



# Zielorientierte Integration und Adaption von Bildanalyseprozessen

J. Pauli, A. Blömer, C.-E. Liedtke, B. Radig

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms *Modelle und Strukturanalyse bei der Auswertung von Bild- und Sprachsignalen* wurde das Projekt *Wissensbasiertes Konfigurationssystem für Bilddeutungssysteme* [Liedtke und Blömer, 1987-1990] sowie das Projekt *Wissensgesteuerter Strukturvergleich* [Radig und andere, 1985-1989] durchgeführt. Unter den verschiedenen Zielen in beiden Projekten lag ein gemeinsamer Schwerpunkt insbesondere darin, die Steuerparameter der Verfahren automatisch dem zugrundeliegenden Bildmaterial anzupassen. Im ersten Projekt ging es darum, für ausgewählte Verfahren der Bildvorverarbeitung die Steuerparameter so zu adaptieren, daß ein möglichst gutes Segmentierungsergebnis entsteht. Beim zweiten Projekt sollten durch Toleranzparameter Abweichungen beim Vergleich zwischen Bild- und Modellstruktur ausgeglichen werden. Auf der Grundlage der in beiden Projekten erfolgten Implementierungen konzipieren wir in diesem Beitrag ein integriertes System zur adaptiven Bildanalyse.

## 1. Einführung

Die 2D-Analyse von Einzelbildern kann als eine Sequenz von Verfahren folgender drei Abstraktionsebenen angesehen werden [Haralick und Shapiro, 1993]. Die Transformationen auf der Signalebene führen unter anderem zu Rauschverminderung und Kontrastverbesserung und ermöglichen somit eine Bildverbesserung. Mit dem Übergang in die Segmentebene wird ein Bild in einfache Bestandteile, wie Punkte, Kanten oder Regionen zerlegt. Hierzu werden unter anderem Verfahren der Binärbilderzeugung, Kantenextraktion, Konturverfolgung, Regionenextraktion und Regionenvergrößerung eingesetzt. Schließlich müssen diese Bestandteile zu einer 2D-Struktur gruppiert und interpretiert werden. Die Verfahren dieser Strukturebene basieren etwa auf iterativer Relaxation, dynamischer Optimierung und Graph-Matching [Pauli, 1993a].

Die Verfahren der drei Abstraktionsebenen verfügen über einstellbare Steuerparameter, mit denen Einfluß auf die Resultate genommen werden kann [Russ, 1992]. Auf der Signalebene

führt etwa die Wahl von Filtermasken zu Veränderungen in den Grauwert-Histogrammen. Auf der Segmentebene müssen Schwellenwerte gesetzt werden, die die Anzahl und Größe der Segmente beeinflussen. Und schließlich sind auf der Strukturebene die vorgegebenen Toleranzen entscheidend dafür, ob der Vergleich zwischen Modell- und Bildstruktur zur Zuordnung führt [Radig, 1987]. Für die Lösung einer übergeordneten Aufgabe müssen einerseits geeignete Verfahren kombiniert und andererseits die genannten Steuerparameter geeignet eingestellt werden [Matsuyama und Hwang, 1990]. Wird ein Bildverarbeitungssystem beispielsweise für den autonomen Betrieb eines Robotersystems eingesetzt [Proteau und Elliott, 1992], so muß diese Konfigurierung und Parameterisierung ohne Benutzer-Interaktion erfolgen. Die Ansätze zur automatisierten Verarbeitung von Bildern basieren auf Verfahren der Adaptiven Signalverarbeitung (Widrow und Stearns, 1985) und des Maschinellen Lernens (symbolisch und neuronal, siehe [Bowyer, 1993] und [Kulkarni, 1994]).



Prof. Dr. Bernd Radig ist seit 1986 Inhaber des Lehrstuhls Bildverstehen und Wissensbasierte Systeme am Institut für Informatik der Technischen Uni München. Seit 1988 ist er Direktor des Bayerischen Forschungszentrums für Wissensbasierte Systeme (FORWISS) und zur Zeit Sprecher der Arbeitsgemeinschaft der deutschen KI-Institute (AKI). Besonderes Interessengebiet ist die Entwicklung von Methoden zur Interpretation von Bildern und Bildfolgen, sowie deren Anwendung in der Praxis.



Dr. Josef Pauli studierte Informatik und war anschließend wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informatik der Technischen Uni München. Dort promovierte er 1992 über Erklärungs-basiertes Computer-Sehen von Bildfolgen. Gegenwärtig ist er als Assistent am Lehrstuhl Kognitive Systeme der Uni Kiel mit der Entwicklung eines autonomen Greifroboters beschäftigt.

Prof. Dr.-Ing. Claus-E. Liedtke leitet am Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der Uni Hannover die Abteilung „Automatische Bildinterpretation“. Wesentliche Arbeitsschwerpunkte sind die modellbasierte Analyse von Bildern und Bildfolgen, 3D Modellierung aus multisensoriellen Daten und Bildfolgen, wissensbasierte Bildanalyse, sowie Anwendungen dieser Verfahren, vorwiegend im Bereich der Automatisierung.



Dipl.-Ing. Arnold Blömer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der Uni Hannover in der Abteilung „Automatische Bildinterpretation“. Wesentliche Arbeitsschwerpunkte sind die wissensbasierte Konfiguration von Bildanalyseprozessen und das automatische Erlernen von Konfigurationswissen.



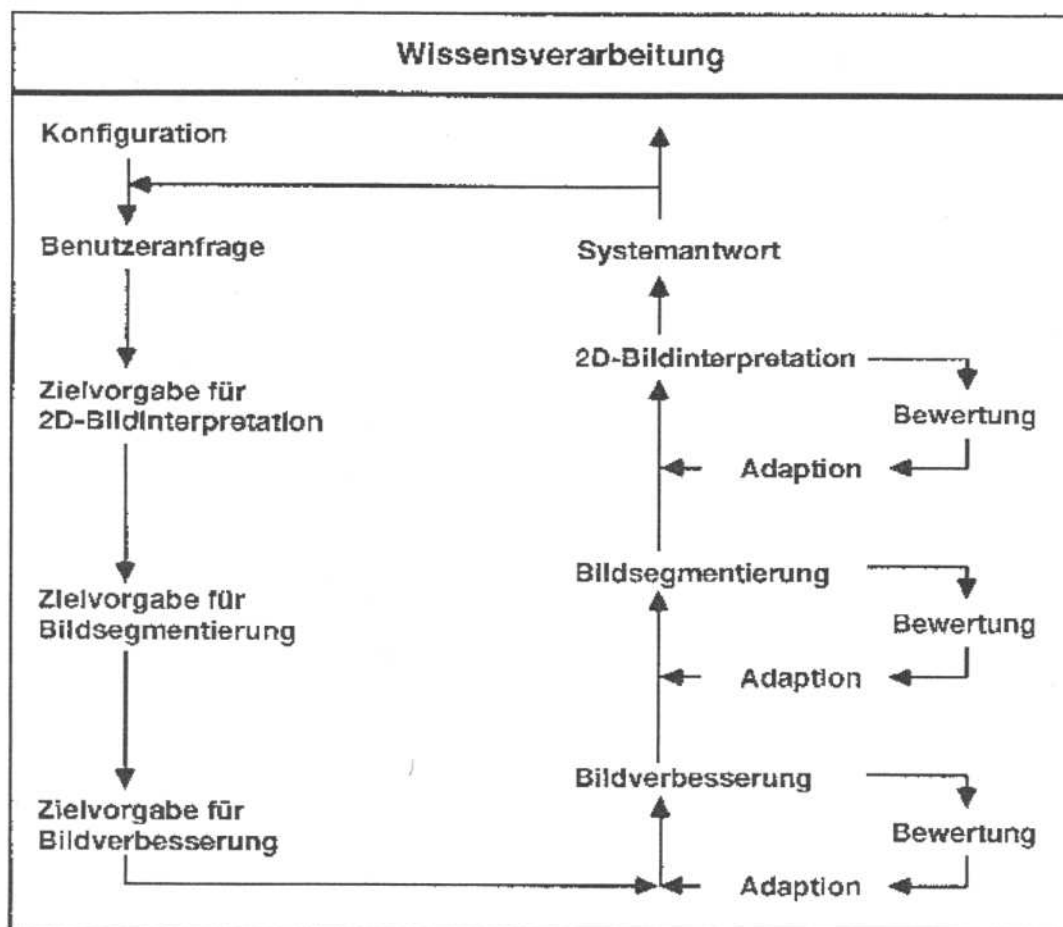


Bild 1: Konzept zur integrierten, adaptiven 2D-Bildanalyse.

## 2. Systemkonzeption

Wir beschreiben das Konzept eines integrierten, adaptiven Systems, das automatisch eine 2D-Analyse von Bildern durchführt (siehe Abbildung 1).

Dabei soll erstens die starre Trennung zwischen den drei Abstraktionsebenen Bildverbesserung, -segmentierung und Bildinterpretation aufgehoben werden. Zweitens wollen wir explizit Abhängigkeiten zwischen den Steuerparametern formulieren. Und drittens sollen die Steuerparameter des Gesamtsystems adaptiv kontrolliert werden. Die Verfahren der niedrigen Ebenen sollen auf die Bedürfnisse der Verfahren der höheren Ebenen und somit letztlich auf eine Anfrage des Benutzers ausgerichtet werden. Ausgehend von der Benutzeranfrage leitet man top-down zunächst Zielkriterien für die Verfahren der drei Abstraktionsebenen ab. Die anschließende Bildverbesserung und -segmentierung erfolgt somit zielgerichtet, um die nachfolgende Bildinterpretation zu unterstützen. Zusätzlich sollen die Ergebnisse der Bildverbesserung steuernd auf die Bildsegmentierung, und die Ergebnisse der Bildsegmentierung steuernd auf die Bildinterpretation einwirken. Dies erfolgt dadurch, daß bottom-up die Ergebnisse einer Abstraktionsebene zur Initialisierung der Steuerparameter für Verfahren der jeweils nächst höheren Ebene führt. Ausgehend von den initialen Steuerparametern erfolgt auf jeder Ebene eine Adaption der Verfahren bis die jeweiligen Zielvorgaben erfüllt sind. Somit wird also die 2D-Bildanalyse in integrierter Weise, top-down und bottom-up, adaptiv gesteuert. In den nachfolgenden sieben Punkten präzisieren wir das Systemkonzept.

### Interaktive Konfiguration eines Gesamtsystems

Mit Hilfe eines Graphik-Editors selektiert der Systembenutzer implementierte Bildanalyseverfahren, und konfiguriert sich sukzessiv sein individuelles Gesamtsystem. Dieses ist aus Verfahren zur Bildverbesserung, Bildsegmentierung und Bildinterpretation zusammengestellt. Zusätzlich sind zu den jeweiligen Verfahren Funktionen bereitzustellen, die die Ergebnisse bewerten. Ein automatischer Konfigurationsansatz wird unten näher beschrieben.

### Benutzerfragen an das System

Die Bildinterpretation erfolgt durch Bereitstellung einer 2D-Modellstruktur und anschließendem Vergleich mit der Bildstruktur. Das Ergebnis des Vergleichs ist eine Zuordnung zwischen Teilen der Modell- und der Bildstruktur. Mit Hilfe einer nachfolgenden Bewertung der Zuordnung kann festgelegt werden, unter welchen Bedingungen die Bildstruktur als interpretiert gelten kann. Beispielsweise ist beim Vergleich von Modell- und Bildpolygonen die Anzahl der Lücken bei der Kantenzuordnung ein wichtiges Bewertungsmerkmal. Die Aufgabe des Systembenutzers besteht darin, aus geometrischen Primitiven und Nachbarschaftsbeziehungen eine 2D-Modellstruktur aufzubauen und Zielvorgaben für die Ergebnisse der Bildinterpretation festzulegen. Diese beiden Angaben können als Anfrage an das konfigurierte System bezüglich der fotografierten Szene aufgefaßt werden.

### Zielkriterien für die Bildsegmentierung

Um ein Bild geeignet in Bestandteile zu zerlegen, ist die Bildsegmentierung zielorientiert durchzuführen. Das Ergebnis einer Segmentierung ist charakterisiert durch skalare Merkmale wie Anzahl und mittlere Größe der Segmente, mittlere Orientierung von Segmenten in bestimmten Ausschnitten, höchster und niedrigster mittlerer Grauwert von Regionen, Anzahl der Kanten von Polygonen, etc. Für diese Merkmale sind Zielvorgaben festzulegen. Diese wiederum hängen unmittelbar mit den Zielvorgaben der Bildinterpretation zusammen und sind eben aus diesen abzuleiten.

### Zielkriterien für die Bildverbesserung

Das Ergebnis der Bildverbesserung ist charakterisiert durch komplexe Merkmale wie Histogramme oder skalare Merkmale wie mittlere Intensität, Kontrast, Entropie, o.ä. Folglich sind eben für diese Merkmale Zielvorgaben festzulegen. Diese sollen möglichst aus den Zielkriterien der Bildsegmentierung abgeleitet werden.

### Adaptive Durchführung der Bildverbesserung

Zum Zwecke der Bildverbesserung sind etwa punktbezogene Methoden, sowie lineare (Tiefpaß-, Hochpaß-, Sobelfilter) und/oder nichtlineare Operatoren (Median-, Sigmafilter) heranzuziehen. Parameter sind Maskengrößen und -orientierung und Verstärkungsfaktoren. Das Ergebnis der Bildverbesserung ist zu vergleichen mit den zugehörigen Zielvorgaben. Falls diese noch nicht erreicht sind, dann muß eine geeignete Modifikation der Parameter erfolgen. Dabei sind insbesondere Ergebnisse der Bildverbesserung aus früheren Iterationen der Adaption einzubeziehen. Zur Feststellung von Änderungen sind Definitionen für die Ähnlichkeit, etwa zwischen Histogrammen, erforderlich.

### Adaptive Durchführung der Bildsegmentierung

Zur Segmentierung sind etwa einfache und lokal adaptive Schwellenwertverfahren heranzuziehen. Parameter sind dabei Schwellenwerte oder Intervalle für Grauwerte, minimale oder maximale Segmentgröße, o.ä. Hinzu kommen beispielsweise Verfahren zur Approximation von Regionskonturen als Polygone. Parameter ist hierbei ein Toleranzband für die Kontur. Das Ergebnis der Bildsegmentierung ist zu vergleichen mit den zugehörigen Zielvorgaben. Falls diese noch nicht erreicht sind, so muß eine geeignete Modifikation der Parameter erfolgen.

### Adaptive Durchführung der Bildinterpretation

Die Bildinterpretation erfolgt durch einen toleranten Vergleich zwischen Modellstruktur mit der Bildstruktur. Heranzuziehen ist etwa der auf Cliquen-Suche in Kompatibilitätsgraphen basierende symbolische Strukturvergleich. Als Parameter sind Toleranzen für die Merkmale der Modellstruktur einstellbar. Das Ergebnis der Bildinterpretation muß die zugehörigen Zielvorgaben erfüllen. Falls diese noch nicht erreicht sind, so ist eine geeignete Modifikation der Parameter durchzuführen.

### Wissensrepräsentation

Für die top-down Vorgabe von Zielkriterien und die bottom-up Propagierung von Parametern muß Wissen über die Art des Zusammenhangs zwischen den Verfahren formalisiert werden. Beispiele hierfür sind die Kombination von linearen und/oder nichtlinearen Grauwertoperatoren, die Kombination von Verfahren der Regionextraktion mit der Polygonapproximation, und die Kombination von Bildverbesserungsverfahren mit Verfahren der Bildsegmentierung und Segmentierungsverfahren mit der Bildinterpretation. Den Zusammenhang zwischen Bildsegmentierung und Bildinterpretation soll folgendes Beispiel erläutern. Wenn die Interpretation aufgrund von Bildregionen

erfolgt, und dabei die Regionengröße entscheidend ist, so ist ein wichtiges Zielkriterium für die Segmentierung die Mindestgröße oder die mittlere Größe von Regionen. Darüberhinaus muß für die zielgerichtete Adaption Wissen über die Verfahren und die Wirkung von Parameterveränderungen formalisiert werden. Dabei handelt es sich um Abhängigkeiten (qualitative und/oder quantitative) zwischen Parametermodifikationen und dem zugehörigen Verlauf der Verfahrensergebnisse, sowie um Adaptionsstrategien zur Zielannäherung, um Konfliktlösungsstrategien bei konkurrierenden Vorschlägen zur Modifikation von Parametern, etc. Die Repräsentation dieses deklarativen Wissens kann in sogenannten Frames erfolgen, die die vielfältigen Informationen über die Verfahren durch eine Menge von elementaren Fakten speichern. Nachfolgend werden die in beiden DFG-Projekten erfolgten Implementierungen zur adaptiven Bildsegmentierung und Bildinterpretation anhand von beispielhaften Anwendungen näher erläutert.

## 3. Implementierung und Experimente

### Implementierung der adaptiven Bildsegmentierung

Ein Bildsegmentierungsprozeß ist formal die Anwendung einer Folge von Bildverarbeitungsoperatoren. In der Adaptionsphase werden für eine mögliche Operatorenfolge Parameter ermittelt, die ein akzeptables Optimum (im allgemeinen Nebenoptimum) im Sinne der Güteforderung darstellen [Liedtke und andere, 1991]. Die Parameteradaption erfolgt in mehreren Adaptionszyklen. Jeder Zyklus beinhaltet die Verarbeitung eines Testbildes mit einer zu beurteilenden Operatorenfolge, die Beurteilung des Verarbeitungsergebnisses und Schlußfolgerungen wie die Parameterwerte hinsichtlich einer optimalen Verarbeitung zu modifizieren sind. Das prozedurale Wissen dazu und über die Ablaufsteuerung ist in Form der sogenannten Adaptionsregeln kodiert. Eine Adaptionsregel ist im allgemeinen ein Situations-Aktions-Paar, wodurch abhängig vom jeweiligen Adaptionszustand und den Informationen über die Verfahren ein geeigneter Adaptionsschritt ausgeführt wird.

### Implementierung der adaptiven Bildinterpretation

Die Ausgangssituation beim Vergleich von Modell- und Bildstruktur ist eine hypothetische Zuordnung von Primitiven bzw. Beziehungen zwischen Primitiven. Diese rudimentäre Zuordnung wird ausschließlich durch die Toleranzparameter der korrespondierenden Merkmale bestimmt. Das endgültige Ergebnis des Vergleichsverfahrens, d.h. die eindeutige, optimale Zuordnung zwischen Modell- und Bildstruktur, hängt somit von den Toleranzparametern der Merkmale ab. Die adaptive Steuerung des Vergleichsverfahrens erfolgt deshalb durch iterative Modifikation der Toleranzparameter [Pauli, 1990]. Dies führt zur sukzessiven Verbesserung der Zuordnung zwischen Modell- und Bildstruktur. Beim Start der Adaption sind Zielvorgaben bereitzustellen, um eine akzeptable Zuordnung zu beschreiben. Auf diese Weise wird formal spezifiziert, wie gut eine Zuordnung zwischen Modell- und Bildstruktur sein muß, damit das Bild als interpretiert gelten kann. Ein Adaptionszyklus umfaßt die Schritte der Anwendung des Vergleichsverfahrens auf die Relationengebilde von Modell- und Bildstruktur, der Bewertung der resultierenden Zuordnung und schließlich der Modifikation von Toleranzparametern. Für eine zielorientierte Steuerung werden geeignete Adaptionsstrategien eingesetzt. Die Adaption ist beendet, sobald die Zuordnung alle Zielkriterien erfüllt.

### Beispielhafte Anwendungen

Die Verfahren der adaptiven Bildsegmentierung und Bildinterpretation wurden erprobt bei der Lageerkennung von Werk-



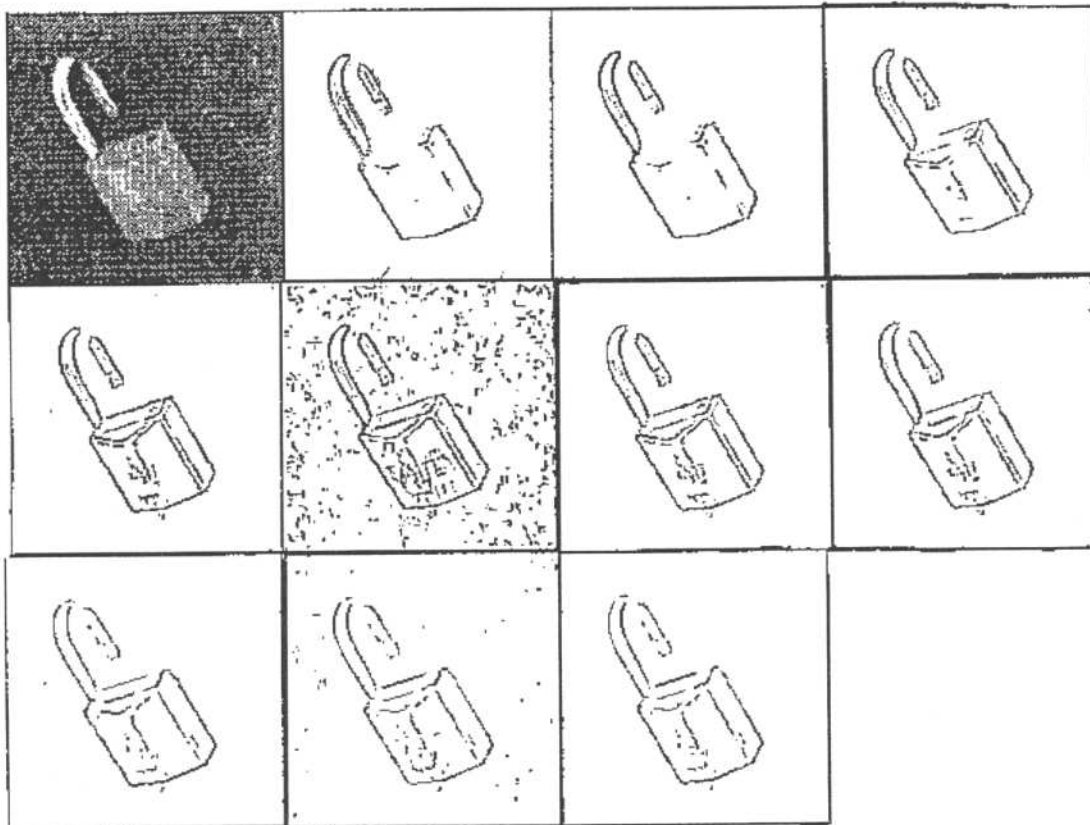


Bild 2: Zwischenergebnisse bei der adaptiven Konturextraktion.

stücken, der Analyse von Zellbildern und der Inspektion von Chips. Dabei wurden Ergebnisse erzielt, die durch eine manuell gesteuerte Verarbeitung nur unwesentlich zu verbessern sind. Die Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der adaptiven Bildsegmentierung am Beispiel der Werkstückerkennung. Insbesondere ging es darum, eine optimale, berandende Kontur im Abbild eines herkömmlichen Haushaltsschlosses zu extrahieren.

Die Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der adaptiven Bildinterpretation am Beispiel der Inspektion von Chips. Ein Chip enthält einen Integrierten Schaltkreis (Integrated Circuit, IC), der durch sogenannte Bondierungen mit dem Chip-Gehäuse verbunden ist. Das Interpretationsergebnis zeigt, daß eine Bondierung gebrochen ist, und somit ist der Chip als fehlerhaft auszusondern.

#### 4. Zusammenfassung und weiterführende Arbeiten

##### Resumee

In herkömmlichen Systemen muß der Benutzer die Steuerparameter der Bildsegmentierung und der Bildinterpretation manuell durch Probieren einjustieren. Alternativ dazu wurden in den beiden DFG-Projekten adaptive Verfahren implementiert, die diese Parameter automatisch einstellen. Dabei wird zum einen Wissen über das gewünschte Ergebnis der Verfahren bereitgestellt. Diese Zielvorgabe erfolgt unter Verwendung mehrerer, unterschiedlicher Bewertungsfunktionen. Zum anderen wird Wissen über das Verhalten der Verfahren vorgegeben. Dabei handelt es sich konkret um die Wirkung von Parameterveränderungen auf das Ergebnis. Diese Wissensquellen werden auf beiden Ebenen jeweils in einem Adaptions-

zyklus verarbeitet, um für das aktuell vorliegende Bildmaterial sukzessiv das gewünschte Verarbeitungsergebnis zu erreichen. Das hier vorgestellte Konzept wird ausführlich in [Pauli und andere, 1992] behandelt. Lösungen für Detailfragen findet man in den unten angegebenen Literaturstellen der Autoren. Abschließend werden nun Weiterentwicklungen beschrieben, die das vorgestellte Konzept der integrierten, adaptiven Bildanalyse ergänzen.

##### Automatische Konfiguration eines Bildanalyseprozesses

Ein Bildanalyseprozeß kann als Operatorenbaum dargestellt werden, an dessen Wurzeln sich die Low-Level und an dessen Blättern sich die High-Level Operatoren befinden. In der Arbeit von [Liedtke und Blömer, 1992] wird eine automatische Konstruktion solcher Operatorenbäume aus einer Menge von Bildverarbeitungsmodulen durchgeführt. Der Benutzer gibt lediglich das Aufgabenziel, das zu verarbeitende Bild, die Ergebnissgüteforderung und Referenzinformationen vor. Aufgrund dieser Informationen und einer zusätzlichen maschinellen Analyse des zu verarbeitenden Bildes wird der Suchraum, der sich bei der Suche nach der optimalen Folge von Bildverarbeitungsoperatoren ergibt, eingeschränkt. Durch Adaption der Parameter in den einzelnen Operatorfolgen wird sukzessiv der geeignete Operatorbaum gefunden. Das für die Konfiguration und Adaption von Bildanalyseprozessen notwendige Wissen läßt sich auch maschinell erlernen. In der Arbeit von [Liedtke und andere, 1993] wird hierzu ein genetischer Lernansatz und in [Liedtke und Blömer, 1994] ein erklärungsbasierter Lernansatz verwendet.

##### Erklärungsbasierte Deutung von veränderlichen Szenen

Das erklärungsbasierte Lernen [Mitchell und andere, 1986] spielt auch in [Pauli, 1993b] eine wesentliche Rolle. Die Arbeit beschreibt den Ansatz der sogenannten erklärungsbasieren

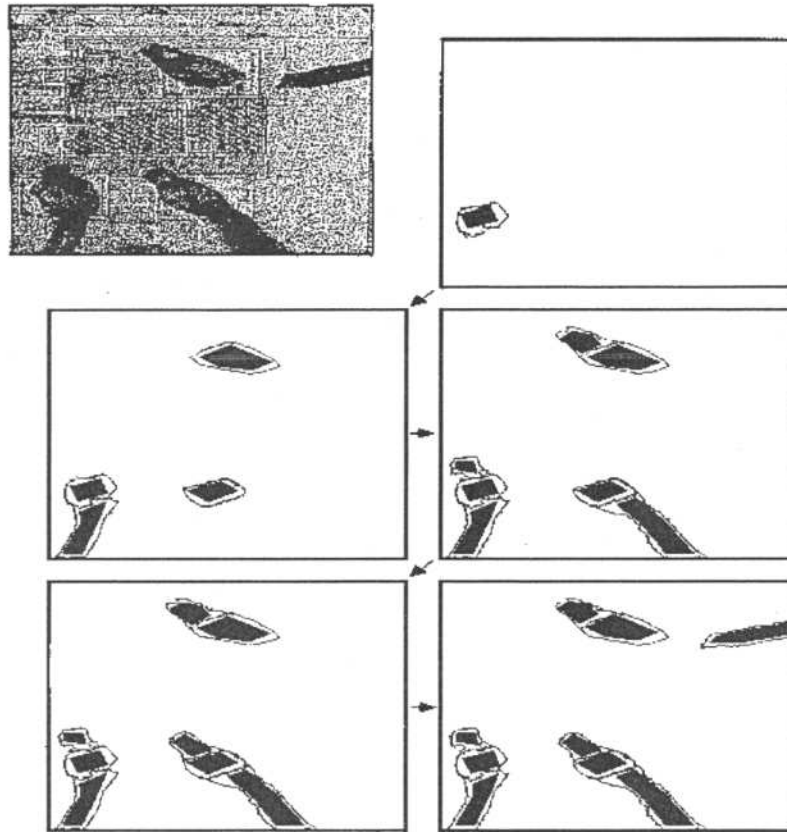


Bild 3: Zwischenergebnisse bei der Erkennung von drei Bondierungen eines Chips

Szenendeutung aus Bildfolgen. Das Prinzip besteht darin, eine a priori vorzugebende grobe Modellierung einer veränderlichen Szene durch Analyse der Bildfolge zu präzisieren. Hierzu werden in der Horn-Klausel-Logik zwei Theorien formuliert, die die geometrischen Projektionseigenschaften der Kamera quantitativ und qualitativ beschreiben. Durch Ableitung im Prädikatenkalkül entstehen logische Formeln, die Bildbestandteile im zeitlichen Ablauf simulieren. Eine Auswertung von Ähnlichkeiten mit der Bildfolge führt zur Detaillierung der groben Vorgaben. Dabei werden projektive Invarianzen zwischen dem dreidimensionalen Szenenmodell und der zweidimensionalen Bildinformationen einbezogen. Die Leistungsfähigkeit des Ansatzes wird anhand einer veränderlichen Straßenverkehrsszene demonstriert.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung der Projekte im Rahmen des Schwerpunktprogramms *Modelle und Strukturanalyse bei der Auswertung von Bild- und Sprachsignalen*.

### Literatur

- [Bowyer, 1993] Bowyer K. (Hrsg.). *Machine Learning in Computer Vision - What, Why, and How?*, AAAI Fall Symposium, AAAI Press, Menlo Park, California, 1993.
- [Haralick and Shapiro, 1993] Haralick R. und Shapiro L. *Computer and Robot Vision*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, Band I und II, 1993.
- [Kulkarni, 1994] Kulkarni A. *Artificial Neural Networks for Image Understanding*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
- [Liedtke and Blömer, 1990] Liedtke C.-E. und Blömer A. Wissensbasiertes Konfigurationssystem für Bilddeutungssysteme; Arbeitsberichte des DFG-Projekts, 1987-1990.
- [Liedtke and Blömer, 1992] Liedtke C.-E. und Blömer A., 1992: Architecture of

Knowledge-Based Configuration System for Image Analysis - CONNY; *Proceedings of the IAPR*, S. 375-387.

[Liedtke and Blömer, 1994] Liedtke C.-E. und Blömer A., 1994: Lernen von Konfigurationswissen; *Mustererkennung 1994*, XPress 5, S. 359-368.

[Liedtke et al., 1991] Liedtke C.-E., Blömer A., Gahm Th., Knowledge-Based Configuration of Image Segmentation Processes; *International Journal of Imaging Systems and Technology*, S. 285-295, 1991.

[Liedtke et al., 1993] Liedtke C.-E., Schnier Th., Blömer A., 1993: Automated Learning of Rules Using Genetic Operators, *Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, pages 375-387, 1993.

[Matsuyama T. und Hwang V., 1990] : *SIGMA - A Knowledge-Based Aerial Image Understanding System*, Plenum Press, New York.

[Mitchell et al., 1986] Mitchell T., Keller R., Kedar-Cabelli S., 1986: Explanation-based generalization - A Unifying View; *Machine Learning Journal*, Band 1, S. 47-80.

[Pauli J., 1990]: Knowledge Based Adaptive Identification of 2D Image Structures; *Proceedings of the Symposium of the Int. Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, SPIE, Band 1395, S. 646-653.

[Pauli et al., 1992] Pauli J., Radig B., Blömer A., Liedtke C.-E., 1992: Integrierte, adaptive Bildanalyse; *Blauer Bericht der Technischen Universität München*, TUM-19204.

[Pauli J., 1993a]: Modellbasiertes Erkennen von Bildstrukturen; in Radig B. (Hrsg.) *Verarbeiten und Verstehen von Bildern*, Oldenbourg-Verlag München, S. 219-259.

[Pauli J., 1993b]: *Erklärungsbasiertes Computer-Sehen von Bildfolgen*; Infix Verlag, St. Augustin, DISKI Reihe, Band 27, 1993. Proteau L. und Elliott D., 1992: *Vision and Motor Control*; North-Holland, Amsterdam.

[Proteau and Elliott, 1992] L. Proteau and D. Elliott. *Vision and Motor Control*. North Holland, Amsterdam, 1992.

[Radig B., 1987]: Deutung von Bildfolgen anhand ihrer symbolischen Beschreibungen; *Proceedings zum Aachener Symposium für Signaltheorie, Informatik Fachberichte 153*, S. 102-115.

[Radig et al., 1989] Radig B., Gerlach M., Pauli J., Solecki D., 1985-1989: Wissensgesteuerter Strukturvergleich; *Arbeitsberichte des DFG-Projekts*.

[Russ J., 1992]: *The Image Processing Handbook*; CRC Press, Boca Raton.

[Widrow B. und Stearns S., 1985]: *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York.