

Wissensbasierte Mustererkennung zur Erfassung von Bauplänen

Volker Steinhage

Institut für Informatik I der Universität Bonn
D-53117 Bonn, Römerstraße 164

1 Motivation

Technologische Entwicklungen und (europäische) gesetzliche Vorgaben wie die ISO-Zertifizierung erfordern die digitale Archivierung von alten Bauplänen auf Papier oder Transparent.

1.1 Stand der Technik

Zur digitalen Erfassung der Altbestände stehen zwei Methoden zur Verfügung: (1) die Neuzeichnung mit Hilfe eines Digitalisierungstabletts oder durch "Screen Digitizing"; (2) die scantechnische Erfassung mit anschließender Vektorisierung der gescannten Rasterdaten (vgl. BRANDL 1996).

Die Neuzeichnung mit Hilfe eines Digitalisierungstabletts oder durch Screen Digitizing ist extrem zeit- und arbeitsaufwendig, sodaß sich die Scantechnik nach einer mehrjährigen Etablierungsphase erfolgreich durchgesetzt hat.

Die mit Hilfe eines Scanners erfaßten Pläne und Zeichnungen liegen zunächst als Rasterdaten vor. Die Weiterverarbeitung dieser Daten durch ein CAD-System erfordert jedoch eine vektororientierte Aufbereitung der Daten. Für diesen Vektorisierungsschritt stellen namhafte Software-Hersteller entsprechende Konvertierungsprogramme zur Verfügung.

Um akzeptable Resultate bei der Vektorisierung zu erreichen, ist i. a. entweder eine zeitintensive, interaktive Aufbereitung der Rasterdaten oder eine umfangreiche Parametrisierung der Software nötig. In beiden Fällen bleiben jedoch Ungenauigkeiten und Fehler der Vorlagen unberücksichtigt. In Branchen wie der Architektur, dem Hoch- und Tiefbau, dem Vermessungswesen und der Kartographie werden jedoch präzise und nahezu perfekte Ergebnisse der Vektorisierung erwartet, sodaß i. a. wieder eine interaktive und aufwendige Nachbearbeitung der erzeugten Vektordaten nötig ist.

1.2 Plan- und Zeichnungserfassung: Ein Interpretationsproblem

Die Gründe für die oft notwendigen interaktiven Eingriffe des Benutzers bei der Vektorisierung von Rasterdaten – angefangen von aufwendigen Aufbereitungen der Rasterdaten bis hin zu Korrekturen der abgeleiteten Vektordaten – sind in einer mangelnden Modellierung der *Inhalte* der bearbeiteten Pläne und Zeichnungen zu suchen.

Die Darstellung von dreidimensionalen Objekten in zweidimensionalen Zeichnungen und Plänen geht zunächst mit einem Dimensionsverlust einher. Darüber hinaus zeigen zahlreiche Vorlagen eine hohe Informationsdichte, in der die maßstabsgerechte Zeichnung, die Maßketten, verschiedene Schriftfelder und Einzelbeschriftungen dicht nebeneinander oder sogar partiell überlagernd vorzufinden sind. Eine automatische Informationsselektierung wird dadurch extrem erschwert. Zusätzlich erschweren Verschmutzungen, Vergilbungen, Blaupauseschlieren etc. den Interpretationsprozeß.

Ein erfolgversprechendes Konzept zur automatischen Vektorisierung von gerasterten Bauplänen kann deshalb nicht auf eine präzise Modellierung der dargestellten Objekte und deren Relationen einerseits sowie der eingesetzten Darstellungsmethoden andererseits verzichten.

1.3 Wissensbasierte Mustererkennung

Die Interpretation von technischen Plänen und Zeichnungen ist dem Gebiet der Dokumentenanalyse zuzuordnen, die wiederum eine Teildisziplin des Bildverstehens, also der automatischen Interpretation von Bildvorlagen durch wissensbasierte Methoden der Mustererkennung darstellt.

Alle Interpretationssysteme enthalten explizit und implizit Modelle über die zu erkennen- den Objekte. Die Interpretation eines – überwiegend aus syntaktischen Konstruktions- bzw. Zeichnungsoperatoren – generierten Modells erfordert speziell ein *semantisches Modell* des Gegenstandsbereichs “Gebäude” und “Bauzeichnung” (vgl. BRAUN *et al.* 1995).

Das semantische Modell eines realen Objekts sollte die gesamtheitliche Bedeutung des Objekts in seinem Anwendungskontext beschreiben. Somit umfaßt das semantische Modell neben rein geometrischen Daten auch *begriffliche* Objekte wie Wände, Fenster und Türen einschließlich ihrer topologischen Strukturen und Relationen, ihrer Namen, Bezeichnungen, physikalischen Gegebenheiten und funktionalen Eigenschaften.

Da der Suchraum für Interpretationsprobleme schon in einfachen Fällen sehr komplex werden kann, sind Strategien zur Suchraumreduktion durch Methoden der Künstlichen Intelligenz wie etwa intelligentes Backtracking, A*-Algorithmen, Constraint-Verarbeitung oder Ansätze mit autonomen Agenten wichtig für den Entwurf eines Gesamtsystems (s. MORGENSTERN 1993).

2 Automatische Grundrißinterpretation

Im folgenden wird exemplarisch ein wissensbasierter Ansatz zur Interpretation von Grundrißplänen mit Methoden der Bildverarbeitung und der Mustererkennung vorgestellt. Als Eingabe akzeptiert das Verfahren einen in Graustufen eingescannten Grundrißplan im PCX-Format. Der gegenwärtige Bearbeitungsstand geht von handgezeichneten Vorlagen mit Schablonenschrift aus. Als Ausgabe generiert das Verfahren eine geometrische und inhaltliche Interpretation des Grundrisses, in der die einzelnen Räume und deren Maße, Nachbarschaften, Tür- und Fensteröffnungen etc. spezifiziert sind. Die Interpretation ist in das Standard-Vektorformat DXF konvertierbar.

2.1 Modellierung

Die Grundlage des Interpretationsvorgangs bildet das Modell eines Grundrißplans. Die Grundrißmodellierung beschreibt zunächst den allgemeinen Aufbau eines Grundrißplans in der Form von erwarteten Plazierungen und Relationen von Schriftfeldern, Maßketten und der Grundrißzeichnung selbst. Darüber hinaus werden Aufbau und Inhalte der Schriftfelder, Maßketten und des Grundrisses spezifiziert, insbes. die zeichnerischen Darstellungen und Anordnungen einzelner Bauelemente (Mauerteile, Fenster, Türen, Treppen etc.) einschließlich charakteristischer Parametersätze mit spezifischen Wertebereichsbeschränkungen sowie Relationen (Nachbarschaften, Verbindungen, Geschoßzugehörigkeiten, etc.) zueinander und zum gesamten Grundriß.

Diese domänenspezifischen Regeln dienen zur korrekten Gruppierung der Zeichenelemente zu grundrißspezifischen Bauelementdarstellungen durch Prozesse der Mustererkennung. Als Zeichenelemente werden zusammenhängende Linien, klassifizierbare Linienverbindungen (engl.: Junctions, vgl. SUGIHARA 1986) sowie homogene Regionen durch Routinen der Bildverarbeitung aus den zugrundeliegenden Rasterdaten extrahiert.

Das gegenwärtige Grundrißmodell modelliert rechteckige Grundrisse, Wände aus Mauerwerk und Beton sowie Türen-, Fenster- und Treppenelemente als Bauelemente.

2.2 Grundrißinterpretation

Die modellbasierte Interpretation eines Grundrisses sucht gezielt nach Maßketten, Schriftfeldern und der Rißzeichnung selbst. Jede dieser Einheiten wird wiederum durch gezielte Exploration der sie konstituierenden Komponenten erkannt. Diese Komponenten werden gebildet aus Maßlinien, Maßlinienverbindungen, Maßangaben, Wortfeldern sowie den zeichnerischen Darstellungen der Bauelemente. Jede dieser Komponenten ist wiederum durch charakteristische Muster von Pixeln bei Buchstaben und Ziffern bzw. von Linien und Linienverbindungen bei Maßketten und Bauelementdarstellungen beschrieben.

Der eingescannte Grundriß liegt als Grauertrasterbild vor. Im ersten Bearbeitungsschritt werden die Zeichnungselemente vom Zeichnungshintergrund getrennt. Hierzu werden alle Grauwertpixel im Rahmen einer binären Klassifikation als helle Hintergrundpixel bzw. dunkle Zeichnungspixel interpretiert. Um unterschiedlichen Kontrasten aufgrund von Vergilbungen, Verschmutzungen etc. zu begegnen, wird eine lokal adaptive Binarisierungsmethode nach EIKWIL *et al.* 1991 eingesetzt.

In den äußeren Bereichen des binarisierten Rasterbildes erwartet das Grundrißmodell Maßketten oder Schriftfelder. Diese werden von zwei spezialisierten Routinen **Masskette** bzw. **Schriftfeld** detektiert und interpretiert. Die Routine **Masskette** verwendet das Prinzip der Linienverfolgung (s. HABERÄCKER 1989) zur Detektion der Maßlinien und ihrer Verbindungen. Zur Erkennung der Maßangaben sowie der Worte in den Schriftfeldern setzen beide Routinen eine adaptive OCR (Optical Character Recognition, Buchstabenerkennung) ein, die auf individuelle Schreibmuster durch statistisches sowie konnektionistisches Lernen angepaßt werden kann. Die Routine **Schriftfelder** setzt zudem ein Lexikon ein, das zu erwartende Schlüsselworte oder Kürzel wie "GRUNDRISS" oder "M. 1:100" umfaßt. Die durch das Lexikon identifizierten Begriffe sind zur inhaltlichen Interpretation des Plans geeignet.

Im inneren Bereich erwartet die Modellierung die Rißzeichnung selbst. Ausgehend vom ersten gesetzten Pixel jenseits der äußeren Maßketten und Schriftfelder setzt die Kontrollroutine **Rißezeichnung** sukzessive Aufrufe an Unterroutinen **Mauerwerkteil**, **Fenster**, **Tür**, **Treppe** etc. ab. Die Routine **Tür** sucht – ebenfalls durch den Einsatz des bereits oben genannten Linienverfolgungsmoduls – nach dem für Türen charakteristischen Linienmustern, wobei die Zeichnungsstärke der Linien miteinbezogen wird. Analog arbeiten die anderen Unterroutinen. In den Plan eingetragene Bezeichnungen werden durch die oben genannte lexikongestützte OCR erkannt. Hierbei ist auch die Identifikation der dargestellten Räume möglich, wobei die im Lexikon gespeicherten Synonymverweise (z.B. Wohnen, Wohnraum, Wohnzimmer) hilfreich sind.

3 Experimentelle Ergebnisse

Das beschriebene Verfahren wurde zur Analyse von handgezeichneten Grundrißplänen im Maßstab 1:100 programmiert. Zur Beschriftung wurden Schriftschablonen verwendet. Abbildung 1 zeigt einen der verwendeten Testpläne.

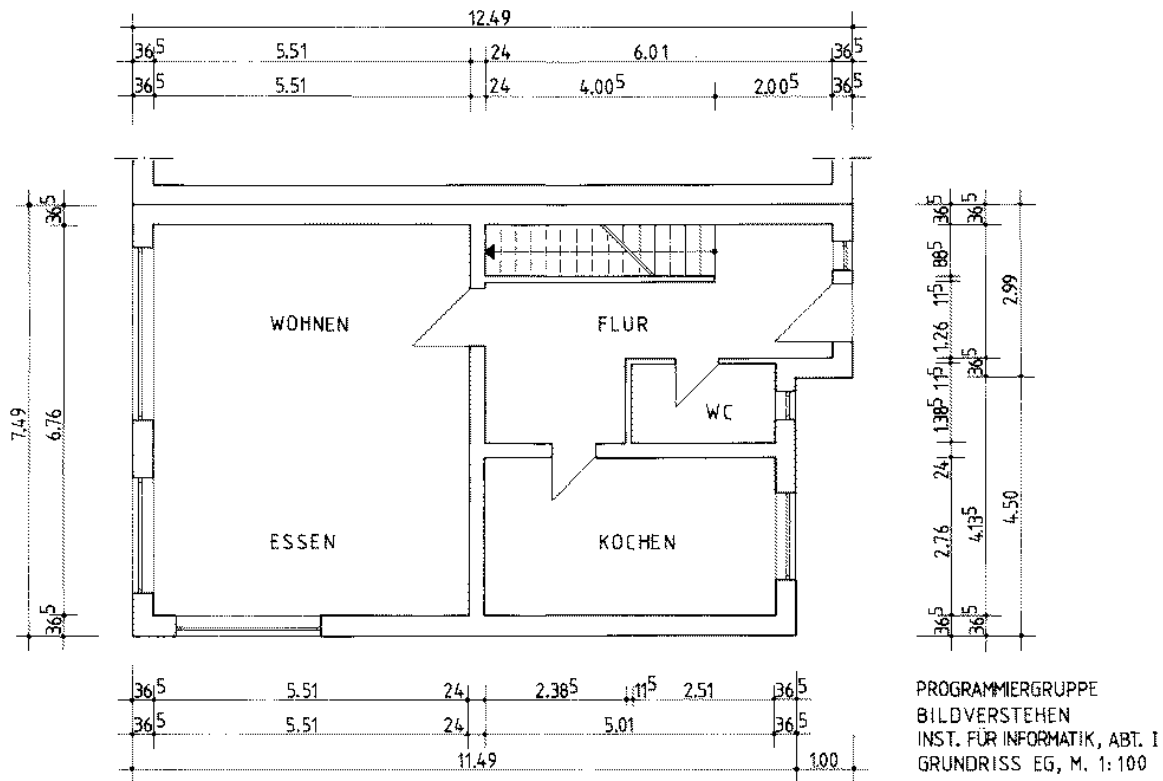


Abbildung 1: Digitales Rasterbild eines Grundrißplans zum Test des Verfahrens.

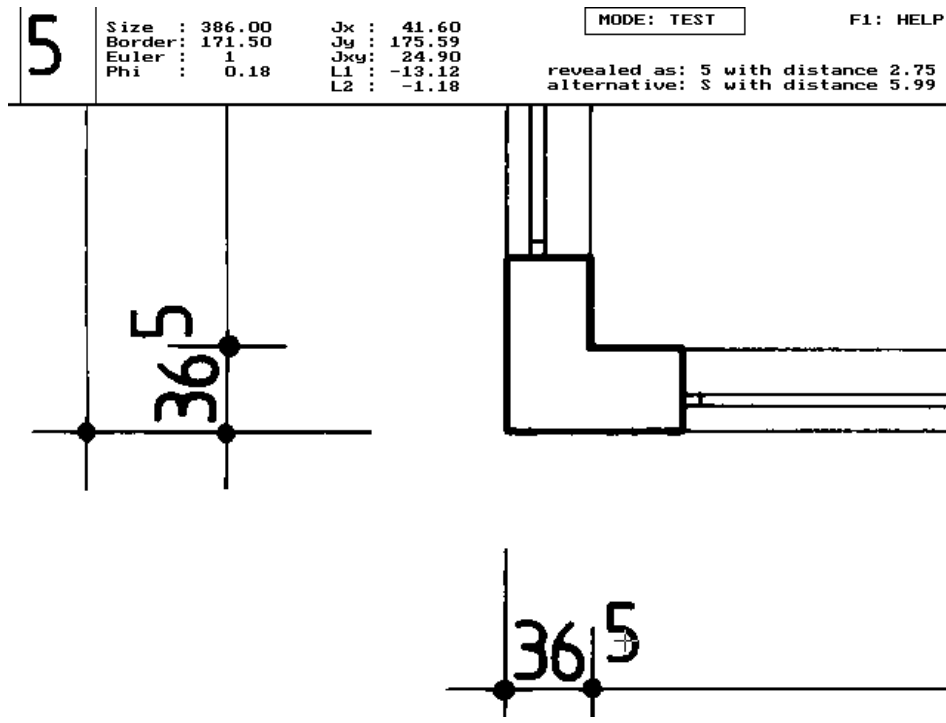


Abbildung 2: Testphase der adaptiven OCR.

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Testphase der trainierten OCR, in der der Benutzer Ziffern im Rasterbild anwählt und das System die Interpretationen der Ziffern durch Distanzen zu den gelernten Interpretationsklassen berechnet. Die minimale Distanz drückt die gewählte Interpretation – in diesem Fall als Ziffer 5 und nicht als Buchstabe S – aus.

Die folgende Abbildung 3 gibt einen Ausschnitt der geometrischen Interpretation des in Abbildung 1 gezeigten Grundrisses wieder. Die Zahlenangaben sind dort noch in Pixeln gegeben. Der benannte 2. Raum wird in der folgenden Konsolidierungsphase durch das in seinem Inneren erkannte Schriftfeld "Kochen" als Küche identifiziert und mit den durch Vertikal- bzw. Horizontalverschiebungen zugeordneten Bemaßungen assoziiert.

```

2. Raum der Raumliste
Eckpunkte
Eckpunkt: (1749,1045)
Eckpunkt: (1749,1253)
Eckpunkt: (2138,1257)
Eckpunkt: (2143,1044)
Tueren:
Oeffnungspunkt: (1873,1155)
Mauerpunkt 1 (1867,1039)
Mauerpunkt 2 (1988,1038)
Fenster:
Linke Obere Ecke (2146,1115)
Reche Untere Ecke (2197,1194)
Treppe(n):
keine Treppen

```

Abbildung 3: Ausschnitt aus der geometrischen Raumerkennung.

4 Bewertung und Ausblick

Die gegenwärtige Prototypimplementierung zur automatischen Grundrißinterpretation zeigt eine 2D-Modellierung der zeichnerischen Darstellung selbst. Die 2D-Modellierung beschreibt die Zuordnung von Daten zu Modellkomponenten und die Zuordnung von Komponenten zu stufenweise komplexeren Aggregaten. Die räumlichen und baulichen Komponenten eines Grundrisses werden identifiziert, mit der Bemaßung assoziiert und einander zugeordnet.

Spätestens bei der Konsistenzüberprüfung zwischen verschiedenen Grundrissen, Schnitten und Ansichten eines Gebäudeobjekts muß neben der 2D-Modellierung einzelner Zeichnungen auch der gesamte räumliche Zusammenhang des Gebäudeobjekts in Betracht gezogen werden. Aus diesem Grund ist eine Erweiterung um eine 3D-Modellierung erforderlich.

Diese Erweiterung führt zu einem Gesamtmodell, das alle Zusammenhänge (1) zwischen Modellierung und Daten, (2) zwischen dreidimensionalen Objekten und deren zweidimensionalen Darstellungsmethoden und (3) zwischen Aggregaten und deren Komponenten beschreibt. Abbildung 4 zeigt dieses Gesamtmodell in der Form von drei Beschreibungsdimensionen (vgl. BRAUN *et al.* 1995):

- Die vertikale Achse beschreibt Prozesse der Aggregation (*Bottom-Up*) bzw. der Komponentenzerlegung (*Top-Down*) im Sinne von *Part-Of*-Relationen.
- Die horizontale Achse beschreibt Transformationen von 3D-Objekten zu 2D-Darstellungen im Sinne einer zeichnerischen Repräsentation mit Bemaßung und Beschriftung einerseits und einer räumlichen Interpretation andererseits.
- Die Tiefenachse beschreibt die Zuordnung von Modellen und Dateninstanzen im Sinne einer Subsumption der Instanzen durch die entsprechenden Modelle bzw. durch eine dateninduzierte Adaption der Modelle mit Hilfe von Lernmechanismen.

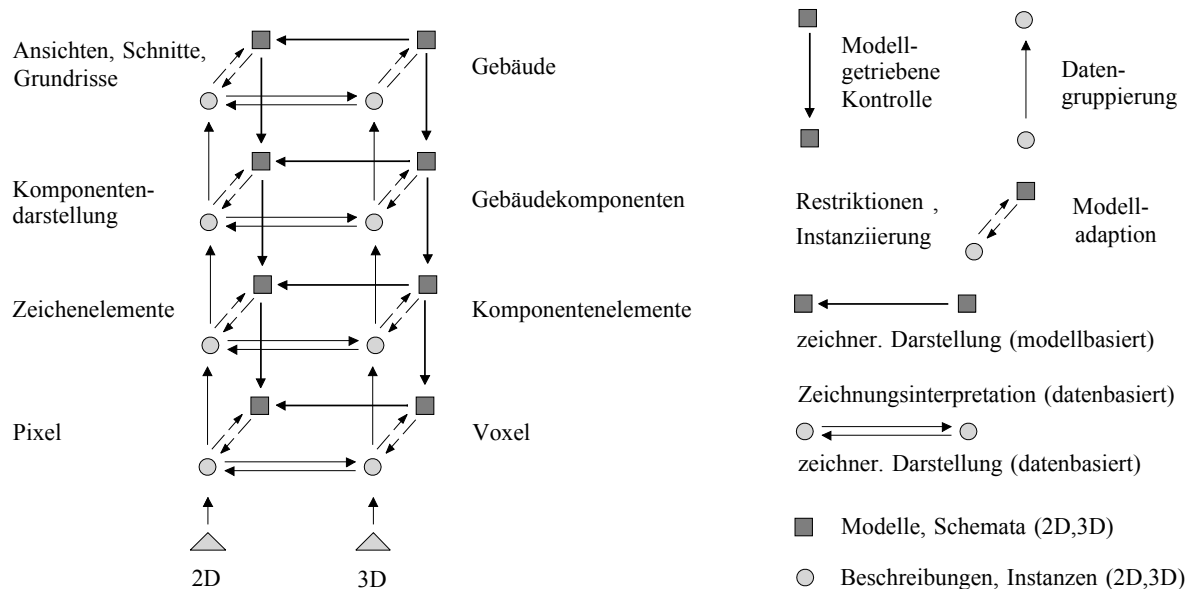


Abbildung 4: Die Gesamtmodellierung von Gebäuden und Bauzeichnungen.

IN NIEHÖRSTER UND STEINHAGE 1995 stellten wir einen auf 3D-Modellen basierenden Ansatz zur räumlichen Rekonstruktion von Tragwerken aus digitalisierten Photo- oder Videoaufnahmen vor. Die Kombination der 3D-Modellierung aus jener Arbeit mit der in STEINHAGE 1994 präsentierten auf der Aspektgraphennotation basierenden 2D-Bildmodellierung sowie der in diesem Beitrag vorgestellten 2D-Zeichnungsmodellierung führt zu einem semantischen Gesamtmodell gemäß Abbildung 4, das zur modellbasierten Rekonstruktion von Tragwerken aus Bildvorlagen und Bauzeichnungen dient. Die Realisierung dieses Gesamtmodells zur räumlichen Erfassung von Tragwerken definiert die Zielsetzung unserer gegenwärtigen Arbeit.

Danksagung: Diese Arbeit findet im Rahmen einer Kooperation mit dem Lehrstuhl für Baukonstruktion I der Fakultät für Architektur der RWTH Aachen statt. Ich danke den Kooperationspartnern für wertvolle Diskussionen. Ferner hat die Arbeit sehr von Projekt "Semantische Modellierung und Extraktion räumlicher Objekte aus Bildern und Karten", insbes. dem Teilprojekt "Gebäudextraktion" profitiert. Ich danke der DFG für die Unterstützung dieser Arbeiten und den Projektpartnern für die fruchtbare Zusammenarbeit.

Literatur

- BRANDL, B. (1996): Scannen und Vektorisieren. *CAD User Deutschland*, Ausgabe Jan./Febr.:14–17, 1996.
- BRAUN, C.; KOLBE, T.H.; LANG, F.; SCHICKLER, W.; STEINHAGE, V.; CREMERS, A.B.; FÖRSTNER, W.; PLÜMER, L. (1995): Models for Photogrammetric Building Reconstruction. *Computer & Graphics*, 19(1):109–118, 1995.
- EIKWIL, L.; TAXT, T.; MOEN, K. (1991): A Fast Adaptive Method for Binarization of Document Images. In: *Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, ICDAR '91*, Seiten 435–443, 1991.
- HABERÄCKER, P. (1989): *Digitale Bildverarbeitung*. Hanser, 1989.
- MORGENSTERN, K. (1993): *Anpassung im Bauentwurf mittels aktiver autonomer Objekte*. Fabel-Reports. Ges. für Mathematik und Datenverarbeitung, St. Augustin, 1993.
- NIEHÖRSTER, R.; STEINHAGE, V. (1995): Automation of Measurement, Evaluation, and Redesign in Structural Engineering within an Integral Architectural Approach. In: *6th Intern. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering, Berlin 12-15 July, 1995*, 1995.
- STEINHAGE, V. (1994): Zur 3D-Gebäuderekonstruktion aus digitalen Bildfolgen. In: *Int. Kolloquium über Anwendungen der Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen IKM'94*, 1994.
- SUGIHARA, K. (1986): *Machine Interpretation of Line Drawings*. MIT-Press, 1986.