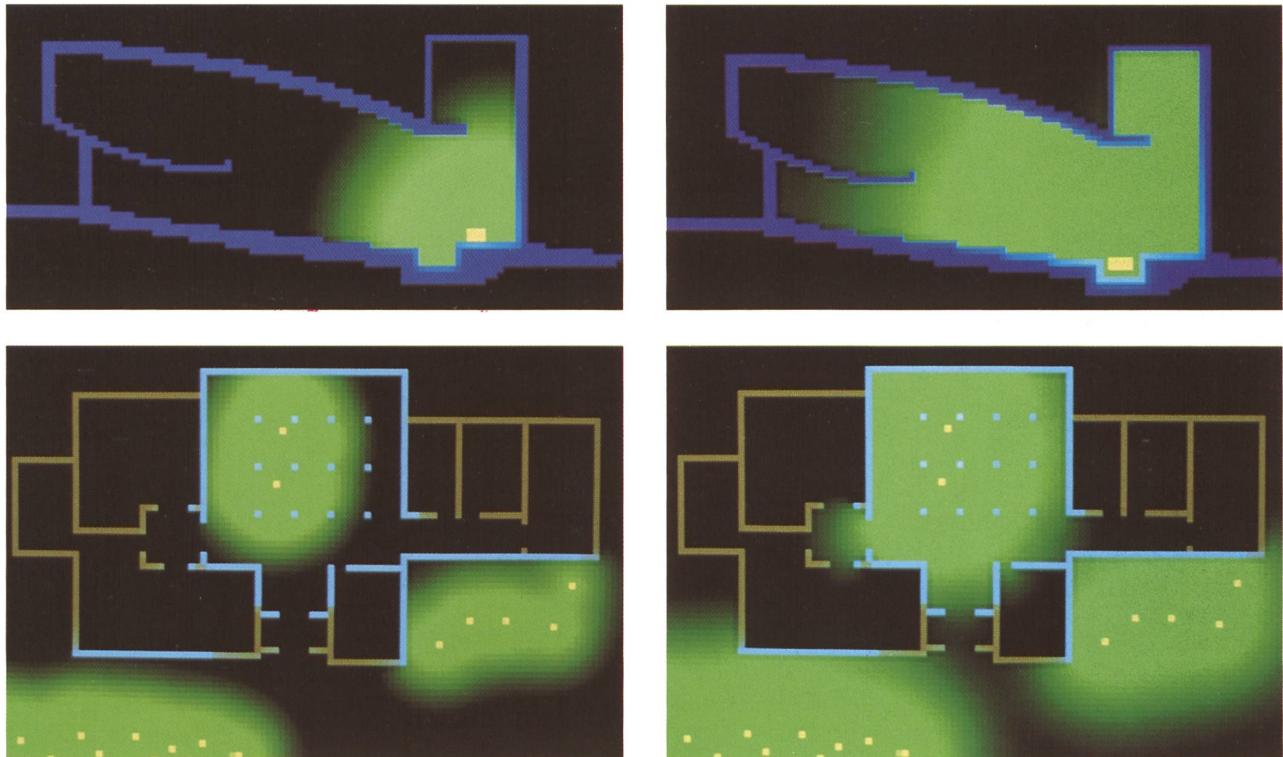


KI-Anwendungen in der Architekturforschung

Das zweidimensionale Zeichnen und das dreidimensionale Modellieren mit dem Computer können im Prinzip als gelöst angesehen werden, ebenso das Erstellen von Perspektiven und photorealistischen Darstellungen (Abbildung 5). Diese Tätigkeiten wurden im Lauf der Jahrhunderte stark formalisiert und auf mathematische Grundlagen gestellt.⁴ Schwierigkeiten ergeben sich bei der Computerisierung anscheinend einfacher Tätigkeiten, wie die direkte Ableitung aussagekräftiger Grundrisse, Schnitte und Ansichten aus einem dreidimensionalen Modell. Denn in diesen Fällen wird

architekturspezifisches Wissen erwartet, Konventionen, die das Weglassen oder Uminterpretieren von Information verlangen. Noch schwieriger wird es bei der Übertragung von Analogie und Induktion von der menschlichen Vorstellung auf den Computer.⁵ Dabei geht es um die Fähigkeit, aus ähnlichen oder gegensätzlichen Situationen Anregungen zu gewinnen und diese im konzeptionellen Modell zu verarbeiten (Abbildung 7). Cellula Automata sind eine weitere interessante Richtung, in der verschiedenste Wachstums- und Ausbreitungsprozesse simuliert werden können, mit Anwendungen von der Simulation von Schall und Feuer (Abbildung 6) bis zur Simulation der Entwicklung ganzer Städte.

6 Beispiele für Cellula Automata Programme. Qualitatives Bild der Ausbreitung von Schall (oben) und Feuer (unten) nach einer Vielzahl von Rechenschritten, die jeweils den Status der einzelnen Zellen simulieren (Programm: Shen-Guan Shih). KI-Bezug: Die einzelnen Zellen enthalten Information über sich selbst und ihre Umgebung und reagieren entsprechend auf Hindernisse.



Auf der Konferenz *CAAD futures '91* an der ETH Zürich enthielt die Mehrzahl der Beiträge aus Forschung, Erziehung und Anwendung Techniken der KI.⁶ Wegen der Komplexität des Entwerfens kommen in der frühen Entwurfsphase vor allem generative Methoden zur Anwendung, in der die Ziele und Regeln relativ genau definierbar sind. Formengrammatiken⁷, die wir als graphisches Pendant zu regelbasierten Systemen sehen, bringen bereits Ergebnisse in der Interpretation bestehender Architektur und in Ansätzen für neue Architektur (Abbildung 2). Im Gegensatz dazu sind die diagnostischen Systeme schwieriger zu definieren und zu implementieren, da die Vielzahl der Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung in einem Gebäude noch zu wenig erforscht ist. Das Problem bei der realistischen Simulation und Diagnose des Energieverhaltens eines Gebäudes ist ein Beispiel. Nachfolgend zwei Beispiele dafür, wie Architekturforschung auch zur Weiterentwicklung der KI beitragen kann.

Case-Based Reasoning: Lernen aus der Vergangenheit

Case-Based Reasoning (CBR, Fall-basiertes Schließen) ist eine neue Richtung der KI. Sie geht davon aus, daß bei der Lösung von Problemen nicht jedesmal alles von Grund auf neu generiert werden muß, sondern daß Lösungen der Vergangenheit ganz oder teilweise wiederverwendbar sind. Die dabei verwendeten Methoden sind die der Adaptierung, der Modifikation und der Kombination. Architektur stellt wohl die komplexesten bisher beschriebenen Fälle dar. Die Lösung des CBR in der Architektur gibt damit wichtige Anstöße für die KI.

Für die traditionelle Sicht des Entwerfens ergeben sich natürlich sofort potentielle Konflikte: Wo bleiben Kreativität und Innovation, wenn bestehende Bauten lediglich adaptiert und modifiziert werden? Wie ist dem Plagiat und der unberechtigten Nutzung fremder Architekturideen zu begegnen? Denn CBR ist eine hohe Form der Abstraktion, die

manchem realen Entwurfsvorgang nahekommt. Aus der CBR-Richtung sind die ersten Maschinenentwürfe zu erwarten, denn die Auswahl der verwendeten Fälle garantiert per definitionem die Qualität des adaptierten Resultats. Es ist absehbar, daß sich eine Vielzahl von Routine-Entwurfsaufgaben mit CBR lösen läßt.

Als Anwendungen haben wir Bauten der Schweizer Architekten Campi-Pessina gewählt. Erfolgreiche Adaptierung des Felder-Hauses an ein neues Grundstück stand am Beginn. Dazu war folgendes Vorgehen notwendig: Das Gebäude wurde in ein neues Grundstück gesetzt, auf das es nicht paßte. Daraufhin suchte und fand das Programm die Gebäudecken, die nicht innerhalb der Baulinien lagen, und parametrisierte das Gebäude entsprechend. Danach wurde auf mathematischem Weg die Vielzahl der Parameter auf wenige reduziert und das Gebäude entsprechend geometrisch angepaßt. Stellte sich heraus, daß dadurch die Proportionen oder die Flächen einzelner Räume unakzeptabel wurden, trat nach der geometrischen die topologische Adaptation in Kraft: Räume verschwanden entweder ganz oder wurden so verschoben, daß die Großform des Gebäudes, das U, bestehen blieb. Die Garantie der Großform geschieht durch Formengrammatiken, die Beibehaltung der Funktionen gewährleistet die Repräsentation in Form von Graphen.⁸

Graphical Knowledge Acquisition: Kommunikation zwischen Mensch – Maschine

Graphical Knowledge Acquisition (GKA, graphische Wissensaneignung) ist ein interessanter Grenzbereich in der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine. Wir wissen, daß in der Architektur viele Aufgaben einfacher durch graphische Manipulation von Symbolen oder Objekten als durch rein alphanumerische Interaktion zu lösen sind. Die visuelle Interaktion, eine Selbstverständlichkeit für den Menschen, ist für den Computer weniger klar: Es gibt kein Programm, das die Objekte, mit denen wir auf dem Bildschirm arbeiten, tatsächlich „sieht“. Vielmehr operiert der Computer auf einer weitaus primitiveren Ebene mit Symbolen und Zahlen als Repräsentationen der Objekte. Der Zusammenhang der Objekte selbst, ihre Vollständigkeit und ihre Beziehungen untereinander sind nur durch die korrekte Computerrepräsentation gewährleistet. Sollte es gelingen,

der Maschine eine ähnliche „Sicht“ der Dinge zu ermöglichen, wie wir sie besitzen, und zusätzlich mit Wissen zu verkoppeln, wäre ein weiterer Beitrag zur KI seitens der Architektur gegeben.

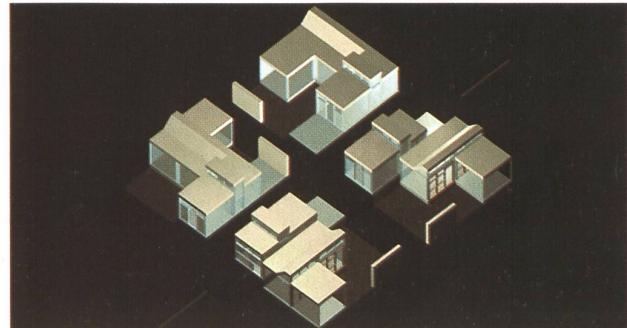
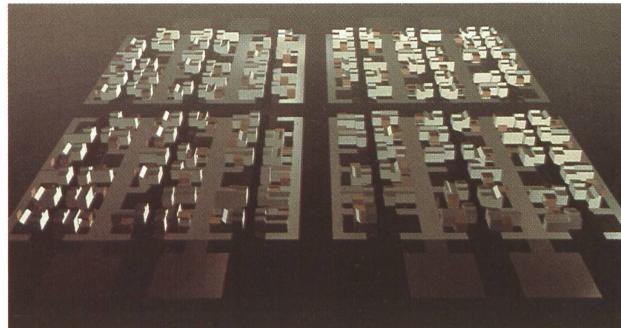
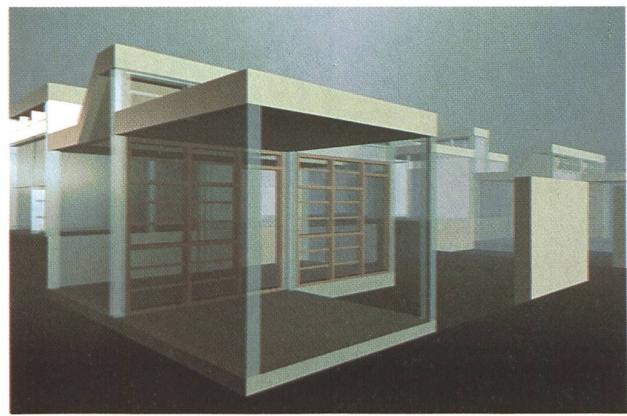
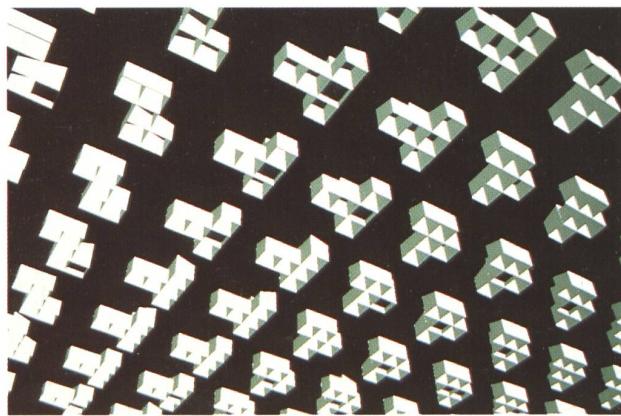
Hier setzt die GKA ein. Befreit man den Menschen von dem Zwang, alle Operationen und Manipulationen in alphanumerischer Form zu definieren, wird eine wesentlich natürlichere Interaktion zwischen Mensch und Maschine möglich. Zunächst gilt es dabei, die Objekte, mit denen man interagiert, mit entsprechendem Wissen auszustatten. Dies geschieht in Form von Methoden, die Objekten zugeordnet werden. So haben wir zum Beispiel einen Tisch, einen Projektor und einen Konferenzraum mit genügend Wissen versehen, um ein erwartetes Verhalten zu zeigen: Plaziert man den Tisch in den Raum, fragt er nach der Zahl der Sitze und redimensioniert den Raum entsprechend. Versucht man den Projektor zu positionieren, so stellt dieser sicher, daß er sich auf dem Tisch befindet, und er generiert gleichzeitig eine Projektionsfläche, die natürlich an einer Wand liegen sollte. Diese Art der Interaktion mit intelligenten Objekten hat zweierlei Vorteile: Zum einen erspart man sich eine Vielzahl mühsamer Berechnungen, zum anderen ist man in der Lage, die Regeln und das Wissen der einzelnen Objekte über sich selbst und über ihre Umwelt ständig zu verändern und zu erweitern. Dies geschieht durch einfaches Editieren der Frames (Rahmen), welche die Objekte repräsentieren.

Die zweite Anwendung von GKA ist die direkte Definition graphischer Regeln auf dem Bildschirm. In diesem Fall beschreibt man eine Form oder ein Objekt und danach die Regel, nach der ein zweites Objekt an das erste angelagert wird. Der Computer speichert diese Regel und ihre graphische Bedeutung und kann sie in der Zukunft stets wieder anwenden.

Eine dritte Anwendung von GKA ist die automatische Definition von Achsen und Beziehungen in einem dreidimensionalen Modell. Man stelle sich ein traditionell konstruiertes, zwei- oder dreidimensionales CAD-Modell vor, aus dem das GKA-Programm automatisch die wichtigsten Achsen herausfindet und das Modell parametrisiert. Danach ist eine Manipulation des Modells auf einem höheren Abstraktionsgrad möglich.

Kombinationen dieser Anwendung finden sich in Abbildung 7. In diesem Fall wurden Entwurfsregeln von Herbert Kramel (ETH Zürich, Architekturabteilung) in Lisp-Regeln umgewandelt und diese Regeln zur Erzeugung einer Viel-

7 Von einem Programm erzeugte Architekturobjekte, entsprechend einfachen Entwurfsumübungen. Jedes der Objekte ist verschieden. KI-Bezug: Umsetzung von Entwurfsregeln in Programmregeln. Geometrische Resultate der generativen Anwendung dieser Regeln.



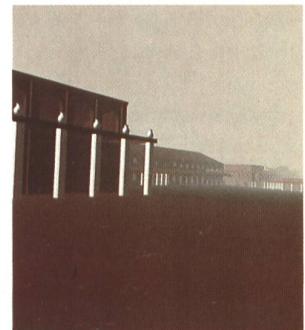
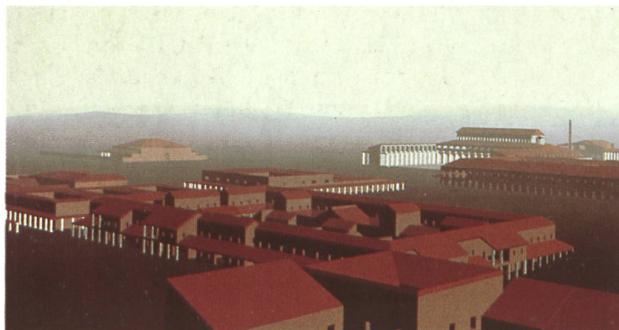
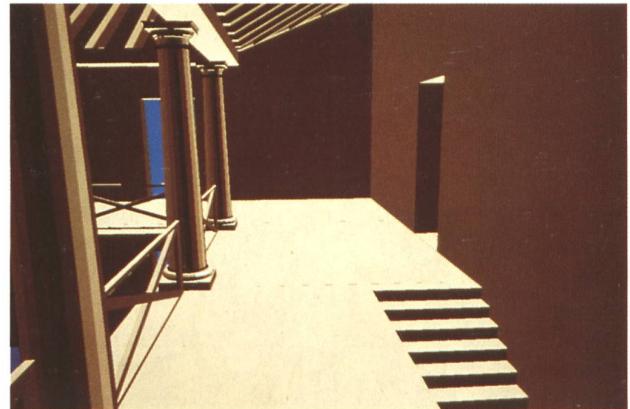
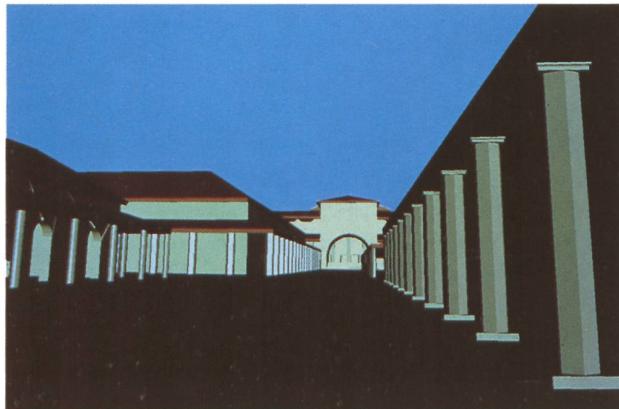
zahl von Anordnungen von fünf verschiedenen Wohnfunktionen auf einem 3×3 -Raster mit jeweils 3 Meter Seitenlänge benutzt. Die Kombinationsmöglichkeiten in der Ebene beliefen sich auf etwa 250 000, die dreidimensionalen Kombinationen auf über 500 Millionen Varianten. Es war klar, daß nicht alle Varianten erzeugt werden konnten. So wurde für ein Set „guter“ zweidimensionaler Grundrisschemata eine Zahl von dreidimensionalen Variationen erzeugt, aus welcher Kramel die besten auswählte. Das Programm verglich die ausgewählten Lösungen und entdeckte weitere Regeln, die in der ursprünglichen Liste der Regeln nicht vorhanden waren. Es hatte also implizite Regeln, die sich nur im Ergebnis ihrer Anwendung zeigten, explizit gemacht. Nachdem das Programm diese Regeln entdeckt und gelernt, also seinem bestehenden Regelrepertoire hinzugefügt hatte, erzeugte es, basierend auf diesem neuen Regelsatz, weitere Lösungen aus dem gewaltigen möglichen Lösungsraum, die

in ihrer Mehrzahl von den Evaluatoren als gut befunden wurden. Man muß dazu wissen, daß nur etwa jede 100 000. Lösung als architektonisch „gut“ bewertet wird, obwohl alle Lösungen den am Anfang aufgestellten Minimalregeln genügen. Damit hat GKA einen wichtigen, mit traditionellen Mitteln nicht lösbarer Auftrag erfüllt.

KI-Anwendungen in der Architekturlehre: Aventicum

Aventicum war eine römische Stadt in der heutigen Westschweiz, gegründet im 1. Jahrhundert. Die Rekonstruktion dieser antiken Siedlung erwies sich als hervorragendes Testgebiet für die Anwendung von parametrisierten Elementen, Formengrammatiken und Prototypen. Wir gingen von folgenden Annahmen aus: (1) Ausgegrabene Gegenstände erscheinen als dreidimensionale Datenbankobjekte; (2) in

8 Aventicum, mit Datenbankobjekten und parametrisierten Elementen hergestellte Szenen (oben). Gesamtansichten der teilweise rekonstruierten Stadt (unten). KI-Bezug: Prototypen als erste Beispiele „intelligenter“ Objekte.



verschiedenen Größen, aber gleicher Topologie auftretende Gegenstände werden als parametrisierte dreidimensionale Datenbankobjekte gespeichert; (3) in der Funktion gleiche, aber in Geometrie und Topologie variable Bauwerke werden in Form von Prototypen repräsentiert. Durch die Nutzung dieser Repräsentationsmethoden konnten wir den Großteil der Stadt in weniger als vier Wochen rekonstruieren. Die Rekonstruktion erhob keinen Anspruch auf archäologische Exaktheit, sondern spiegelte den Stand unseres Wissens über die Gebäudetypen und deren Einrichtung wider. Möbel, Balken und Säulen sind typische Beispiele für parametrisierte Elemente. Aus der geometrischen und topologischen Ähnlichkeit der Artefakte lassen sich Rückschlüsse auf deren Entstehungsprozeß ziehen. Parametrisierte Bauelemente finden sich bereits in den meisten CAD-Programmen. Ergebnisse sind in Abbildung 8 dargestellt.

Funktion, Verhalten und Struktur genügen zur Definition eines einfachen Prototyps. Wir implementierten drei Beispiele: Tempel, Theater und Therme. Die römische Therme besteht aus einer definierten Zahl von Räumen mit zugewiesenen Funktionen. Nur wenn alle Funktionen erfüllt sind, ist die Therme vollständig. Das Verhalten der Räume untereinander wird durch ihre Funktion mitbestimmt: So dürfen Kalträume nicht neben Heißräumen liegen, andere Räume müssen direkt vom Erholungsraum her zugänglich sein. Dagegen besteht großer Freiraum in der Struktur, das heißt, in der geometrischen Anordnung und Proportion der einzelnen Räume. Das von uns entwickelte Programm folgte den Entscheidungsschritten der Entwerfenden und gab direkten Feedback über Proportionen, Maße und Beziehungen. Ergebnisse der Verwendung der Prototypen und Gesamtansichten der Stadt finden sich in Abbildung 8.

Ausblick

Der ursprüngliche Einzug von Computern in die Architektur geschah über Insellösungen: Textverarbeitung, CAD, Statik, Kostenberechnung und anderes. Keines der Programme war zunächst in der Lage, mit den anderen zu kommunizieren. In den achtziger Jahren entstanden im kommerziellen Bereich integrierte Programme, die etwa Text, Graphik und Tabellenkalkulation kombinieren, oder CAD-Programme, die mit Statikprogrammen gekoppelt sind. Keines dieser Programme jedoch ist wirklich, das heißt, verständnishaft, sondern immer nur über sehr primitive, also syntaktische Mechanismen integriert. Man wird den Verdacht nicht los, daß – ähnlich der Aufteilung der Funktionen der Stadt und aller sich daraus ergebenden Konsequenzen – die Aufteilung der Tätigkeit des Architekturschaffens in viele kleine Problemlösungsprogramme, die dann einzeln hergestellt und vertrieben werden und nichts mehr voneinander verstehen, schwerwiegende Konsequenzen haben wird: eben die eindimensionale Architektur, die lediglich nach Geometrie oder Kosten, Energie oder Bau gesetzen optimiert ist und den Überblick über das Ganze verloren hat.

Die Lehre aus der gegenwärtigen Situation und aus den frühen integrierten Lösungen im CAD-Bereich ist, daß es zu keinem befriedigenden Ergebnis führt, immer komplexere, in sich geschlossene und vielleicht sogar intelligente Programme einzusetzen, die aber mit anderen Anwendungen nicht kommunizieren können. Kommunizieren bedeutet in diesem Fall nicht nur das Übertragen geometrischer Daten und Attribute, sondern den Austausch architekturspezifischer Informationen, da sonst zwischen den Programmen zwar Datenkommunikation erfolgt, aber Informationsvernichtung eintritt. Deshalb an dieser Stelle nochmals ein Plädoyer für intelligente, nicht eindimensionale Program-

me, die über sich selbst und ihr Umfeld Bescheid wissen und dementsprechend in den verschiedenen Entwurfsphasen Entscheidungshilfe bieten.

Im Lauf der vergangenen Jahre hat es sich gezeigt, daß der Kampf um den Begriff der KI nicht zu Ergebnissen führt und wahrscheinlich auch nicht führen wird, daß die Auseinandersetzungen mit diesem Thema jedoch äußerst nützliche Anstöße für das Programmieren und die Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion gegeben haben. Erst in allerletzter Zeit entdecken KI-ForscherInnen, daß zur Erkenntnis und Kommunikation komplexer Sachverhalte mehr als symbolische, geometrische oder schriftliche Informationen notwendig sind. Die Wichtigkeit des Zusammenwirkens verschiedener menschlicher Sensoren und Empfindungsmöglichkeiten wird durch die Konzentration auf das Ein- und Ausgabemedium Tastatur und Bildschirm unnötig beschränkt. Wir werden deshalb in Zukunft von multimedialen Präsentationen zu einem von multisensoralen Computern unterstützten Entwerfen und Darstellen gelangen.

Anmerkungen

- 1 McDermott, Drew, and Eugene Charniak, *Introduction to Artificial Intelligence*, Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1987, S. 6
- 2 Stix, Gary, *Objective Data*, in: *Scientific American*, March 1992, S. 87
- 3 Rosenman, M. A., John Gero, and R. E. Oxman, „What's in a Case: The Use of Case Bases, Knowledge Bases, and Databases in Design“, in: G. Schmitt (ed.), *CAAD futures '91*, Vieweg-Verlag, Wiesbaden 1992, S. 285–300
- 4 Schmitt, Gerhard, *Microcomputer Aided Design*, John Wiley & Sons, New York 1988
- 5 Chen, Chen-Cheng, *Analogical and Inductive Reasoning in Architectural Design Computation*, Dissertation, ETH Zürich, Juni 1991
- 6 Schmitt, Gerhard, (ed.), *CAAD futures '91*, Vieweg-Verlag, Wiesbaden 1992
- 7 Mitchell, William J., *The Logic of Architecture*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1990
- 8 Shih, Shen-Guan, „Case-Based Representation and Adaptation in Design“, in: G. Schmitt (ed.), *CAAD futures '91*, Vieweg-Verlag, Wiesbaden 1992, S. 301–312