

Mitteilung Nr. 138

**Überlegungen zur automatischen Konfigurierung  
von industriellen Bildverarbeitungssystemen**

Ingo Syska

FBI-HH-M-138/86

März 1986

Fachbereich Informatik  
Universität Hamburg  
Schlüterstr. 70  
D-2000 Hamburg 13

## **Überlegungen zur automatischen Konfigurierung von industriellen Bildverarbeitungssystemen**

Ingo Syska  
Fachbereich Informatik  
Universität Hamburg

### **Kurzfassung**

Im vorliegenden Beitrag wird versucht, einen Ansatz zur automatischen Konfigurierung industrieller Bildverarbeitungssysteme zu entwickeln. Dazu werden zunächst die anfallenden industriellen Sichtaufgaben beschrieben und analysiert. In einem zweiten Schritt erfolgt eine Sammlung von Bildverarbeitungsmethoden, die zur Lösung der gestellten Sichtaufgaben dienen können. Schließlich wird ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem sich geeignete Methoden auswählen und zu einem Bildverarbeitungssystem zusammensetzen lassen.

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1. Einleitung	1
Quellen Kapitel 1	3
2. Grundzüge eines Konfigurierungssystems	4
2.1 Grundaufbau	4
2.2 Der Spezifikationsteil	4
2.2.1 Beschreibung der Aufgabenstellung	4
2.2.1.1 Beschreibung des Prüflings	6
2.2.1.2 Beschreibung der Prüfstelle	7
2.2.1.3 Beschreibung der Prüfaufgabe	8
2.2.2 Beschreibung der Randbedingungen	15
2.2.3 Beschreibung des Lastenheftes	16
2.3 Der Konfigurierungsteil	18
2.3.1 Komponenten eines Sichtkontrollsystems	18
2.3.2 Methodenklassen	20
2.3.3 Komponenten und mögliche Methoden	23
2.3.3.1 Präsentation des Prüflings	23
2.3.3.2 Bildaufnahme	24
2.3.3.3 Vorverarbeitung	26
2.3.3.4 Segmentierung	31
2.3.3.5 Prüfverfahren	37
2.3.3.5.1 Objekterkennung	37
2.3.3.5.2 Prüfung optischer Eigenschaften	42
2.3.3.5.3 Vollständigkeitsprüfung	42
2.3.3.5.4 Geometrieprüfung	43
2.3.3.5.5 Prüfung auf räumliche Anordnung	47
2.3.3.5.6 Objektunterscheidung	47
2.3.3.5.7 Störstellenerkennung	48
2.3.4 Vorgehen bei der Konfigurierung	50
Quellen Kapitel 2	52
3. Beispiel einer Konfigurierung	54
3.1 Ein möglicher Fall	54
3.2 Darstellung der Spezifikationen	54
3.3 Vorgehen des Konfigurierungssystems	57
3.4 Auswahl von Alternativ-Methoden	59
3.4.1 Aufbau der Methoden im Beispiel	59
3.4.2 Externe Bedingungen	59
3.4.3 Interne Bedingungen	61
4. Aufbau des Konfigurierungssystems	63
4.1 Aufbau der Spezifikationen	63
4.2 Aufbau der Methoden	66
4.3 Komplexe Bedingungen	70
4.4 Dialogführung	72
4.5 Wissensquellen und Methodenauswahl	75
4.6 Sonderprobleme der Auswahl	80
4.6.1 Reihenfolge der Komponenten	80
4.6.2 Optionale Methoden	81
4.6.3 Backtracking	82
Quellen Kapitel 4	83
5. Aspekte der Implementation	84
Anhang A : Methodengraph	
Anhang B : Literaturliste	

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der automatischen Konfigurierung von industriellen Bildverarbeitungssystemen. Um das Aufgabenumfeld näher kennenzulernen, gibt das erste Kapitel Einblicke in die Anwendung von Bildverarbeitung in der Industrie und erläutert den Einsatzbereich des zu entwickelnden Konfigurierungssystems.

Der Gesichtssinn ist einer der wichtigsten Sinne des Menschen. Aus diesem Grund hat sich die KI-Forschung der letzten 20 Jahre im Bereich Bildverarbeitung unter großem Aufwand mit maschinellem Sehen beschäftigt. Nachdem langsam ein Verständnis für die anfallenden Aufgaben entstanden ist, existieren inzwischen für eingeschränkte Aufgabenstellungen einige gut funktionierende Bildverarbeitungs- und Bildinterpretationssysteme.

Mit fallenden Hardwarekosten und ausgefeilteren Algorithmen beginnt sich auch die Industrie für den Einsatz von maschinellem Sehen zu interessieren. Vorteilhaft für industrielle Bildverarbeitungsanwendungen ist, daß in der Industrie häufig Spezialaufgaben vorliegen und die Umweltbedingungen weitgehend kontrolliert werden können. Somit entstand mit der Zeit der Forschungszweig 'Industrielle Bildverarbeitung', dessen Schwerpunkt ausschließlich in dem industriellen Einsatz von maschinellem Sehen liegt. Speziell befaßt man sich mit dem Ersatz menschlicher Sichtaufgaben durch Maschinen. Besonders eignen sich Sichtaufgaben, die zum einen relativ einfach sind, zum anderen ständig wiederkehren.

In der industriellen Bildverarbeitung sind zwei große Gruppen von Anwendungen entstanden (1) :

- Die erste Gruppe umfaßt Anwendungen, in denen maschinelles Sehen ein zentraler Bestandteil einer Manipulationsaufgabe sein kann. Hierzu gehören die Manipulation von einzelnen Werkstücken auf Fließbändern, der 'Griff in die Kiste', Manipulationen im Verarbeitungs-Prozeß wie entgraten oder lackieren und Montageaufgaben. Als Manipulatoren dienen in der Regel industrielle Roboter.
- In der zweiten Gruppe ersetzt oder unterstützt maschinelles Sehen den Menschen bei der Ausführung von Aufgaben der Qualitätskontrolle. Hauptziele sind hierbei die Minimierung der Produktion von Ausschuß und die Erhöhung der Funktionssicherheit der erzeugten Produkte.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt in den Anwendungen der zweiten Gruppe, im Bereich der industriellen Qualitätssicherung und hierbei speziell in der automatischen Sichtkontrolle.

5 bis 10% des Umsatzes werden von der Industrie für die Qualitätssicherung ausgegeben. Aufgabenbereiche sind in der Wareneingangsprüfung, der Fertigung, der Endkontrolle und der Qualitätsplanung zu finden. Der Einsatz von Informationstechnologie in diesen Bereichen läuft unter der Be-

zeichnung CAD, Computer Aided Quality. (2) Ziele sind u.a. die Objektivierung der Prüfaufgaben und die Verbesserung der statistischen Absicherung von Prüfungen.

Bei der bisherigen Qualitätskontrolle werden aus Zeit- und Kostengründen lediglich Stichproben entnommen. Damit bleiben immer bestimmte Unsicherheiten bezüglich der Qualität der Gesamtmenge bestehen. Optimal hinsichtlich der Ausschaltung von Unsicherheiten wäre eine Vollprüfung, d.h. eine Prüfung aller die Gesamtmenge bildenden Objekte. Mit Hilfe einer automatischen Sichtkontrolle bei Sichtprüfungen könnten in vielen Bereichen Vollprüfungen durchgeführt und gesicherte Aussagen über die Qualität eines Produktes ermöglicht werden (3).

Aus diesem Grund besteht eine starke Nachfrage nach automatischen Sichtkontrollsystemen und damit nach Techniken, die genügend genau, leicht programmierbar und modifizierbar sind und den Verarbeitungsprozess nicht störend beeinflussen (4).

Eine der Hauptschwierigkeiten beim Einsatz von maschinellem Sehen zur automatischen Sichtkontrolle bildet die Einbindung des Sichtsystems in die industrielle Umgebung. Das Sichtsystem darf die Produktionsvorgänge nicht behindern, d.h. die Produktionsumgebung ist im allgemeinen vorgegeben und kann nicht verändert werden. So ist z.B. bei einer Prüfung von Werkstücken, die auf einem Fließband transportiert werden, vorgegeben, ob das Werkstück kontinuierlich bewegt wird oder kurzzeitig still steht. Eine weitere wichtige Vorgabe ist die Taktzeit, die angibt, in welcher zeitlichen Abfolge die Werkstücke eintreffen, d.h. wie lang der Prüfvorgang für ein einzelnes Werkstück höchstens sein darf. Gerade die Bewegung der Werkstücke zusammen mit einer relativ kurzen Taktzeit bilden die Haupthindernisse für einen breiten Einsatz von maschinellem Sehen in der automatischen Sichtkontrolle (5).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Überlegungen zur automatischen Konfigurierung von industriellen Bildverarbeitungs-, speziell Sichtkontrollsystemen. Es sollen aufgrund einer genauen Beschreibung der Prüfaufgabe und der Umweltbedingungen des Sichtsystems Vorschläge für die Konfigurierung des gewünschten Sichtsystems erarbeitet werden. Unter Konfigurierung wird dabei der Entwurf eines Systems durch Entwurf, Dimensionierung und Organisation von Komponenten verstanden. Eine Dimensionierung der Komponenten läßt sich allerdings nur in einem sehr allgemeinen Rahmen durchführen, da das System versucht, einen besten Aufbau des Sichtsystems zu finden, aber selbst keine Tests zur Feindimensionierung seiner Komponenten durchführt.

Für das Konfigurierungssystem sollen einige Prämissen gelten, die die Weite des Aufgabenbereiches einschränken und einen ersten Ansatz möglich machen. Bei einem späteren Ausbau des Systems können die Prämissen schrittweise gelockert oder ganz aufgehoben werden, sodaß auch zunehmend anspruchsvollere Probleme bearbeitet werden können.

--- Einleitung ---

Prämissen :

- 1) Die gestellten Konfigurierungsaufgaben beziehen sich auf den Bereich der industriellen Sichtkontrolle im Rahmen der CAD.
- 2) Die Konfigurierungsaufgaben sind zeitunkritisch, d.h. sie ermöglichen die Anwendung von Standardverfahren der industriellen Bildverarbeitung.
- 3) Die Bildverarbeitung erfolgt rein sequentiell. Eine parallele Verarbeitung der Bilddaten wird ausgeschlossen.
- 4) Der mechanische Aufbau in seiner industriellen Umgebung sowie die rechnermäßige Ausstattung sind vorgegeben.
- 5) Der Prüfling ändert sich nicht, d.h. es erfolgt keine Umrüstung der Anlage auf andere Prüflinge.
- 6) Es gibt keine Berührungen und Verdeckungen der Prüflinge untereinander.
- 7) Es wird nur eine Prüfaufgabe gestellt. Dazu wird genau eine Oberfläche überprüft.
- 8) Die zu prüfende Oberfläche ist nicht texturiert, es treten keine Schlaglichter oder Abschattungen auf.

Nachdem die Aufgabenstellung in ihrem Umfeld erläutert worden ist, wird im folgenden Kapitel der Grundaufbau für des Konfigurierungssystem entwickelt und seine Hauptkomponenten näher untersucht.

Quellen Kapitel 1 :

- (1) C.A. Rosen : "Machine Vision and Robotics : Industrial Requirements", Computer vision and sensor based robots, 1979 Plenum Press, New York, S.4-6
- (2) U.W.Geitner : "DV-Manager : Zwischen allen Stühlen", Computer Magazin 6/85, S.14
- (3) B. Barth, I. Bey, G. Pritschow, U. Rembold, J. Weber : "Rechnergeführte Qualitätssicherung in der industriellen Produktion", PDV-E 113, März 1978, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
- (4) vgl. Rosen : a.a.O. S.14
- (5) vgl. B. Barth et al. : a.a.O.

## 2. Grundzüge eines Konfigurierungssystems

### 2.1 Grundaufbau

Im ersten Kapitel wurde die Aufgabenstellung näher beschrieben. Hier geht es nun um den Grundaufbau eines Konfigurierungssystems, das automatisch industrielle Sichtkontrollsysteme entwerfen soll.

Einen wichtigen Hinweis auf die Grundstruktur liefert bereits die Aufgabenstellung :

Basierend auf einer genauen Beschreibung der Prüfaufgabe und des Umfeldes sollen Vorschläge für den Aufbau des Sichtsystems entwickelt werden.

Damit zerfällt die Konfigurierungsaufgabe in zwei Teile, nämlich die Erfassung der relevanten Daten, ab jetzt Spezifikationsteil genannt, und der eigentliche Systementwurf oder Konfigurierungsteil. Im Spezifikationsteil werden alle für den Prüfvorgang relevanten Fakten gesammelt. Dazu gehört eine genaue Festlegung der Aufgabenstellung genauso wie die Beschreibung der Randbedingungen. Die gesammelten Daten werden in einem Lastenheft zusammengefaßt und an den Konfigurierungsteil übergeben. Hier erfolgt die Auswertung der Eingaben und der Aufbau eines der Aufgabe angemessenen Sichtsystems.

- Zum Sprachgebrauch : Um Verwirrung zu vermeiden, werde ich ab jetzt das Gesamtsystem mit 'Konfigurierungssystem' bezeichnen. Es besteht aus einem Konfigurierungsteil und einem Spezifikationsteil.

Der Ansatz geht von der stillschweigenden Annahme aus, daß sich Spezifikations- und Konfigurierungsteil sauber voneinander trennen lassen. Dies wäre der Fall, wenn beide Teile unabhängig voneinander wären. Ein Argument, das gegen eine Unabhängigkeit spricht ist das der Vollständigkeit der Daten. Der Spezifikationsteil kann gar nicht wissen, ob die gesammelten Daten für die gestellte Konfigurierungsaufgabe ausreichend sind. Zur Beurteilung dieser Frage wäre eine tiefergehende Analyse der Aufgabenstellung notwendig, die aber erst im Konfigurierungsteil erfolgen soll. Was soll andersherum der Konfigurierungsteil unternehmen, wenn ihm bei der Lösung einer Aufgabe plötzlich Daten fehlen, bzw wenn sich die Aufgabe innerhalb der vorgegebenen Grenzen nicht lösen läßt?

Mit dieser Problematik befindet sich das Konfigurierungssystem in guter Gesellschaft mit menschlichen Experten, die entsprechende Aufgaben lösen sollen. Die Richtlinien zur Systematisierung des Entwurfsvorgangs schlagen zwar ebenfalls den Aufbau eines Lastenheftes vor, aus dem heraus dann die Konfiguration entwickelt wird. Andererseits betonen sie, daß ein intensiver Informationsaustausch zwischen Anwender und Hersteller eines Prüfgerätes unabdingbar sei (1). Dies entspricht genau der Forderung nach einem gegenseitigen Informationsaustausch zwischen Spezifikation und Konfigurierung.

--- Grundaufbau ---

Als Ergebnis läßt sich feststellen, daß eine Trennung in Spezifikationsteil und Konfigurierungsteil sinnvoll erscheint, aber nicht absolut zu sehen ist. Sicherlich überwiegt zu Beginn der Systemkonfigurierung der Aspekt des Datensammelns, der Festlegung der eigentlichen Aufgabe; später dann werden die Daten hauptsächlich ausgewertet, aber eben nur hauptsächlich. Es treten durchaus Abhängigkeiten zwischen beiden Teilen auf, die nicht nur darin bestehen, daß die Konfigurierung auf der Spezifikation basiert.

Zur weiteren Beschreibung werden die beiden Teile vorläufig als unabhängig voneinander betrachtet. Später werde ich dann einen Mechanismus vorschlagen, der die starre Trennung aufweicht, sodaß der Konfigurierungsvorgang mehr den realen Anforderungen entsprechen kann.

## 2.2 Der Spezifikationsteil

Das folgende Kapitel befaßt sich mit den Einzelheiten des Spezifikationsteils. In seiner jetzigen Konzeption dient dieser ausschließlich der Datensammlung. Es werden keine tiefergehenden Analysen der gewonnenen Daten durchgeführt. Der Spezifikationsteil zerfällt in zwei Bereiche: Die Spezifikation der Aufgabenstellung und die Spezifikation der Randbedingungen. Als erstes werde ich mich mit dem ersten Bereich, der genauen Beschreibung der Aufgabenstellung, beschäftigen.

Bei der Einteilung dieses Bereiches, sowie bei der Klassifizierung der Prüfaufgaben stütze ich mich hauptsächlich auf die VDI/VDE Richtlinie 2628 zur Beschreibung der Prüfaufgabe bei automatisierten Sichtprüfungen (1). Ebenfalls aus (1) übernehme ich die Nomenklatur für Aufgaben- und Umweltbeschreibung. Ich werde die benutzten Begriffe an entsprechender Stelle näher erläutern.

### 2.2.1 Beschreibung der Aufgabenstellung

Im Rahmen der Spezifikation der Aufgabenstellung soll die meist nur qualitativ vorliegende Beschreibung der Prüfaufgabe in eine vollständige quantitative Beschreibung umgesetzt werden. Dabei interessieren drei Teilbereiche, mit denen ich mich der Reihe nach beschäftigen werde:

- Die Beschreibung des Prüflings,
- die Beschreibung der Prüfstelle und
- die Beschreibung der Prüfaufgabe selbst.

#### 2.2.1.1 Beschreibung des Prüflings

Dieser Teilbereich befaßt sich mit dem Prüfling in seiner Umgebung. Als Prüfling bezeichnet man das durch die Sichtkontrolle zu überprüfende Objekt.

Hinsichtlich seiner Beschreibung sind für den Konfigurationsteil folgende Angaben interessant:

- Form und geometrische Abmessungen:

Hierbei ergibt sich die Frage der Datenerfassung. Wie kann die geometrische Beschreibung des Prüflings, aus der sein systeminternes Modell aufgebaut werden soll, erfaßt werden? Für einfachere Strukturen ist noch die Eingabe der Koordinaten wichtiger Merkmale, wie z.B. die der Eckpunkte, möglich. Dieses Verfahren wird jedoch für komplexere Formen zu aufwendig. Jetzt läßt sich die Systemprämisse ausnutzen, daß jeweils nur eine Oberfläche des Prüflings betrachtet werden soll. Damit wird nur eine 2D-Ansicht zur Beschreibung benötigt. Zwei Verfahren sind hierzu denkbar:

Zum einen könnte über ein angeschlossenes CAD-System eine Skizze der benötigten Ansicht erstellt werden, soweit sie nicht bereits als Konstruktions-skizze existiert. Daraus ließen sich die erforderlichen Daten herausziehen und ein Modell des Prüflings aufbauen.

Zum anderen könnte der Prüfling selbst dem Sichtsystem vorgelegt werden. Das System würde die Vorlage analysieren und selbstständig ein internes Modell aufbauen. Dabei könnte das Sichtsystem dasselbe sein welches auch die Sichtkontrolle durchführt. Eine Anordnung dieser Art hat Perkins (2) beschrieben. Neben der Einfachheit der Benutzung ist die hohe Flexibilität ein wichtiger Vorteil des zweiten Verfahrens.

- Oberflächenbeschaffenheit :

Hierzu gehören Farbe und Bearbeitungszustand der Oberfläche. Obwohl gebräuchliche Bildverarbeitungsmethoden nicht die Farbe, sondern die Helligkeit einer Oberfläche auswerten, ist die Oberflächenfarbe trotzdem interessant. Erstens hängt die Helligkeit der Oberfläche in starkem Maße von ihrer Farbe ab, zweitens kann eine einheitliche Färbung der Oberfläche zusammen mit der entsprechenden Beleuchtung die Bildauswertung erleichtern, eventuell sogar eine Binärbildverarbeitung ermöglichen.

Der Bearbeitungszustand gibt an, ob die Oberfläche glatt oder rauh ist und dementsprechend das Licht direkt oder diffus reflektiert wird. Auch hier könnte ein einheitlicher Bearbeitungszustand der Oberfläche die Auswertung vereinfachen.

- Verschmutzung :

Obwohl die Verschmutzung nicht ein Bestandteil des Prüfling selbst ist, gehört sie doch zu seiner unmittelbaren Umwelt. Immerhin ist sie so dicht mit dem Prüfling verbunden, daß sie dem Sichtsystem als eine Eigenschaft der betrachteten Oberfläche erscheint. Damit erscheint es sinnvoll, die Verschmutzung nicht bei der Beschreibung der Randbedingungen, sondern bei der Beschreibung des Prüflings einzuordnen. Neben dem Grad der Verschmutzung könnte außerdem erfaßt werden, ob sie großflächig oder nur stellenweise auftritt und ob sie ständig oder sporadisch erfolgt.

Mit diesen drei Punkten sind die wichtigsten Eigenschaften des Objektes, das betrachtet werden soll, beschrieben. Nun wird jedoch meistens nicht der gesamte Prüfling einer Kontrolle unterzogen, sondern nur ausgewählte Bereiche, z.B. Bohrungen, Randgebiete. Damit komme ich zum zweiten Teilbereich, der Beschreibung der Prüfstelle.

### 2.2.1.2 Beschreibung der Prüfstelle

Die Prüfstelle kennzeichnet den Ort auf dem Prüfling, an dem mindestens eine Prüfaufgabe definiert ist. Die genaue Beschreibung der Prüfstelle ist abhängig von der Prüfaufgabe. Daher kann hier nur eine allgemeine Beschreibung erfolgen, die später genauer spezifiziert wird.

Interessant ist natürlich, wo sich die Prüfstelle auf dem Prüfling befindet. Ihre genaue Lage kann anhand des bereits erfaßten Modells des Prüflings festgelegt werden. Es werden Bereiche auf der betrachteten Oberfläche angegeben, an denen die Prüfung stattfinden soll. Dabei kann die Be-

schreibung sowohl qualitativ, z.B. 'die obere Kante des Prüflings', als auch quantitativ, z.B. ein Bereich '7\*10 mm', erfolgen. Dies ist wiederum abhängig von der Prüfaufgabe.

Neben der Ortsangabe sind auch die Oberflächenbeschaffenheit und die Verschmutzung der Prüfstelle von Bedeutung, soweit sie von der der Gesamtoberfläche abweichen. Für sie gilt das unter 2.2.1.1 gesagte.

### 2.2.1.3 Beschreibung der Prüfaufgabe

Ich komme nun zur eigentlichen Problemstellung, zur Beschreibung der Prüfaufgabe selbst. Hier wird angegeben, welche Erscheinung/en an der Prüfstelle analysiert werden soll/en. Ich werde nun der Reihe nach die in (1) vorgeschlagene Einteilung der Prüfaufgaben in Prüfkategorien vorstellen und am Ende eine alternative Einteilung dagegenhalten.

Jede Prüfaufgabe kann durch ihr Prüfmerkmal, die Ausprägung des Merkmals und die Toleranz des Merkmals beschrieben werden. Damit existiert eine anschauliche Beschreibungshilfe für die Darstellung der Prüfkategorien. Man unterscheidet :

#### - Prüfung auf Vollständigkeit :

Der Prüfling wird auf das Vorhandensein einer bestimmten Anzahl von Prüfmerkmalen hin untersucht. Merkmalsausprägung ist hier die Anzahl der gefundenen Merkmale. Gefordert ist eine Ja/Nein-Aussage, die soviel bedeutet wie 'Der Prüfling ist vollständig' oder 'Der Prüfling ist nicht vollständig'. Beispiel : Es wird die Anzahl der Kugeln in einem Kugellager geprüft. Stimmt die gefundene Anzahl der Kugeln mit der Sollzahl überein, so ist der Käfig des Kugellagers vollständig. Diese Aussage enthält keine Information über Lage, Größe und Form der Kugeln. (1)

#### - Geometrieprüfung :

Bei der Geometrieprüfung geht es um geometrisches Messen, also um die Entscheidung, ob bestimmte Maße des Prüflings innerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen oder nicht. Spezielle Geometrieprüfungen sind die Längenmessung und die Form- und Lageprüfung.

Bei der Längenmessung befaßt man sich nicht nur mit dem Abstand zwischen zwei Punkten, sondern auch mit davon abgeleiteten Größen, wie Winkelmaß, Durchmesser, Fläche und Schwerpunkt. Prüfmerkmal ist z.B. der Durchmesser einer Bohrung, der mit einer bestimmten Ausprägung vorgegeben ist, und eine bestimmte zulässige Toleranz besitzt.

Bei der Form- und Lageprüfung wird die zulässige Abweichung des Prüfling von einer vorgegebenen Form mit Hilfe von Form-, bzw. Lagetoleranzen festgelegt. Diese Begriffe sind in der DIN-Norm 7184 definiert. Danach begrenzen Formtoleranzen die zulässige Abweichung eines Elementes von seiner geometrisch idealen Form. Lagetoleranzen begrenzen die zulässige Abweichung von der geometrisch idealen Lage zweier oder mehrerer Elemente zueinander.

Ein Beispiel für eine Formprüfung ist die Untersuchung der Rundheitsabweichung einer Bohrung: Die Rundheitsabweichung darf bei einem Durchmesser von 0.2mm höchstens 0.01mm betragen.

- Objekterkennung :

Bei der Objekterkennung werden anhand einer aus den Prüfmerkmalen abgeleiteten Merkmalsmatrix Entscheidungen darüber getroffen, welcher von n Klassen ein Objekt angehört. Damit ist Objekterkennung eine klassische Aufgabe der Mustererkennung. Häufig bildet die Objekterkennung eine Vorstufe für die eigentliche Sichtprüfung. Die Prüflinge müssen erst erkannt, bzw. unterschieden werden, bevor an ihnen Untersuchungen vorgenommen werden können. Der benötigte Aufwand hängt von der Zahl der Objektklassen, vom Ordnungszustand und von der Ähnlichkeit der zu unterscheidenden Objekte ab.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet der Erkennung einer großen Zahl von Objektklassen ist das Lesen von Etiketten. Dagegen spielt die Objekterkennung als Vorstufe zur Geometrieprüfung beispielsweise eine kleinere Rolle, da meistens nur eine Objektklasse zur Zeit geprüft wird und dadurch keine vorhergehende Klassenzuweisung notwendig ist. In diesem Fall reduziert sich die Objekterkennung zur Bildsegmentation: Aus den eventuell schon vorverarbeiteten Bilddaten wird mit Hilfe geeigneter Verfahren versucht, das gesuchte Objekt zu extrahieren. Ich werde daher ab jetzt beim Vorliegen von nur einer Objektklasse statt von Objekterkennung von Segmentation sprechen. Dabei gehe ich stillschweigend davon aus, daß sich im betrachteten Bild durch Anwendung gebräuchlicher Segmentationsverfahren bereits Objekt und Hintergrund trennen lassen, d.h. daß die Segmentation diese Trennung leistet.

- Prüfung der räumlichen Anordnung :

Im Gegensatz zur Objekterkennung ist die Form des Prüflings bekannt. Man geht also vom bereits segmentierten Bild aus und sucht die räumliche Anordnung, d.h. die Position und Orientierung des Prüflings (1).

Die räumliche Anordnung ist nicht absolut zu sehen, sondern immer in Relation zu einem Bezugssystem. Damit werden zwei Koordinatensysteme benötigt: das des Prüflings und das des Bezugssystems. Zur eindeutigen Festlegung des ersteren Koordinatensystems ist es notwendig, einen rotations- und translationsinvarianten Punkt des Prüflings zu finden, wie z.B. den Schwerpunkt. Bei der Positionsbestimmung, wenn die Position des Prüflings im Bezugssystem gesucht ist, wird die Lage seines Schwerpunktes im Koordinatensystem des Bezugssystems ermittelt. Zur Festlegung der Orientierung wird zusätzlich zum Schwerpunkt die Richtung einer charakteristischen Körper- oder Flächenachse benötigt. Die Winkel, die diese mit den Koordinatenachsen des Bezugssystems bildet, können als Orientierung des Prüflings aufgefaßt werden.

Bei einer Prüfung auf räumliche Anordnung wird nun beispielsweise die Position des Prüflings festgestellt und nachgesehen, ob sie innerhalb eines vorgegebenen Toleranz-

bereiches liegt. Zur Optimierung des Sichtsystems sollten auch eventuelle Vorzugspositionen und/oder -Orientierungen mit angegeben werden (siehe auch 2.2.2).

Zur Bestimmung der räumlichen Anordnung sind, wie oben ausgeführt, Schwerpunkts- und Achsenberechnungen erforderlich. Damit baut diese Prüfkategorie auf Teilen der geometrischen Prüfung auf. Andererseits setzen andere Prüfkategorien, wie z.B. die Vollständigkeitsprüfung das Erkennen der räumlichen Anordnung voraus. Es existiert also eine Hierarchie der Prüfaufgaben, auf die ich unten noch näher eingehen werde.

- Prüfung von optischen Eigenschaften :

Zu optischen Eigenschaften zählen u.a. Farbe, Brechungs- zahl, Polarisation, Transparenz und Reflexion. Zwei Bei- spiele für die Prüfung dieser Eigenschaften sind die Prü- fung auf gleichmäßige Lackierung einer Oberfläche oder die Kontrolle des Abstrahlwinkels von Automobilscheinwerfern. Es kristallisieren sich zwei Anwendungsbereiche der Prü- fung optischer Eigenschaften heraus :

- Die Prüfung durch Betrachtung des Prüflings selbst oder
- die Prüfung anhand einer Helligkeitsverteilung, die durch den Prüfling hervorgerufen und einem Projektionsschirm sichtbar gemacht wird.

Zum ersten Bereich gehört die Prüfung auf Gleichmäßigkeit einer Lackierung. Bei vorgegebener Farbvalenz darf die Farbe der Lackierung nicht aus einem Toleranzbereich herausfallen. Voraussetzung für Messungen dieser Art ist eine weitgehende Konstanz der Umweltbedingungen, wie z.B. eine absolut konstante Beleuchtung, konstante Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Dafür kann die Sichtprüfung sehr einfach werden, wenn große, bildformatfüllende Oberflächen kontrolliert werden sollen. Dann nämlich erübrigt sich eine Segmentierung der Bilddaten.

Zum zweiten Bereich gehört die automatische Überprüfung der Scheinwerfereinstellung (3). Dazu wird das vom Scheinwerfer abgestrahlte Licht in einem Lichtsammelkasten aufgefangen und auf eine Oberfläche innerhalb des Kastens projiziert. Das Sichtsystem kann nun anhand von Referenzmarken fest- stellen, ob die Scheinwerfer korrekt eingestellt sind und in welche Richtung eine eventuelle Korrektur erfolgen müßte.

In diesem Bereich läßt sich der Standardaufbau - Sensor betrachtet Prüfling - nicht mehr benutzen. Im Gegenteil : Das Hauptproblem bildet nicht die eigentliche Sichtkontrolle sondern der mechanische Aufbau des Prüfsystems. Bezeichnenderweise lag auch beim Entwurf des obigen Systems die Hauptschwierigkeit in der Entwicklung des Lichtsammelkastens und nicht in der besonders geschickten Anwendung von Bildverarbeitungsmethoden. Weil aber laut Prämisse der mechanische Aufbau vorgegeben ist, reduziert sich die Aufgabe des Konfigurierungssystems auf den Entwurf des Bildverarbeitungsteils. Dieser hat nun lediglich die Aufgabe, auf eine Oberfläche projizierte Helligkeitsverteilungen zu interpretieren, was soviel bedeutet wie Hell/Dunkelübergänge zu lokalisieren. Damit fällt aus der Sicht des Konfigurierungssystems der zweite Bereich der Prüfung optischer Eigenschaften mit der Prüfkategorie "räumliche Anordnung" zusammen. Aus diesem Grund werde ich mich hier auf den ersten Bereich beschränken.

- Störstellenerkennung und Oberflächenprüfung :

Die Störstellenerkennung läßt sich einteilen in die Prüfung der äußeren Beschaffenheit, auch Oberflächenprüfung genannt und in die Prüfung der inneren Beschaffenheit, z.B. die Suche nach Lunkern oder inneren Materialfehlern. Für die Überprüfung der inneren Beschaffenheit setzt man im Allgemeinen Röntgenstrahlen ein. Dadurch werden die normalerweise räumlich verteilten inneren Fehler quasi auf eine Oberfläche projiziert, sodaß sich die eigentliche Datenauswertung nicht von der der Oberflächenprüfung unterscheidet.

Die in diesem Abschnitt angesprochene Oberflächenprüfung darf nicht mit der oben erwähnten Prüfung der optischen Eigenschaften von Oberflächen verwechselt werden. Während dort die Einhaltung einer optischen Eigenschaft, wie z.B. die Gleichmäßigkeit einer Lackierung, überwacht wurde, werden hier Störstellen im Material wie Risse oder Lunker gesucht. Nicht eine Eigenschaft, die das Material besitzen soll, sondern Materialfehler werden beschrieben.

Normalerweise benutzt man unterschiedliche Prüfmerkmale zur Erkennung von Störstellen. Ein mögliches Merkmal stellen einzelne Kratzer auf einer Oberfläche dar. Sie werden charakterisiert durch ihre maximale Länge, Breite und Tiefe. Andere Prüfmerkmale sind z.B. Lunker, Verzerrungen in einem Gitter oder die Gesamtlänge aller Kratzer auf einem definierten Oberflächenstück. Jedes Merkmal für sich muß nun genau beschrieben werden. Dazu werden folgende Angaben vorgeschlagen :

--- Spezifikationsteil ---

- Geometrie des Merkmals : Tiefe, Länge, Breite, erforderliche Meßgenauigkeit. Es sei darauf hingewiesen, daß die Geometriebeschreibung bei Gitterstörungen weitaus komplexer werden kann.
- Erscheinungsbild : Unter welchen Beobachtungs- und Beleuchtungsbedingungen kann das Merkmal besonders gut erkannt werden ? So erscheinen z.B. Kratzer bei einer Beleuchtung unter 45 Grad als schwarze Striche auf hellem Grund, die nicht breiter als 2mm sind.
- Besonderheiten des Prüfmerkmals : Wo tritt das Merkmal besonders häufig auf ?
- Abgrenzungen gegen zulässige Störungen : Womit kann das Prüfmerkmal verwechselt werden ? Günstig wären in diesem Fall Vergleichsmuster mit typischen Ausprägungen der Merkmale.

Um festzustellen, ob ein entdeckter Kratzer eine vorgegebene Größe überschreitet, benötigt man natürlich Prüfverfahren aus dem Bereich der Geometrieprüfung. Damit basiert auch die Prüfkategorie 'Störstellenerkennung' auf der geometrischen Prüfung.

Mit der Störstellenprüfung habe ich die letzte der im VDI/VDE-Entwurf vorgeschlagenen Prüfkategorien vorgestellt. Sie sind mit einigen ausgewählten Prüfmerkmalen und deren Ausprägungen nochmals in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1. Definition und Quantifizierung von Prüfaufgaben

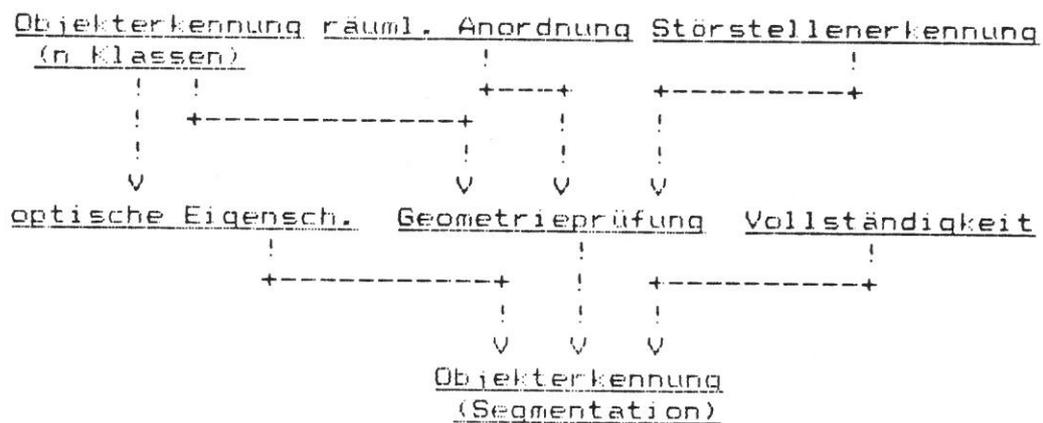
Prüfen auf	Quantifizierung durch	Prüfmerkmal(e)	Ausprägung	Toleranz
Vollständigkeit		Anzahl	$n$ [Stück]	-
Geometrie Länge Form und Lage		Durchmesser, Rundheit	$D$ [mm] $R_o$ [mm]	$\Delta D$ [mm] $\Delta R_o$ [mm]
Objekterkennung		Durchmesser, Fläche, Farbe	Merkmals-Matrix $V$	$\Delta V$
räumliche Anordnung		Position	$X, Y, Z$ [mm]	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ [mm]
optische Eigenschaft		Farbe	Farbvalenz $\vec{Z}$	$ \Delta \vec{Z} $
Störstellen, Oberflächeneigenschaften		Kratzer	Länge $> a$ [mm] Breite $> b$ [mm] Tiefe $> c$ [mm]	$\Delta a$ [mm] $\Delta b$ [mm] $\Delta c$ [mm]
Sonstiges z. B. Funktion, zeitliche Abläufe				

--- Spezifikationsteil ---

Als nächstes möchte ich auf die schon angesprochene Hierarchie der Prüfkategorien eingehen. Die Kontrolle der räumlichen Anordnung basiert beispielsweise auf der Geometrieprüfung. Zwischen den einzelnen Prüfkategorien gibt es also Abhängigkeiten in der Art, daß einige Prüfungen Teil oder Grundlage von andere sind. Diese Abhängigkeiten sind einseitig. Sie lassen sich als gerichteter Graph darstellen, wobei die Prüfkategorien die Knoten und die aufgedeckten Abhängigkeiten die Kanten bilden. Die Kanten verweisen von den komplexeren auf die grundlegenderen Prüfungen.

Bei der Darstellung als Graph ist es nützlich, die Kategorie 'Objekterkennung' in Objekterkennung als Einordnung eines Objektes in eine von n Klassen und in Objekterkennung als Segmentation bei nur einer vorliegenden Klasse zu trennen.

Damit ergibt sich die folgende Struktur :



Es entsteht zwar keine vollständige Baumstruktur, aber immerhin ein schleifenfreier Graph. Daher will ich die bestehenden Abhängigkeiten auch weiterhin als Hierarchie der Prüfaufgaben bezeichnen.

Für die Konfigurierung eines Sichtkontrollsystems ist sie insofern interessant, als daß sich komplexe Prüfaufgaben auf einfachere zurückführen lassen. Der Graph gibt für jede Prüfaufgabe die ihr zugrundeliegende Prüfung an. Daraus lassen sich erste Lösungsansätze zur Systemkonfiguration ableiten. Soll z.B. die Position eines Werkstückes geprüft werden, so muß sein Schwerpunkt und die Lage des Schwerpunktes im Bezugssystem bestimmt werden. Die Schwerpunktsbestimmung und eventuell auch die Lagebestimmung sind Aufgaben der Geometrieprüfung. Statt einer Prüfung auf räumliche Anordnung liegen nun zwei einfachere Aufgaben der Geometrieprüfung vor. Die Geometrieprüfung läßt sich nun wiederum auf die Objekterkennung zurückführen. Diese Art des Vorgehens entspricht der Methode der Problemlösung durch Zerlegung von komplexeren Aufgaben in einfachere Teilaufgaben. Sie wird sich sicherlich beim Konfigurierungsvorganges als nützlich erweisen.

Zum Schluß möchte ich eine weitere Ordnungsmöglichkeit für die Prüfkategorien vorstellen, die auf C.A.Rosen (4) zur

--- Spezifikationsteil ---

rückgeht. Rosen teilt die bei der industriellen Sichtprüfung anfallenden Aufgaben ein in solche, die hochpräzise quantitative Meßverfahren benötigen und solche, die qualitative und halbquantitative Meßverfahren benutzen.

Angewandt auf die bekannte Kategorieeinteilung, gerät man in Schwierigkeiten: Zu den hochpräzisen quantitativen Prüfungen zählt sicherlich die Geometrieprüfung. Mit ihr werden die kritische Größen wichtiger Merkmale des Prüflings überwacht. Andererseits benötigen andere Prüfaufgaben, die auf der Geometrieprüfung basieren, häufig keine derart hohe Meßgenauigkeit. So ist es z.B. völlig uninteressant, ob ein Kratzer nun 6.1 oder 6.2mm lang ist. Daher kann die Geometrieprüfung ebensogut in den Bereich der mehr qualitativen Messungen eingeordnet werden. Entscheidend ist die geforderte Meßgenauigkeit.

Will man die Prüfkategorien in das Rosen-Schema einordnen, ergibt sich folgendes Bild :

! Prüfungen, die hochpräzise quantitative Messungen benötigen	! Prüfungen, die mehr qualitative, nicht so präzise Messungen benötigen
! Geometrieprüfung	! Vollständigkeitsprüfung
! Räumliche Anordnung	! Geometrieprüfung
! Optische Eigenschaften	! Objekterkennung
	! Störstellenerkennung

Die Einordnung der einzelnen Prüfkategorien ist dabei eher tendenziell zu sehen. Die meisten Prüfungen einer Kategorie mögen zwar in den zweiten Bereich fallen, es müssen aber längst nicht alle sein. So sind bei der Untersuchung von Störungen in Gitterstrukturen im Rahmen der Störstellenerkennung sicherlich auch präzise Meßmethoden erforderlich.

Aus dem Auftreten der Geometrieprüfung in beiden Bereichen lassen sich Schlüsse auf den Methodenvorrat dieser Prüfkategorie ziehen. Dem Konfigurierungsteil müssen sowohl hochpräzise als auch weniger präzise und dafür eventuell schnellere Methoden der Geometrieprüfung bekannt sein. Die Methodenwahl wird, sicherlich nicht nur bei dieser Prüfung von der geforderten Meßgenauigkeit abhängen.

Mit dieser Betrachtung will ich die Beschreibung der Spezifikation der Aufgabenstellung beenden und zum zweiten Bereich des Spezifikationsteils übergehen, zur Beschreibung der Randbedingungen.

## 2.2.2 Beschreibung der Randbedingungen

Bis jetzt habe ich nur die Aufgabenstellung bezogen auf den Prüfling selbst behandelt. Dieser existiert jedoch nicht losgelöst von seiner Umgebung. Es gibt eine Anzahl von Randbedingungen, die beachtet werden müssen, damit das zu entwickelnde Sichtkontrollsystem in einer industriellen Umgebung eingesetzt werden kann. Gerade sie schränken die Menge möglicher Bildverarbeitungsmethoden stark ein und erfordern genau abgestimmte Lösungen.

Als Randbedingungen treten auf :

### - Umgebungsbedingungen :

Zu den Umgebungsbedingungen gehören alle Einflüsse, die von außen auf den Prüfort einwirken, wie z.B. Vibrationen, Staub, Fremdlicht. Auftretende Vibrationen können die Meßgenauigkeit z.B. bei Geometrieprüfungen beeinträchtigen. Staub und stark variierender Fremdeinfall behindern möglicherweise bereits die Objekterkennung.

Bei den Umgebungsbedingungen wird außerdem das direkte Umfeld des Prüflings beschrieben; z.B. ob sich der Prüfling gut vom Hintergrund abhebt. Ideal wäre ein heller Prüfling vor dunklem Hintergrund oder umgekehrt. Die Segmentierung wäre dann sehr einfach, eventuell ließe sich Binärbildverarbeitung einsetzen.

### Takt- und Darbietungszeit :

Die Taktzeit bezeichnet diejenige Zeit, in der ein Arbeitsvorgang abgeschlossen sein muß. Sie bestimmt also die maximale Dauer des Prüfvorganges. Nach Ablauf der Taktzeit steht der nächste Prüfling zur Prüfung bereit. Gerade die Taktzeit ist eine unveränderliche Kerngröße des Produktionsprozesses. Auch wenn alle anderen Randbedingungen geändert werden können, die Taktzeit sicherlich nicht. Viele industrielle Bildverarbeitungsanwendungen sind bisher an der Kürze dieser Zeit gescheitert.

Neben der Taktzeit ist auch die Darbietungszeit interessant. Sie beschreibt diejenige Zeit, in der die Prüfstation dem Sensor zugänglich ist. Daher bestimmt sie die maximale Zeitspanne, innerhalb der alle relevanten Daten eines vorgelegten Prüflings erfaßt worden sein müssen.

### - Bewegungszustand :

Der Bewegungszustand macht Aussagen darüber, wie der Prüfling dem Sichtsystem präsentiert wird. Der Prüfling kann während der Darbietungszeit ruhig vor dem Sensor liegen oder aber auf einem Fließband an ihm vorbeigeführt werden. Dabei ist es wichtig zu wissen, ob die Bewegung kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgt. Bei bekannter Geschwindigkeit des Fließbandes könnten im Falle einer kontinuierlichen Geschwindigkeit bereits aufgrund von Zeitmessungen genaue Aussagen über die Ausdehnung des Prüflings in Bewegungsrichtung vorgenommen werden.

- Ordnungszustand :

Dieser beschreibt die räumliche Anordnung des Prüflings, bzw. die Anordnung mehrerer Prüflinge zueinander. Die Prüflinge können dem Sensor sowohl einzeln als auch zu mehreren auf einmal vorgelegt werden. Dabei ist es wichtig zu wissen, ob sie getrennt voneinander liegen, sich berühren oder gar überlappen. Laut Prämisse sollen allerdings Berührungen oder Verdeckungen von Prüflingen vorerst ausgeschlossen werden.

Einzeln liegende Teile können bereits in einer definierten räumlichen Anordnung präsentiert werden, sie können vorpositioniert sein oder in einer einheitlichen Orientierung liegend eintreffen. Wäre dies der Fall, ließen sich eventuell Bildverarbeitungsmethoden einsetzen, die speziell auf die vorliegende Anordnung zugeschnitten sind und dadurch beispielsweise die Objekterkennung stark vereinfachen.

- Umrüstbarkeit :

Es muß festgelegt werden, ob nur gleichartige Teile geprüft werden, oder eine Umstellung auf andere Teile möglich sein soll. Im letzteren Fall muß das Sichtsystem so variabel wie möglich gehalten werden. So könnte z.B. ein explizites und leicht änderbares Modell des Prüflings dem Prüfvorgang zugrunde liegen. Laut Prämisse wird beim ersten Entwurf des Konfigurierungssystems die Umrüstbarkeit ausgeschlossen, bei späteren Systemerweiterungen kann diese Problematik näher analysiert werden.

- Prüfsicherheit :

Die Prüfsicherheit gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit fehlerhafte Teile als fehlerhaft und fehlerfreie Teile als fehlerfrei erkannt werden sollen. Da das Konfigurierungssystem selbst keine Testläufe vornimmt, wird die genaue Bestimmung der Prüfsicherheit so gut wie unmöglich sein. Präzise Zahlen können nur anhand längerer Tests des Sichtsystems ermittelt werden. Das Konfigurierungssystem kann lediglich versuchen, eine möglichst hohe Prüfsicherheit zu erreichen, und zwar durch eine entsprechende Wahl der Bildverarbeitungsmethoden.

Die bis hierhin vorgestellte Liste von Randbedingungen ist sicher nicht vollständig. Ich habe versucht, mich auf die für das Konfigurierungssystem wichtigsten Randbedingungen zu beschränken. Eine erweiterte Aufzählung befindet sich in der schon häufiger erwähnten VDI/VDE-Richtlinie (1).

### 2.2.3 Beschreibung des Lastenheftes

Als Abschluß der Beschreibung des Spezifikationsteils möchte ich noch kurz auf das Lasten- oder Pflichtenheft eingehen. Das Lastenheft bildet die Schnittstelle zwischen Spezifikations- und Konfigurierungsteil. Es enthält alle im Spezifikationsteil gesammelten Daten. Dazu gehören :

- Ein Modell des Prüflings :

Dieses Modell enthält alle relevanten Daten des Prüflings. Hauptbestandteil ist eine Formbeschreibung der betrachteten Oberfläche des Prüflings. Als Repräsentationsform käme eine Relationalstruktur in Frage, auf die sich auch räumliche Beziehungen abbilden lassen, wie z.B. eine RSV-Struktur (39). Dies ist aber schon Bestandteil der Systemrealisation, näheres siehe Kapitel 4.

- Beschreibung der Prüfstelle :

Die Prüfstelle kann mit Hilfe des Prüflingsmodells beschrieben werden. Die dort definierten Flächen lassen sich auch zur Festlegung der Prüfstelle benutzen.

- Beschreibung der Prüfaufgabe :

Zur Repräsentation der Prüfaufgabe eignet sich eine Frame-Struktur, in der die Aufgabenstellung zusammen mit den erforderlichen Spezifikationen abgelegt wird.

- Beschreibung der Randbedingungen :

Auch hier würden sich Frames zur Datenablage eignen. Für jede Randbedingung gibt es einen oder mehrere Frames, in die die vorhandene Information eingesetzt wird.

Das Lastenheft wird vom Konfigurierungsteil übernommen und ausgewertet. Wie bei dieser Auswertung vorgegangen wird, werde ich in den folgenden Kapiteln erläutern.

## 2.3 Der Konfigurierungsteil

Nachdem sich das vorherige Kapitel ausführlicher mit der Datensammlung befaßt hat, wende ich mich nun der Auswertung dieser Daten zu. Ziel ist der Aufbau eines Sichtkontrollsystems, das den Spezifikationen des Pflichtenheftes entspricht. Dazu muß für jede Komponente des Systems die erforderliche Bildverarbeitungsmethode ausgewählt werden. Sofort stellen sich folgende Fragen :

- Aus welchen Komponenten besteht ein Sichtkontrollsystem überhaupt und wie soll bei seiner Konfigurierung vorgegangen werden ?
- Wie werden die Bildverarbeitungsmethoden ausgewählt ?

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der ersten Frage. Es soll erläutert werden, wie sich das Sichtkontrollsystem in einzelne Komponenten zerlegen läßt, welche Bildverarbeitungsmethoden für die einzelnen Komponenten zur Verfügung stehen und in welcher Reihenfolge die Komponenten bearbeitet werden sollen.

### 2.3.1 Komponenten eines Sichtkontrollsystems

Sichtkontrollsysteme, wie auch allgemeine Bildverarbeitungssysteme, lassen sich von einem abstrakteren Standpunkt aus betrachten :

Gegeben ist eine definierte Ausgangssituation A, z.B. die Vorlage eines Prüflings. Gefordert ist die definierte Zielsituation Z, hier eine Klassifikation des Prüflings in 'OK' oder 'Nicht OK'. A und Z werden im Spezifikationsteil definiert und sind damit bekannt. Gesucht ist nun eine Operation O, die die Ausgangssituation A in die Zielsituation Z überführt.

O wird Sichtkontrollsystem genannt : Auf einen vorgelegten Prüfling wird das Sichtkontrollsystem 'angewandt'; es erzeugt die gewünschte Qualitätsaussage.

Die Operation O führt damit einen Abstraktionsvorgang durch, sie bildet den Prüfling in seiner realen Umwelt auf eine einzige Aussage ab. Der erforderliche Abstraktionsschritt ist natürlich sehr groß und entsprechend komplex. Er läßt sich vereinfachen, indem man O als Folge von Operationen auffaßt, mit deren Hilfe sich der Abstraktionsschritt in mehrere kleine Schritte aufteilen läßt.

Bei diesem Vorgehen erhält man folgendes Schema :

$$A \xrightarrow{O} Z$$

wird zu

$$A = A_0 \xrightarrow{O_1} A_1 \xrightarrow{O_2} A_2 \xrightarrow{O_3} \dots \xrightarrow{O_n} A_n = Z$$

Ausgehend von zwei relativ weit voneinander entfernten Situationen oder Abstraktionsebenen ergeben sich nun viele, näher beieinanderliegende Ebenen, die sich mit Hilfe der Operationen  $O_i$  aus A erzeugen, bzw. in Z überführen lassen. Dabei ist zu beachten, daß bei dem vorgelegten Schema die

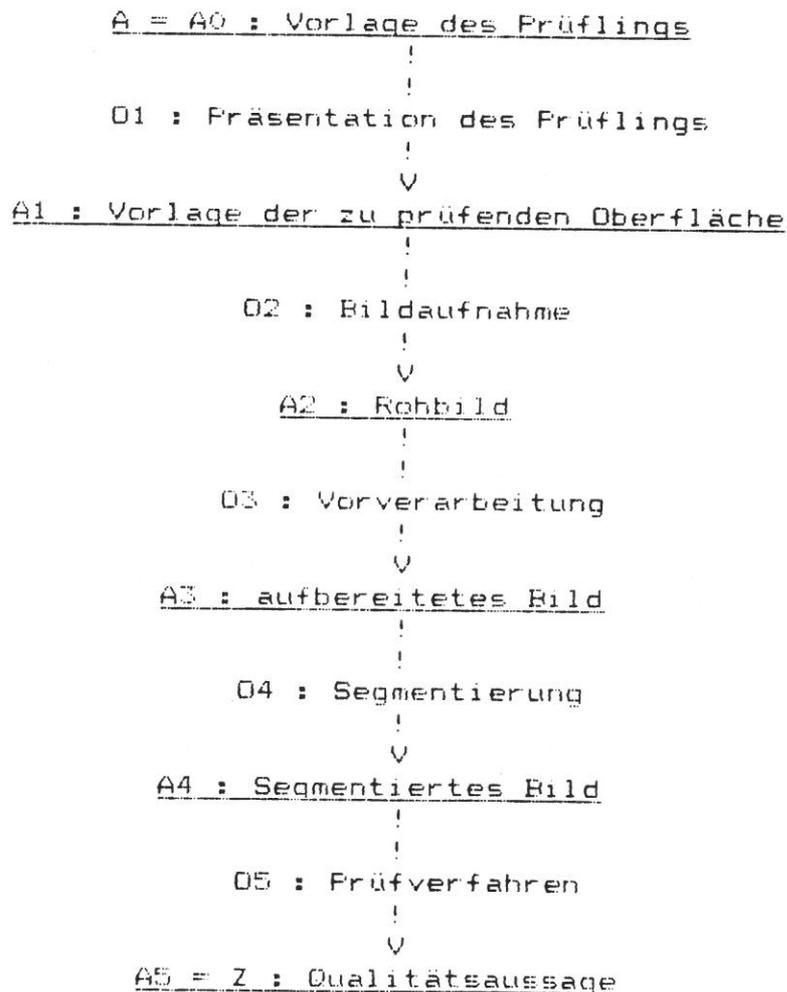
--- Konfigurierungsteil ---

Operationen sequentiell ausgeführt werden. Eine parallele Verarbeitung ist zwar ebenfalls denkbar, aber laut Prämisse vorerst ausgeschlossen.

Die Operationen  $O_i$  heißen Komponenten des Sichtkontrollsystems. Aus ihnen setzt sich die Gesamtoperation  $O$ , das System selbst, zusammen.

Gebräuchliche Komponenten eines Bildverarbeitungssystems sind Bildvorverarbeitung und Bildsegmentation, die die Bildrohdaten in vorverarbeitete Daten, bzw. diese in segmentierte Bilder überführen.

Das Sichtkontrollsystem besteht also aus einzelnen Komponenten, die eine Abbildung einer Abstraktionsebene auf eine höhere vornehmen. Für eine erste Betrachtung werden sowohl die Komponenten selbst, als auch die entsprechenden Abstraktionsebenen näher bezeichnet und gegeneinander abgegrenzt :



Ausgangssituation des Sichtkontrollsystems ist die Vorlage des Prüflings. Als erstes muß nun dafür gesorgt werden, daß der Sensor die zu prüfende Oberfläche erfassen kann. Die Bildaufnahme führt zum Rohbild, das dann in der Vorverarbeitung aufbereitet wird. Bei der Segmentierung werden im Bild Objektgrenzen und -flächen gesucht, auf denen das

eigentliche Prüfverfahren definiert ist.

Soll nun ein Sichtkontrollsystem aufgebaut werden, so beginnt das Konfigurierungssystem mit einer Systemschablone, bestehend aus den oben genannten Komponenten. Diese Komponenten sind nicht weiter spezifiziert, es sind leere Hüllen. Bei der Konfigurierung werden in die leeren Komponentenhüllen Realisierungsmethoden eingesetzt. Die Methoden müssen so gewählt werden, daß das Gesamtsystem den Spezifikationen entspricht. Der Konfigurierungsvorgang ist abgeschlossen, wenn alle Komponenten mit den entsprechenden Methoden gefüllt sind.

Ein Sichtkontrollsystem braucht normalerweise nicht alle vorgestellten Komponenten zu enthalten, z.B. kann die Präsentation des Prüflings fehlen, falls die zu prüfende Oberfläche bereits bei der Vorlage vollständig vom Sensor erfaßt werden kann.

Bevor ich näher auf die Komponenten und ihre Realisierung eingehe, werde ich mich mit den erwähnten Methoden im allgemeinen befassen.

### 2.3.2 Methodenklassen

Für jede Komponente des Sichtkontrollsystems steht dem Konfigurierungsteil eine Auswahl von Methoden zur Verfügung, aus denen das spezielle System aufgebaut wird. Die Gesamtmenge aller Methoden bildet einen Teil der Wissensbasis des Konfigurierungssystems.

Wie ist diese Methodenmenge aufgebaut ?

Bei näherer Betrachtung ist die Methodenmenge nicht homogen. Sie setzt sich aus Elementen dreier verschiedener Methodenklassen zusammen.

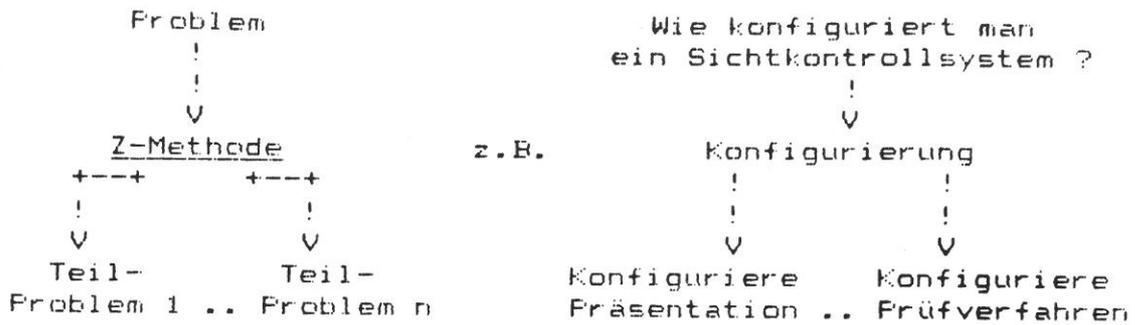
Methoden dienen zur Lösung von Problemen. Die Methodenmenge beschreibt also das Problemlösungswissen des Systems, wobei als Problem die Konfigurierung eines Sichtkontrollsystems bearbeitet werden soll. Bei einer Problemlösung durch schrittweise Verfeinerung, die hier angewendet werden soll, gibt es zwei Situationen :

- Für ein gestelltes Problem existieren keine direkten Lösungen. In diesem Fall wird verfeinert, d.h. das Problem wird in Teilprobleme zerlegt, die dann einzeln betrachtet werden. Damit findet ein Übergang von einer höheren auf eine niedrigere Abstraktionsebene statt. Ein Beispiel ist die oben besprochene Zerlegung des Sichtkontrollsystems in Teilkomponenten.
- Für ein gestelltes Problem gibt es eine oder mehrere Lösungen. Dann muß eine, "die beste" Lösungsalternative ausgewählt und bearbeitet werden.

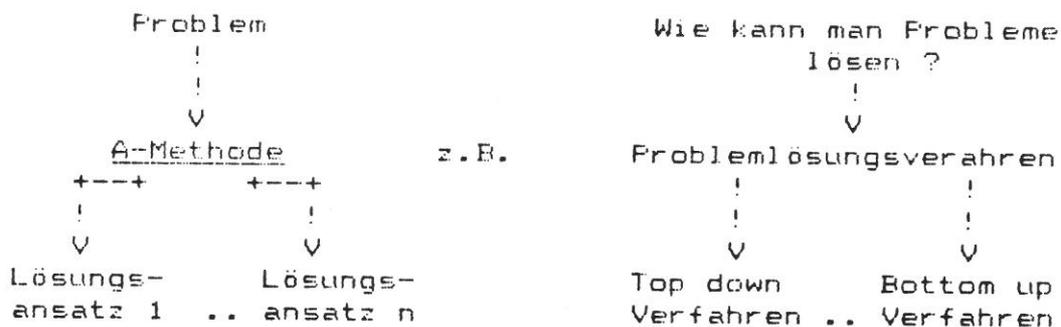
Die genannten Situationen spiegeln sich auch in der Methodenmenge wider :

Es gibt Methoden, die keine direkte Lösung anbieten, sondern ein Problem in Teilprobleme zerlegen. Ich will diese Methodenart Zerlegungs- oder Z-Methoden nennen.

--- Konfigurierungsteil ---

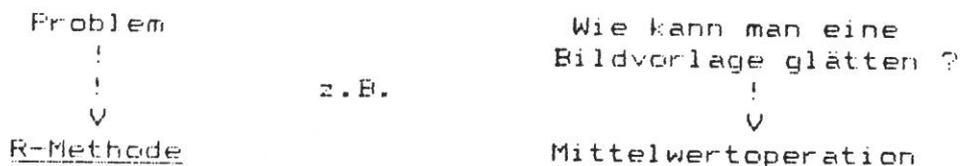


Weiterhin gibt es Methoden, hier Alternativ- oder A-Methoden genannt, die zu einem Problem eine oder mehrere Lösungsansätze zur Verfügung stellen :



Einer der vorgeschlagenen Lösungsansätze wird ausgewählt. Dadurch ist das Problem allerdings noch nicht gelöst. Bei der Wahl des Top down Verfahrens zur Problemlösung z.B. stellt sich ein neues Problem: Wie führt man das gewählte Verfahren aus? Der Lösungsansatz wird also zu einer Problemstellung auf niedrigerer Ebene.

Die bis jetzt betrachteten Methodenklassen haben Probleme lediglich in andere überführt. Es fehlt noch eine dritte Klasse, die eine echte Lösung beschreibt. Methoden dieser Klasse werde ich mit Realisations- oder R-Methoden bezeichnen :



Die R-Methode ist, einmal abgesehen von der Anzahl der angebotenen Lösungen, der vorher dargestellten A-Methode sehr ähnlich. Beide Methoden bieten eine Problemlösung an. Im Gegensatz zur A-Methode ist hier allerdings eine Abstraktionsebene erreicht, die nicht weiter verfeinert zu werden braucht. Die R-Methode stellt ein Methoden-Primitiv dar, das als bekannt vorausgesetzt wird. Dem Konfigurationssystem kann z.B. die Mittelwertoperation in prozedur-

raler Form vorliegen.

Ziel einer Problemlösung wird es sein, das Grundproblem mit Hilfe von Z- und A-Methoden auf ausschließlich R-Methoden zurückzuführen.

Die Methodenmenge setzt sich also aus drei verschiedenen Methodenklassen zusammen, den Z-, A- und R-Methoden. Im obigen Schema werden die einzelnen Methoden über sich entsprechende Problemstellungen gekoppelt :

Grundproblem -> Methode 1 -> Problem 1 -> .. -> R-Methode

Statt einer Problemkoppelung können die Methoden auch direkt über einen Methodennamen miteinander verbunden werden:

- Eine Z-Methode enthält die Namen der Teilmethoden, aus denen sie sich zusammensetzt.
- Eine A-Methode nennt verschiedene Lösungsmethoden, aus denen eine ausgewählt werden muß.
- Eine R-Methode stellt die Realisierung selbst dar.

Auf diese Weise erhält man ein System, das nur noch aus Methoden aufgebaut ist :

Grundmethode -> Methode 1 -> .. -> Methode n -> R-Methode

Die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Methoden können auch mit Hilfe eines semantischen Netzes oder eines Und/Oder-Graphen beschrieben werden. Dabei bilden die Methoden selbst die Netzknoten, die über die Methodennamen erzeugten Verweise werden zu Netzkanten. Zu unterscheiden ist zwischen den konjunktiven Kanten, die von den Z-Methoden ausgehen und den disjunktiven Kanten der A-Methoden.

Im folgenden Abschnitt wird die Methodenmenge im einzelnen beschrieben. Es handelt sich dabei lediglich um eine Aufzählung der einzelnen Methoden. Wie alternative Lösungsmethoden ausgewählt und in welcher Reihenfolge sie bearbeitet werden, werde ich später beschreiben. Auch das Problem optionaler, d.h. nicht unbedingt notwendiger Teilmethoden wird hier nicht näher betrachtet. Eine Lösung dazu wird in Kapitel 4 vorgestellt.

### 2.3.3 Komponenten und mögliche Methoden

In diesem Abschnitt werden für jede Komponente die dem Konfigurierungsteil bekannten Methoden beschrieben. Dazu wird ein frameartiges Schema benutzt :

<Name> : eindeutiger Name der Methode  
<Klasse> : Methodenklasse  
<Beschreibung> : Kurzbeschreibung der Methode  
<Teilkomponenten> : Teilmethodenliste (nur bei Z-Methoden)  
<Alternativen> : Alternativenliste (nur bei A-Methoden)

Beispiel :

Die Zerlegung des Sichtkontrollsystems in Teilkomponenten kann als Z-Methode aufgefaßt werden :

<Name> : **Konfigurierung**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Konfigurierung eines Sichtkontrollsystems  
<Teilkomponenten> : Präsentation,  
Bildaufnahme,  
Vorverarbeitung,  
Segmentierung,  
Prüfverfahren

Eine Übersicht der im folgenden aufgeführten Methoden befindet sich, dargestellt als Und/Oder-Graph, im Anhang A.

#### 2.3.3.1 Präsentation des Prüflings

Diese Komponente ist der Bildaufnahme vorgeschoben. Damit gehört sie eigentlich zum mechanischen Aufbau des Systems. Weil sie jedoch einen Spezialfall der Oberflächenbetrachtung behandelt, wird die Präsentation des Prüflings trotzdem als konfigurierbare Komponente betrachtet.

Mit ihrer Hilfe soll der Prüfling dem Sensorsystem so präsentiert werden, daß die zu prüfende Oberfläche vollständig erfaßt werden kann. Da laut Voraussetzung ausschließlich eine Oberfläche überprüft werden soll, nimmt man stillschweigend an, daß die entsprechende Oberfläche bereits dem Sensor zugewandt ist. Im Standardfall entfällt somit eine explizite Präsentation des Prüflings.

Es wird jedoch ein Ausnahmefall betrachtet: Die zu prüfende Oberfläche ist die Mantelfläche eines rotationssymmetrischen Körpers. In diesem Fall kann der Prüfling vor dem Sensor gedreht werden, so daß die Mantelfläche als Rollbild vollständig erfaßt werden kann.

Damit ergibt sich als vorläufige einzige Methode zur Präsentation :

<Name> : **Präsentation** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Die Mantelfläche eines rotationssymmetrischen Körpers wird als Rollbild erfaßt (5)

### 2.3.3.2 Bildaufnahme

Bei der Bildaufnahme erfolgt der Übergang von der realen Welt in die interne Darstellung des Rechners.

Auch die Bildaufnahme gehört in den Bereich des mechanischen Aufbaus. Da aber die Bildaufnahmemethode einen wesentlichen Einfluß auf die weitere rechnerinterne Bildverarbeitung hat, läßt sie sich nicht vom übrigen Konfigurierungsvorgang trennen. Sie ist ein wichtiger Bestandteil des Sichtsystems selbst.

Die Bildaufnahmekomponente besteht aus Sensor, Beleuchtung und Optik, also :

<Name> : **Bildaufnahme**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau der Bildaufnahmekomponente  
<Teilkomponenten> : Sensorsystem,  
                          Beleuchtungssystem,  
                          Optiksystem

Für jede der drei Teilkomponenten gibt es verschiedene Methoden, bzw. hier : Geräte :

<Name> : **Sensorsystem**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Zur Verfügung stehende Sensoren  
<Alternativen> : Vidikon-Kamera,  
                          CCD-Kamera,  
                          Laser-Scanner

<Name> : **Vidikon-Kamera**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bildaufnahme mit Hilfe einer  
                          Vidikon-Kamera (6)

<Name> : **CCD-Kamera**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche CCD-Kameras (7)  
<Alternativen> : CCD-Zeilenkamera,  
                          CCD-Arraykamera

<Name> : **CCD-Zeilenkamera**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bildaufnahme mit Hilfe einer  
                          CCD-Zeilen-Kamera (8)

<Name> : **CCD-Array-Kamera**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bildaufnahme mit Hilfe einer  
                          CCD-Array-Kamera (7)

<Name> : **Laser-Scanner**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bildaufnahme mit Hilfe eines Laser-  
                          Scanners (9)

Beleuchtungssysteme :

<Name> : **Beleuchtungssystem**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Zur Verfügung stehende Beleuchtungen  
<Alternativen> : Glühfadenleuchte,  
                  Neonleuchte,  
                  Blitzleuchte,  
                  Spaltleuchte

<Name> : **Glühfadenleuchte**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Beleuchtung durch eine  
                  Glühfadenleuchte

<Name> : **Neonleuchte**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Beleuchtung durch eine Neonleuchte

<Name> : **Blitzleuchte**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Beleuchtung durch eine Blitzlampe

<Name> : **Spaltleuchte**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Beleuchtung durch eine Leuchte mit  
                  linienförmigem Lichtaustritt

Optiksysteme :

Unter den Bereich Optiksysteme fallen hier nur die optischen Filter. Sie werden sowohl vor dem Beleuchtungs- als auch vor dem Kamerasystem eingesetzt und dienen zur Unterdrückung von Fremdlichteinflüssen. Vorausgesetzt ist natürlich, daß einerseits das Beleuchtungssystem eine Strahlung der entsprechenden Wellenlängen liefert und andererseits das Kamerasystem auf diese Strahlung ansprechen kann. Eventuelle Linsensysteme sollen bereits Bestandteil des Beleuchtungs- bzw. Kamerasystems sein.

<Name> : **Optiksystem** (optional)  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau des Optiksystems  
<Teilkomponenten> : Farbfilter,  
                      Polarisationsfilter

<Name> : **Farbfilter** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bandpaßfilter mit definierter  
                  Wellenlänge

<Name> : **Polarisationsfilter** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Polarisationsfilter-Paar

Zur Bildaufnahme gehört eigentlich noch eine vierte Teil-

Komponente, die die im Sensor anfallenden analogen Signale in digitale Bilddaten umsetzt und sie dem Auswerterechner übergibt. Diese Teilkomponente soll mit zum Sensorsystem gehören und nicht einzeln betrachtet werden.

Die Bildverarbeitungskomponente liefert als Ausgabe eine Menge von zeitlich nacheinander anfallenden Bild-Grauwerten, das sogenannte Rohbild. Dieses ist, abhängig vom Sensorsystem, ein- oder zweidimensional. So erzeugen Vidikon- und Array-Kameras zweidimensionale Rohbilder, Zeilenkameras dagegen nur eindimensionale. Natürlich lassen sich bei entsprechender Abtastung auch mit Zeilenkameras zweidimensionale Bilder aufbauen. Dies geschieht jedoch nicht innerhalb der Bildaufnahmekomponente, sondern bei der nun zu besprechenden Vorverarbeitung.

### 2.3.3.3 Vorverarbeitung

In der Vorverarbeitungskomponente werden die von der Bildaufnahme eintreffenden seriellen Grauwertdaten einer ersten Auswertung unterzogen. Diese vollzieht sich in drei Schritten :

<Name> : **Vorverarbeitung**

<Klasse> : Z-Methode

<Beschreibung> : Aufbau der Vorverarbeitungskomponente

<Teilkomponenten> : Vorberechnung,  
Matrixaufbau,  
Bildaufbereitung

Die sequentiell eintreffenden Bilddaten können direkt, d.h. noch vor dem Aufbau der Bildmatrix, zu Berechnungen herangezogen werden. Es lassen sich sowohl allgemeine Bildeigenschaften bestimmen, als auch Schwellenoperationen durchführen :

<Name> : **Vorberechnung** (optional)

<Klasse> : Z-Methode

<Beschreibung> : Mögliche Berechnungen vor dem Aufbau der Bildmatrix

<Teilkomponenten> : Allgemeine Bildeigenschaften,  
Iterative Schwellenoperationen

Die allgemeinen Bildeigenschaften geben Auskunft über die Bildhelligkeit und den Bildkontrast. Sie können als Grundlage für die Berechnung von Schwellwerten dienen :

<Name> : **Allgemeine Bildeigenschaften** (optional)

<Klasse> : Z-Methode

<Beschreibung> : Zur Verfügung stehende Bildeigenschaften

<Teilkomponenten> : Mittlerer Grauwert,  
Grauwertvarianz,  
Grauwerthistogramm

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Mittlerer Grauwert** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Iterative Berechnung des  
mittleren Grauwertes (10)

<Name> : **Grauwertvarianz** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Iterative Berechnung der  
Grauwertvarianz (10)

<Name> : **Grauerthistogramm** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau eines Grauerthistogramms  
(10)

Die Schwellenoperationen setzen einen Schwellwert voraus.  
Dieser Wert muß a priori bekannt sein. Er kann z.B. bei  
einer Systeminitialisierung einmalig bestimmt werden.

<Name> : **Iterative Schwellenoperationen**  
(optional)  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Vorberechnungsoperationen, die einen  
Schwellwert benutzen  
<Teilkomponenten> : Iterative Binärschwellen-  
operation,  
Iterative Flächenberechnung

<Name> : **Iterative Binärschwellenoperation**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Umformung der Grauwerte in binäre  
Werte

Die iterative Flächenberechnung benutzt die durch die Bi-  
närschwellenoperation erzeugten Binärwerte. Es werden alle  
Punkte gezählt, die den Wert 1 bzw den Wert 0 besitzen. Im  
Idealfall kann diese Operation die Fläche eines vorgelegten  
Objektes liefern. Es dürfen dann allerdings keine Störungen  
des Bildes vorliegen.

<Name> : **Iterative Flächenberechnung**  
(optional)  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche iterative Flächen-  
berechnungen  
<Alternativen> : Iterative Hell-Fläche,  
Iterative Dunkel-Fläche

<Name> : **Iterative Hell-Fläche**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Flächenberechnung durch  
zählen der 1-Punkte

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Iterative Dunkel-Fläche**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Flächenberechnung durch  
zählen der 0-Punkte

Ein Vorteil der aufgeführten Vorberechnungsmethoden ist, daß sie die eintreffenden Daten direkt verarbeiten können und nicht auf den Aufbau der 2D-Bildmatrix warten müssen. Die Ergebnisse dieser Methoden liegen vor, sobald das vollständige Bild von der Bildaufnahmekomponente übermittelt worden ist. Daher können die hier gewonnenen Daten bereits bei der Bildaufbereitung verwendet werden.

Die nächste Teilkomponente nach der Vorberechnung betrifft den Aufbau der Bildmatrix. Hierzu müssen die seriell eintreffenden Bilddaten in eine Matrix eingeordnet werden. Für die weiteren Bearbeitungsschritte muß diese Matrix zweidimensional sein.

Wie schon erwähnt stellen die verschiedenen Kameratypen die Bilddaten sowohl zeilenweise als auch bildweise zur Verfügung. Dies hat einen entscheidenden Einfluß auf die Dauer des Matrixaufbaus. Während bei 2D-Kameras wie dem Vidikon oder der CCD-Arraykamera das vollständige Bild praktisch sofort zur Verfügung steht, muß bei einer Zeilenkamera die zu prüfende Oberfläche auf mechanischem Weg abgetastet werden, um eine Gesamtsicht zu erhalten. Dies kann bereits einen beträchtlichen Teil der Taktzeit in Anspruch nehmen. Zum Aufbau der Bildmatrix werden also zwei Methoden benötigt :

<Name> : **Matrixaufbau**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten zum Aufbau der Bildmatrix  
<Alternativen> : Direkter Matrixaufbau,  
Zeilenweiser Matrixaufbau

<Name> : **Direkter Matrixaufbau**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau der Bildmatrix durch direkte  
Übernahme der Bilddaten

<Name> : **Zeilenweiser Matrixaufbau**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau der Bildmatrix aus einzelnen,  
in zeitlich großen Abständen ein-  
treffenden Bildzeilen

Die dritte Teilkomponente beschäftigt sich mit den Bildaufbereitungsoperationen. Die hier aufgeführten Operationen dienen der Bildverbesserung und der Beseitigung von Störeinflüssen. Mögliche Störeinflüsse sind Fremdlichteinflüsse, Rauschen und Geometrieverzerrungen des Sensorsystems. Folgende Methoden sollen dem Konfigurationssystem zur Verfügung stehen :

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Bildaufbereitung** (optional)  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche Bildaufbereitungsoperationen  
<Teilkomponenten> : Filteroperationen,  
                          Geometrieentzerrung

<Name> : **Filteroperationen** (optional)  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche Filteroperationen  
<Alternativen> : Bildglätten,  
                          Bildschärfen

<Name> : **Bildglätten**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten zur Bildglättung  
<Alternativen> : Lineare Bildglättung,  
                          Nichtlineare Bildglättung

<Name> : **Lineare Bildglättung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Methoden der linearen Bild-  
                          glättung  
<Alternativen> : Mittelwertoperator,  
                          Tiefpaßfilter

<Name> : **Mittelwertoperator**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Mittelwert-  
                          operators auf die Bild-  
                          matrix (11)

<Name> : **Tiefpaßfilter**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Tiefpaßfilterung über FFT  
                          (12)

<Name> : **Nichtlineare Bildglättung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Methoden zur nichtlinearen  
                          Bildglättung  
<Alternativen> : Median-Filter,  
                          Erosion/Dilatation-Filter

<Name> : **Median-Filter**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Medianfilters  
                          auf die Bildmatrix (13)

<Name> : **Erosion/Dilatation-Filter**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung zuerst des  
                          Erosions-, dann des  
                          Dilatationsfilters auf die  
                          Bildmatrix (13)

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Bildschärfen**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Methoden zur Bildschärfung  
<Alternativen> : Schärfungsoperator,  
Hochpaßfilter

<Name> : **Schärfungsoperator**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Schärfungs-  
operators auf die Bildmatrix  
(14)

<Name> : **Hochpaßfilter**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Hochpaßfilterung über FFT (12)

<Name> : **Geometrieentzerrung** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Geometriekorrektur durch Interpo-  
lation (38)

Die Vorverarbeitungskomponente erzeugt ein aufbereitetes Bild, in dem viele Störeinflüsse bereits beseitigt sind. Wird die Binärschwellenoperation nicht angewendet, so handelt es sich dabei um ein Grauwertbild, andernfalls wird ein Binärbild erzeugt.

Die weitere Verarbeitung des Bildes erfolgt im Rahmen der Segmentierung.

#### 2.3.3.4 Segmentierung

Bei der Segmentierung wird eine Gruppierung von Teilen des Bildes in homogene Einheiten vorgenommen. Diese Einheiten entsprechen weitgehend denjenigen, die ein menschlicher Betrachter als Objektbestandteile identifiziert (15). Damit erfolgt der Übergang von einer ikonischen, d.h. punktwweisen Bildrepräsentation in eine symbolische.

Bei den hier betrachteten Segmentierungsmethoden wird dieser Übergang nur vereinzelt durchgeführt. Die meisten Verfahren erzeugen wiederum eine ikonische Bildrepräsentation. Daher könnte man eher von einer Vorsegmentierung sprechen. Der eigentliche Schritt zu einer symbolischen Darstellung erfolgt bei den Prüfverfahren im Rahmen der Objekterkennung.

Für die Segmentierung stehen zwei grundlegende Verfahren zur Verfügung (15) :

<Name> : **Segmentierung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Verfahren der Segmentierung  
<Alternativen> : Regionenbezogene Verfahren,  
Kantenbezogene Verfahren

Bei den Regionenverfahren wird von verschiedenen Ansätzen ausgegangen :

- Regionen sind Gebiete mit stückweise konstantem Grauwert : Man nimmt an, daß die Objekteigenschaften sich lokal nicht oder nur sehr wenig ändern. Eigenschaftsänderungen treten dagegen abrupt auf (16). Da hier Regionen aufgrund von lokalen Eigenschaften erzeugt werden, spricht man auch von lokalen Techniken (17).

- Regionen sind Gebiete mit einer Streuung der Meßwerte um einen konstanten Mittelwert : Hier werden Regionen aufgrund der Eigenschaften einer großen Anzahl von Pixeln definiert. Man spricht daher auch von globalen Techniken.

Damit gilt also :

<Name> : **Regionenbezogene Verfahren**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Klassen von Regionenverfahren  
<Alternativen> : Lokale Regionentechniken,  
Globale Regionentechniken

Als lokale Techniken sollen folgende Methoden bekannt sein:

<Name> : **Lokale Regionentechniken**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Methoden für lokale Regionenfinder  
<Alternativen> : Blob-Colouring,  
Split and Merge

<Name> : **Blob-Colouring**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche Blob-Colouring-Verfahren  
(18)  
<Alternativen> : Binäres Blob-Colouring,  
Allgemeines Blob-Colouring

<Name> : **Binäres Blob-Colouring**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Blob-Colouring Methode für  
Binärbilder

<Name> : **Allgemeines Blob-Colouring**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Blob-Colouring aufgrund von  
Ähnlichkeitsfunktionen

<Name> : **Split and Merge**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Split and Merge Verfahren zum  
Regionenfinden (19)

Die wichtigste Anwendung von globalen Methoden sind Schwellwertverfahren. Dabei wird versucht, das Bild durch Anwendung verschiedener Schwellen in geeignete Regionen zu unterteilen.

Die Schwellwertverfahren bestehen genaugenommen aus zwei Teilen: Aus der Bestimmung des Schwellwertes und der Anwendung dieses Wertes auf die Bildmatrix. Die Schwellwertberechnung kann sowohl einmalig bei der Systeminitialisierung erfolgen, als auch zyklisch in bestimmten Zeitabständen oder direkt vor jeder Schwellwertoperation.

Damit ergibt sich folgender Ansatz :

<Name> : **Globale Regionentechniken**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Hauptmethode der globalen Techniken  
<Alternativen> : Schwellwertverfahren

<Name> : **Schwellwertverfahren**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Teile des Schwellwertverfahrens  
<Teilkomponenten> : Schwellwertbestimmung,  
Schwellwertanwendung

<Name> : **Schwellwertbestimmung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Zeitpunkte der Schwellwert-  
bestimmung  
<Alternativen> : Einmalige Schwellwertbestim-  
mung,  
Zyklische Schwellwertbestim-  
mung,  
Ständige Schwellwertbestimmung

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Einmalige Schwellwertbestimmung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Bestimmung des Schwellwertes bei Initialisierung des Systems

<Alternativen> : Histogrammverfahren,  
Referenzbereichsverfahren

<Name> : **Zyklische Schwellwertbestimmung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Bestimmung des Schwellwertes in bestimmten Zeitabständen

<Alternativen> : Histogrammverfahren,  
Referenzbereichsverfahren

<Name> : **Ständige Schwellwertbestimmung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Bestimmung des Schwellwertes vor jeder Benutzung

<Alternativen> : Histogrammverfahren,  
Referenzbereichsverfahren

<Name> : **Histogrammverfahren**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Schwellwertbestimmung über Histogrammauswertung (20)

<Name> : **Referenzbereichsverfahren**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Schwellwertbestimmung über Auswertung von Referenzbereichen in der Bildmatrix (20)

Die Schwellwerte lassen eine Zerlegung des Bildes in Regionen zu. Im günstigsten Fall entsprechen diese Regionen Teilen des betrachteten Objektes.

Es werden folgende Verfahren zur Schwellwertanwendung benutzt :

<Name> : **Schwellwertanwendung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche Anwendungen eines Schwellwertes

<Alternativen> : Binärschwelle,  
Min/Max-Schwelle

<Name> : **Binärschwelle**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Benutzung des Schwellwertes zur Erzeugung eines Binärbildes (20)

--- Konfigurierungsteil ---

Die Min/Max-Schwelle dient zur Ausblendung bestimmter Teile des Bildes, so läßt sich z.B. eine Trennung von Objekt und Hintergrund durchführen.

<Name> : **Min/Max-Schwelle**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Benutzung des Schwellwertes zur Ausblendung bestimmter Bildbereiche (20)  
<Alternativen> : Min-Schwelle,  
Max-Schwelle

<Name> : **Min-Schwelle**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Ausblenden aller Pixel, deren Grauwert kleiner als der Schwellwert ist

<Name> : **Max-Schwelle**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Ausblenden aller Pixel, deren Grauwert größer als der Schwellwert ist

Zu den regionenbezogenen Gruppierungsverfahren gibt es eine duale Verfahrensmenge: die kantenbezogenen Verfahren. Hierbei werden keine Stetigkeitsbereiche, sondern Unstetigkeiten, Kantenelemente genannt, im Bild gesucht. Aus den Kantenelementen lassen sich größere Kantenstücke aufbauen, die mit den Kanten der betrachteten Objekte übereinstimmen können.

Ein großes Problem der Kantenmethoden ist, daß Grauwertdiskontinuitäten nicht nur durch Objektkanten, sondern auch durch Schatten- oder Farbkanten hervorgerufen werden können (21). Damit werden in der Regel in der Bildmatrix mehr Kantenstücke gefunden werden, als in der Realität an Objektkanten existieren.

Die kantenbezogenen Verfahren vollziehen sich in mehreren Schritten (22) :

<Name> : **Kantenbezogene Verfahren**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Schritte der kantenbezogenen Verfahren  
<Teilkomponenten> : Aufbau der Kantenmatrix,  
Kanten-Schwellwertoperation,  
Erzeugung von Kantenstücken

Im ersten Schritt wird ein lokaler Kantenoperator auf die Bildmatrix angewendet. Da es eine große Anzahl verschiedener Operatoren gibt, soll hier vorerst nur eine kleine Auswahl betrachtet werden :

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Aufbau der Kantenmatrix**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche Kantenoperatoren zum Aufbau  
der Kantenmatrix  
<Alternativen> : Lokale Grauwertdifferenzen,  
Roberts Cross Operator,  
Sobel Operator,  
Prewitt Operator,  
Kirsch Operator,  
Hueckel Operator

<Name> : **Lokale Grauwertdifferenzen**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau der Kantenmatrix durch  
Auswertung lokaler Grauwert-  
differenzen (23)

<Name> : **Roberts Cross Operator**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Roberts-Cross  
Operators auf die Bildmatrix (24)

<Name> : **Sobel Operator**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Sobel Operators auf  
die Bildmatrix (24)

<Name> : **Prewitt Operator**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Prewitt Operators  
auf die Bildmatrix (24)

<Name> : **Kirsch Operator**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Kirsch Operators  
auf die Bildmatrix (24)

<Name> : **Hueckel Operator**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anwendung des Hueckel Operators  
auf die Bildmatrix (25)

Die Operatoren liefern für jeden Punkt der Bildmatrix die Stärke und Richtung eines in diesem Punkt liegenden Kantenelementes. Genaugenommen entstehen aus der Bildmatrix also zwei neue Matrizen: Eine Kanten(stärke)matrix und eine Richtungsmatrix.

In einem zweiten Verfahrensschritt werden mit Hilfe eines geeigneten Schwellwertes zu schwache Kantenelemente unterdrückt. Der Schwellwert ist ein freier Parameter, der a priori bestimmt werden muß.

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Kanten-Schwelldwertoperation**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Schwellwertoperation auf der Kantenmatrix zur Unterdrückung schwacher Kantenelemente

Als dritter Schritt kann eine erste Auswertung der Kantenmatrix erfolgen. Ob dieser Schritt tatsächlich durchgeführt werden muß, hängt vom nachfolgenden Prüfverfahren ab. Bei der Auswertung wird versucht, aus den Elementarkanten zusammenhängende Kantenstücke aufzubauen und zu beschreiben. Es sollen folgende Methoden betrachtet werden:

<Name> : **Erzeugung von Kantenstücken (optional)**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten zur Auswertung der Kantenmatrix  
<Alternative> : Einfache Hough-Transformation, Graphensuche, Kanten-Relaxation

<Name> : **Einfache Hough-Transformation**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Geradensuche über Hough-Transformation mit nachfolgender Selektion der Kantenstücke (26)

<Name> : **Graphensuche**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bildung von Kantenstücken mit Hilfe von Graphensuchverfahren (27)

<Name> : **Kanten-Relaxation**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bildung von Kantenstücken mit Hilfe eines Relaxationsverfahrens (28)

Als Ergebnis der (Vor-)Segmentation entsteht ein segmentiertes Bild, dessen Repräsentationsform abhängig von den angewandten Methoden ist. In den meisten Fällen bleibt die ikonische Bildrepräsentation erhalten. Lediglich die Verfahren zur Erzeugung von Kantenstücken liefern Ansätze einer symbolischen Beschreibung. Das segmentierte Bild ist Grundlage für die eigentlichen Prüfverfahren, die im folgenden besprochen werden.

### 2.3.3.5 Prüfverfahren

Im Rahmen der Prüfverfahren werden die eigentlichen Prüfmethoden beschrieben. Damit ist die Methodengruppe mit der stärksten Problembezogenheit erreicht :

Die existierenden Verfahren hängen sehr stark von der Prüfaufgabe ab. Sie sollen nach Aufgaben getrennt aufgeführt werden. Beginnend mit der Objekterkennung werden zunehmend komplexere Prüfverfahren behandelt.

Es gilt :

<Name> : **Prüfverfahren**

<Klasse> : A-Methode

<Beschreibung> : Mögliche Prüfverfahren

<Alternativen> : Objekterkennung,  
Prüfung optischer Eigenschaften,  
Vollständigkeitsprüfung,  
Geometrieprüfung,  
Prüfung auf räumliche Anordnung,  
Objektunterscheidung,  
Störstellenerkennung

Es wird hier der Eindeutigkeit halber zwischen Objekterkennung (Segmentation) und Objektunterscheidung (n Klassen) unterschieden. Der Mehrklassenfall wird mit Objektunterscheidung bezeichnet.

#### 2.3.3.5.1 Objekterkennung

Wie schon bei der Segmentierung erwähnt findet bei der Objekterkennung der eigentliche Übergang von der ikonischen in die symbolische Bilddarstellung statt. Das Objekt soll, falls nicht bereits geschehen, vom Hintergrund isoliert und anschließend beschrieben werden.

<Name> : **Objekterkennung**

<Klasse> : Z-Methode

<Beschreibung> : Ablauf der Objekterkennung

<Teilkomponenten> : Isolierung des Objektes,  
Beschreibung des Objektes

Falls das Objekt nicht bereits über ein Schwellwertverfahren isoliert worden ist, muß es über spezielle Verfahren erkannt werden. Die hier betrachteten Verfahren basieren auf der Konturensuche.

Dabei gibt es Verfahren, die direkt auf der Kanten- und Richtungsmatrix arbeiten, und solche, die die Linienverfahren benutzen.

Die Verfahren der direkten Konturensuche benötigen ein Vorwissen über die gesuchte Kontur. Es werden also nur ganz bestimmte Konturen extrahiert, bei vergleichsweise hoher Geschwindigkeit. Im Idealfall werden alle Regionen außer der gesuchten ausgeblendet.

Die indirekten Verfahren dagegen liefern alle geschlossenen Konturen. Die gesuchten Objekte müssen anschliessend anhand

relevanter Eigenschaften selektiert werden.

<Name> : **Isolierung des Objektes** (optional)  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Hauptverfahren zur Objektisolierung  
<Alternativen> : Konturensuche

<Name> : **Konturensuche**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten der Konturensuche  
<Alternativen> : Direkte Konturensuche,  
Indirekte Konturensuche

<Name> : **Direkte Konturensuche**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Verfahren zur direkten Konturen-  
suche  
<Alternativen> : Hough-Transformation,  
Schablonen-Vergleich

<Name> : **Hough-Transformation**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Allgemeine Hough-Trans-  
formation (29)

<Name> : **Schablonen-Vergleich**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Konturensuche über Schablonen-  
vergleich (30)

<Name> : **Indirekte Konturensuche**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Vorgehen bei der indirekten  
Konturensuche  
<Teilkomponenten> : Konturenbildung,  
Konturenerkennung

<Name> : **Konturenbildung**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau geschlossener Konturen  
aus den gefundenen Kanten-  
stücken

<Name> : **Konturenerkennung**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Vorgehen bei der Konturener-  
kennung  
<Teilkomponenten> : Konturenbeschreibung,  
Konturenselektion

Die Konturenbeschreibung erfolgt über dieselben Methoden,  
die auch zur unten betrachteten Beschreibung des Objektes  
benutzt werden :



--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Standardfläche**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Fläche einer  
Region im Grauwert- oder  
Kantenbild (32)

<Name> : **Schwerpunkt** (optional)  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung des Schwerpunktes  
einer Fläche (33)  
<Alternativen> : Binärschwerpunkt,  
Standardschwerpunkt

<Name> : **Binärschwerpunkt**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung des Schwerpunktes  
einer Fläche in einem Binär-  
bild

<Name> : **Standardschwerpunkt**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung des Schwerpunktes  
einer Fläche in einem  
Grauwert- oder Kantenbild

<Name> : **Hauptachse** (optional)  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Hauptträgheits-  
achse einer Fläche (33)  
<Alternativen> : Binärhauptachse,  
Standardhauptachse

<Name> : **Binärhauptachse**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Hauptträgheits-  
achse einer Fläche in einem  
Binärbild

<Name> : **Standardhauptachse**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Hauptträgheits-  
achse einer Fläche in einem  
Grauwert- oder Kantenbild

<Name> : **Exzentrizität** (optional)  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Exzentrizität  
einer Fläche  
<Alternativen> : Binärexzentrizität,  
Standardexzentrizität

<Name> : **Binärexzentrizität**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Exzentrizität  
einer Fläche in einem Binär-  
bild

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Standardexzentrizität**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Exzentrizität  
einer Fläche in einem Grauwert- oder Kantenbild

<Name> : **Euler-Zahl** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Eulerzahl einer  
Fläche

<Name> : **Kompaktheit** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Kompaktheit einer  
Fläche

<Name> : **Signatur** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Signatur einer  
Fläche

<Name> : **Slope-Density Funktion** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Slope-Density-  
Funktion einer Fläche

<Name> : **Linienbeschreibung** (optional)  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche Linieneigenschaften  
<Teilkomponenten> : Linienlänge,  
Krümmung

<Name> : **Linienlänge** (optional)  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Linienlänge

<Name> : **Krümmung**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Berechnung der Linienkrümmung  
(34)

Die Objekterkennung erzeugt also die Beschreibung eines Objektes. Bei diesem Objekt muß es sich nicht notwendigerweise immer um den Prüfling selbst handeln. Auch Teile davon, wie z.B. Bohrungen, können für die an die Erkennung anschließenden Prüfverfahren interessant sein. Die hier aufgeführten Methoden sollen ganz allgemein bestimmte von den anderen Methoden vorgegebene Objekte selektieren und beschreiben.

### 2.3.3.5.2 Prüfung optischer Eigenschaften

Im Rahmen dieser Prüfkategorie wird die Konstanz bestimmter Eigenschaften eines Objektes geprüft. Wie in 2.2.1.3 erwähnt, kann in speziellen Fällen die Objekterkennung wegfallen :

<Name> : **Prüfung optischer Eigenschaften**

<Klasse> : Z-Methode

<Beschreibung> : Vorgehen zur Prüfung optischer Eigenschaften

<Teilkomponenten> : Erkennung des Prüflings,  
Abtastung des Prüflings,  
Beurteilungsverfahren

<Name> : **Erkennung des Prüflings (optional)**

<Klasse> : A-Methode

<Beschreibung> : Methode zur Erkennung des Prüflings

<Alternativen> : Objekterkennung

<Name> : **Abtastung des Prüflings**

<Klasse> : R-Methode

<Beschreibung> : Punktweise Abtastung der ausgewählten Oberfläche

Die Konstanz einer optischen Eigenschaft spiegelt sich im einfachsten Fall in einem konstanten Grauwert für alle Oberflächenpunkte wieder. Sie läßt sich dann mit Hilfe von zwei Schwellwerten überwachen, wobei der eine Wert den erlaubten Minimal- und der andere den erlaubten Maximalwert bildet.

Dieses Verfahren läßt sich nicht nur bei der Prüfung optischer Eigenschaften verwenden. Verallgemeinert wird ein Toleranzbereich vorgegeben, in dem sich die Meßwerte befinden müssen. Da an dieser Stelle nicht weiter auf die Beurteilungsverfahren eingegangen werden soll, fasse ich sie unter einem Sammelbegriff zusammen :

<Name> : **Beurteilungsverfahren**

<Klasse> : R-Methode

<Beschreibung> : Test der Meßergebnisse durch Vergleich mit einem Toleranzbereich

### 2.3.3.5.3 Vollständigkeitsprüfung

Die Vollständigkeitsprüfung setzt sich aus der Erkennung und Zählung von Objekten zusammen :

<Name> : **Vollständigkeitsprüfung**

<Klasse> : Z-Methode

<Beschreibung> : Aufbau der Vollständigkeitsprüfung

<Teilkomponenten> : Objekterkennung,  
Objektzählung,  
Beurteilungsverfahren

<Name> : **Objektzählung**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Zählen aller gefundenen Objekte

#### 2.3.3.5.4 Geometrieprüfung

<Name> : **Geometrieprüfung**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau der Geometrieprüfung  
<Teilkomponenten> : Geometriedatengewinnung,  
Beurteilungsverfahren

Die Geometrieprüfung befaßt sich mit geometrischem Messen. Sie setzt im allgemeinen eine Objekterkennung voraus. In besonderen Fällen können allerdings Binärbilder, die im Rahmen der Segmentation mit Hilfe von Schwellwertverfahren erzeugt worden sind, bereits für eine Geometrieprüfung ausreichen.

<Name> : **Geometriedatengewinnung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten zur Gewinnung geometrischer Daten  
<Alternativen> : Binäre Geometriedatengewinnung,  
Standard-Geometriedatengewinnung

<Name> : **Binäre Geometriedatengewinnung**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Geometrische Messungen, für die eine Silhouette des Objektes ausreicht  
<Teilkomponenten> : Geometriemessung

<Name> : **Standard-Geometriedatengewinnung**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Geometrische Messungen, für die die Auswertung eines Grauwertbildes notwendig ist  
<Teilkomponenten> : Objekterkennung,  
Geometriemessung

<Name> : **Geometriemessung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Arten der Geometriemessungen  
<Alternativen> : Allgemeine Längenmessung,  
Formprüfung

Unter allgemeiner Längenmessung soll die Messung der Länge und abgeleiteter Größen verstanden werden :

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Allgemeine Längenmessung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten zur Messung der  
Länge und abgeleiteter Größen  
<Alternativen> : Länge,  
Fläche,  
Schwerpunkt,  
Hauptachse,  
Exzentrizität

Bei der Messung der Fläche, Länge, Hauptachse und Exzentrizität sei auf die Objekterkennung verwiesen. Bei der Längenmessung gibt es folgende Unterscheidung :

<Name> : **Länge**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten der Längen-  
messung  
<Alternativen> : Linienlänge,  
Streckenlänge

Unter Linienlänge soll die Messung der Länge einer beliebigen Kurve verstanden werden. Die Streckenlänge dagegen bezieht sich auf den kürzesten Abstand zwischen zwei Punkten.

Der einfachste Fall der Streckenmessung tritt dann auf, wenn die Punkte beide auf der Konturlinie eines bewegten kompakten Objektes liegen und zwar auf einer Geraden, die parallel zur Bewegungsrichtung verläuft. Dann läßt sich die Streckenlänge einfach aus der zeitlichen Differenz zwischen der Ankunft des Objektes im Sensorbereich und dem Austritt des Objektes aus diesem ermitteln. Vorausgesetzt ist natürlich eine bekannte Bewegungsgeschwindigkeit (35).

Abgesehen von diesem einfachsten Fall müssen vor der eigentlichen Messung die Meßpunkte lokalisiert werden. Dies gilt insbesondere bei der Messung des Abstandes von abgeleiteten Merkmalen, wie z.B. Bohrlöchern. Hierbei werden die Mittelpunkte der Löcher als Meßpunkte benötigt. Alle Daten, die nicht bereits von der Objekterkennung bereitgestellt werden konnten, werden nun berechnet :

<Name> : **Streckenlänge**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau des Verfahrens  
zur Messung der  
Streckenlänge  
<Teilkomponenten> : Bestimmung der Meß-  
punkte,  
Abstandsmessung

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Bestimmung der Meßpunkte**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten zur Bestimmung der Meßpunkte  
<Alternativen> : Kreismittelpunkte,  
Linienpunkte,  
Eckpunkte

<Name> : **Kreismittelpunkte**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bestimmung des Kreismittelpunktes als Meßpunkt

<Name> : **Linienpunkte**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bestimmung eines Meßpunktes auf einer Linie

<Name> : **Eckpunkte**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Bestimmung eines Eckpunktes als Meßpunkt

<Name> : **Abstandsmessung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten zur Abstandsmessung  
<Alternativen> : Laufzeitmessung,  
Ortsmessung

<Name> : **Laufzeitmessung**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Messung des Abstandes über die Laufzeit (s.o)

<Name> : **Ortsmessung**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Messung des Abstandes über die Koordinaten der Meßpunkte

Ein anderer Bereich der Geometrieprüfung ist die Formprüfung. Hierbei kann sowohl die Form, als auch die Konturlinie überwacht werden. Für die Beurteilung der Form stehen bereits einige Methoden aus der Objekterkennung zur Verfügung :

--- Konfigurierungsteil ---

<Name> : **Formprüfung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Möglichkeiten der Formprüfung  
<Alternativen> : Formbeurteilung,,  
Konturlinienbeurteilung

<Name> : **Formbeurteilung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Messungen zur Formbeurteilung  
<Alternativen> : Fläche,  
Schwerpunkt,  
Exzentrizität,  
Kompaktheit,  
Signatur

Bei der Konturlinienbeurteilung wird unterschieden in direkte und indirekte Verfahren (35) :

<Name> : **Konturlinienbeurteilung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Verfahren zur Konturlinienbeurteilung  
<Alternativen> : Direkte K-Linienbeurteilung,  
Indirekte K-Linienbeurteilung

In Rahmen der direkten Verfahren werden die Konturparameter analytisch bestimmt :

<Name> : **Direkte K-Linienbeurteilung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Verfahren zur direkten Konturlinienbeurteilung  
<Alternativen> : Slope-Density Funktion

Die indirekten Verfahren bauen ein Toleranzband auf, innerhalb dessen sich die Konturlinie befinden muß.

<Name> : **Indirekte K-Linienbeurteilung**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Aufbau eines Toleranzbandes

Nach der eigentlichen Messung erfolgt die Untersuchung, ob der Prüfling die vorgegebenen Toleranzen einhält oder nicht. Auch hier wird das bei der Prüfung optischer Eigenschaften beschriebene Beurteilungsverfahren benutzt.





--- Konfigurierungsteil ---

keine neuen Methoden eingeführt werden.

<Name> : **Kontextfreie Störungserkennung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche kontextfreie Verfahren  
<Alternativen> : Abtastung des Prüflings

Bei den nicht kontextfreien Verfahren reicht die Information, die aus einem einzelnen Punkt gewonnen werden kann, zu seiner Beurteilung nicht aus. Es müssen weitere Punkte herangezogen werden. Auch hier gibt es noch Unterteilungsmöglichkeiten :

<Name> : **Nicht kontextfreie Störungserkennung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Mögliche nicht kontextfreie Verfahren  
<Alternativen> : Profilauswertung,  
Flächenauswertung

Bei der Profilauswertung sollen die Meßwerte entlang einer Meßlinie ausgewertet werden. Dabei wird vorläufig nur der Spezialfall betrachtet, daß die Werte sich nur leicht und nicht abrupt ändern dürfen. Schnelle Änderungen sind Hinweise auf Risse oder Störstellen.

<Name> : **Profilauswertung**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Suche nach abrupten Änderungen entlang einer Meßlinie

Ein Beispiel für die Flächenauswertung ist die Erkennung von Rissen oder Kratzern anhand von Formmerkmalen. Dieser Vorgang entspricht einer Suche nach ausgewählten Objekten, wie er im Rahmen der Objekterkennung durchgeführt wird : Hier werden keine vollständigen Objekte, sondern bestimmte Konturen, z.B. die von Rissen, gesucht und beschrieben. Anhand dieser Beschreibungen kann nachfolgend eine Bewertung der gefundenen Störstellen stattfinden.

<Name> : **Flächenauswertung**  
<Klasse> : A-Methode  
<Beschreibung> : Verfahren der Flächenauswertung  
<Alternativen> : Objekterkennung

Mit der Störstellenerkennung ist die Aufzählung der dem Konfigurierungsteil zur Verfügung stehenden Methoden beendet. Sie ist sicherlich nicht vollständig und läßt sich an vielen Stellen weiter verfeinern. Ein Vorteil des vorgestellten Methodenschemas ist es, daß sich Erweiterungen sehr einfach durchführen lassen, indem man die R-Methoden in A- oder Z-Methoden umformt und somit neue Anknüpfungspunkte in der Methodenmenge erzeugt. Wie schon erwähnt, bilden die R-Methoden keine absolute Verfeinerungsuntergrenze, sie zeigen lediglich an, daß der Verfeinerungsgrad an dieser Stelle als ausreichend erachtet wird. Dadurch können erst einmal die grundlegenden Methoden betrachtet

werden, ohne allzu tief in die Details eingehen zu müssen. In einem späteren Schritt wird die Methodenmenge sukzessive erweitert.

#### 2.3.4 Vorgehen bei der Konfigurierung

Nachdem die Methodenmenge beschrieben worden ist, bleibt noch eine der am Anfang dieses Kapitels gestellten Fragen offen :

Wie soll bei der Konfigurierung des Sichtsystems vorgegangen werden ?

Hier wird beschrieben, in welcher Reihenfolge die Komponenten des Sichtsystems aufgebaut werden sollten :

Im Abschnitt 2.3.2 wurde die Vorgehensweise bei der Problemlösung durch schrittweise Verfeinerung dargestellt. Diese Problemlösungsmethode soll auch beim Konfigurierungsvorgang angewandt werden. Wie schon gezeigt, läßt sich das Problem 'Konfiguriere ein Sichtkontrollsystem' in die Teilprobleme 'Konfiguriere die Präsentationskomponente' bis 'Konfiguriere das Prüfverfahren' aufteilen. Diese Zerlegung findet sich in der Z-Methode 'Konfigurierung' wieder. Hier sind nun weitere Verfeinerungsschritte nötig. Mit welcher Teilkomponente soll jedoch begonnen werden ? Auch wenn diese Frage bei einer endlichen Methodenmenge in Bezug auf die Lösung von geringerer Bedeutung ist, so kann eine günstig gewählte Reihenfolge den Lösungsvorgang doch erheblich beschleunigen.

Folgende Überlegungen sollen dieses Problem lösen helfen :

- Die Komponenten des Sichtkontrollsystems sind nicht unabhängig voneinander. Sie beschreiben ein System, das eine schrittweise Abstraktion von Bilddaten durchführt. Dies bedeutet, daß die Ergebnisse der einzelnen Komponenten von den nachfolgenden weiterverarbeitet werden, was eine Art der Abhängigkeit bedeutet.

Ist eine Komponente festgelegt, so führen die Interdependenzen dazu, daß die Menge der möglichen Methoden für die restlichen Komponenten eingeschränkt wird. In Hinblick auf eine schnelle Lösung des Grundproblems ist es günstig, möglichst früh viele Lösungsmöglichkeiten auszuschließen. Daher sollte die Konfigurierung mit einer Komponente begonnen werden, die die Menge der in Frage kommenden Methoden so klein wie möglich werden läßt.

- Die zuerst zu bestimmende Komponente muß möglichst stark abgesichert werden können. Ein versuchsweiser Aufbau sollte nicht aufgrund einer genaueren Auswertung der Spezifikationen zurückgenommen werden müssen. Das bedeutet, daß diejenige Teilkomponente als erste gewählt werden sollte, die am weitesten durch die Spezifikationen festgelegt ist.

Vor allem aufgrund der zweiten Überlegung eignet sich das Prüfverfahren als Startkomponente zur Konfigurierung des Sichtsystems. Die Zahl der Vorgaben an die übrigen Komponenten ist zwar nicht überdurchschnittlich groß, aber das

--- Konfigurierungsteil ---

Prüfverfahren wird am stärksten durch die Spezifikationen abgesichert.

Der Konfigurierungsvorgang soll daher mit dem Aufbau des Prüfverfahrens beginnen. Die weitere Reihenfolge sei für einen ersten Ansatz durch die absteigenden Abstraktionsebenen gegeben, d.h. nach der Konfigurierung des Prüfverfahrens erfolgt der Aufbau der nächst tieferen Komponente, der Segmentierung usw. Eine eventuell günstigere Reihenfolge wird sich erst durch Versuche genauer bestimmen lassen.

In diesem Kapitel wurden vor allem einige statische Aspekte des Konfigurierungssystems behandelt. Es wurde beschrieben, welche Spezifikationen benötigt werden und welche Methoden dem Konfigurierungsteil zur Verfügung stehen sollen. Im Folgenden wird der dynamische Aspekt des Systems mehr in den Vordergrund gerückt, d.h. es wird beleuchtet, wie die einzelnen Methoden ausgewählt werden und wie sie interagieren.

## Quellen Kapitel 2

- (1) VDI/VDE Richtlinie 2628 : Automatisierte Sichtprüfung, Beschreibung der Prüfaufgabe, Entwurf
- (2) W.A. Perkins : 'A Model-Based Vision System for Industrial Parts', IEEE Transactions on Computers Vol 27, No.2, Feb. 1978
- (3) Niemeier : Statusbericht Scheinwerfereinstellung, Wolfsburg, Prüfstandsplanung, VW-Intern
- (4) C.A. Rosen : 'Machine Vision and Robotics : Industrial Requirements', Computer vision and sensor based robots, 1979 Plenum Press, New York, S.14ff
- (5) URW Unternehmensberatung Karow Rubow Weber GmbH : 'Automatisierung der Gelenkwellenprüfung mit Hilfe optoelektronischer Verfahren', Projektbericht, Hamburg, Juli 1983, S.17
- (6) D.H. Ballard, C.M. Brown : 'Computer Vision', Prentice Hall, New Jersey 1982, S.48
- (7) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.49ff
- (8) URW Unternehmensberatung Karow Rubow Weber GmbH : 'Automatisierung der Sichtprüfung durch optische Sensoren und digitale Bildanalyse', Wolfsburg und Hamburg 12.12.1982, S. 14
- (9) vgl URW : a.a.O. (8) S.20ff
- (10) B. Neumann : Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung 'Industrielle Bildverarbeitung', Sommersemester 1984, S.6f
- (11) B. Neumann : Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung 'Bildverarbeitung', Wintersemester 1983/84, S.24
- (12) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.30ff.
- (13) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.24
- (14) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.25f
- (15) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S 116
- (16) G. Hille : 'Methoden und Modelle in der Bildsegmentation, Eine Übersicht', IfI-HH-B-80/81, Juli 1981, S.18ff
- (17) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.150
- (18) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.151f
- (19) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.155ff
- (20) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.39ff
- (21) vgl. G. Hille : a.a.O. S.35
- (22) vgl. G. Hille : a.a.O. S.37

- (23) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.63
- (24) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.77ff
- (25) G.B. Shaw : 'Local and Regional Edge Detectors : Some Comparisons', Computer Graphics and Image Processing 9, Academic Press, 1979, S. 139f
- (26) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.123ff
- (27) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.131ff
- (28) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.85ff
- (29) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.128ff
- (30) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.65ff
- (31) vgl. D.H. Ballard, C.M. Brown : a.a.O. S.254ff
  
- (32) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.77ff
- (33) vgl. B. Neumann : a.a.O. (10) S.8f
  
- (34) T. Pavlidis : 'Algorithms for Graphics and Image Processing', Springer Verlag Berlin-Heidelberg, S.159ff
  
- (35) vgl. VDI/VDE Richtlinie 2628 : a.a.O. S.13
  
- (36) H. Niemann : 'Klassifikation von Mustern', Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1983, S.210ff
  
- (37) vgl. VDI/VDE Richtlinie 2628 : a.a.O. S.15f
  
- (38) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.22f
- (39) vgl. B. Neumann : a.a.O. (11) S.66

### 3. Beispiel einer Konfigurierung

#### 3.1 Ein möglicher Fall

Im vorherigen Kapitel wurden die zur Verfügung stehenden Methoden aufgezählt. Hier soll nun anhand eines Beispiels ein mögliches Vorgehen bei der Konfigurierung beschrieben werden. Aus Aufwandsgründen wird keine vollständige Konfigurierung durchgeführt, sondern lediglich die Teilkomponente Prüfverfahren aufgebaut. Eine Vertiefung der beispielhaft angesprochenen Mechanismen erfolgt dann in Kapitel 4.

Es sei folgende Prüfaufgabe gegeben :

Rechteckige Kiefernholzbretter von 1m Länge und 10cm Breite liegen einzeln auf einem bewegten dunklen Fließband. Sie haben keine besondere Vorzugslage.

Das Fließband befindet sich in einem beleuchteten Raum mit großen Außenfenstern. Die Taktzeit beträgt 5 Sekunden, während einer Dauer von 3 Sekunden ist ein Brett für den Sensor zugänglich. Vibrationen sind kaum vorhanden, wohl aber kann Staub die Messungen beeinträchtigen.

Im Rahmen einer Geometrieprüfung sind die Länge und Breite der Bretter zu messen. Die Länge darf höchstens 5mm, die Breite höchstens 2mm vom Sollwert abweichen.

Wie kann ein Lastenheft aussehen, das diese Spezifikationen enthält ?

#### 3.2 Darstellung der Spezifikationen

Im Spezifikationsteil werden die hier nur textlich vorliegenden Spezifikationen erfragt und in eine listen-, bzw baumartige Repräsentation umgesetzt :

##### Prüfaufgabe

<Name> : Prüfung-1  
<Aufgabenklasse> : Geometrieprüfung  
<Prüfobjekt> : Objekt-1  
<Prüfstellen> : PS-1, PS-2  
<Randbedingungen> : RB-1

Die Prüfaufgabe erhält einen internen Namen, hier 'Prüfung-1', unter dem sie ab jetzt referenziert werden kann. Mit Ausnahme der Aufgabenklasse enthält der vorgestellte Frame keine weiteren Spezifikationsdaten, sondern lediglich Verweise auf weitere Frames, die unter dem angegebenen Namen angesprochen werden können.

Zuerst zum Prüfobjekt :

--- Darstellung der Spezifikationen ---

<b>Objekt</b>		EP4		EP3
<Name> : Objekt-1		+-----+		
<Art> : Fläche		!		!
<Form> : Rechteck		+-----+		
<Typ> : real	EP1			EP2
<Farbe> : hell				
<Bearbeitungszustand> : rauh				
<Verschmutzung> : 2				
<Kontrast-Hintergrund> : 5				
<Struktureinheiten> : -				
<Bestandteile> : EP1, EP2, EP3, EP4				

Der Frame vom Typ 'Objekt' mit dem Namen 'Objekt-1' enthält eine (Teil-)Beschreibung des Prüflings. Das Objekt ist flächenhaft, genauer gesagt rechteckig. Weiterhin ist es real, im Gegensatz zu einem virtuellen Objekt. Virtuelle Objekte werden zur Beschreibung von Oberflächenstrukturen benutzt, wie sie z.B. durch eine unterschiedliche Lackierung einer Oberfläche hervorgerufen werden können. Die Einteilung real/virtuell dient zur Unterscheidung der Beschreibung des physikalischen Objektes selbst von der Beschreibung seiner Oberflächenstruktur.

Nach der Typangabe folgen weitere Eigenschaften der betrachteten Fläche. Teilweise wird eine 5-stufige Rating-skala zur Beschreibung der Stärke der Eigenschaftsausprägungen benutzt :

- 1 = keine Ausprägung
- 2 = geringe Ausprägung
- 3 = mittlere Ausprägung
- 4 = starke Ausprägung
- 5 = sehr starke Ausprägung

Die Ziffer '5' des Attributs 'Kontrast-Hintergrund' steht also für einen sehr starken Kontrast des Objektes zu seinem Hintergrund.

Das Attribut 'Untereinheiten' kann eine Liste von virtuellen Objekten aufnehmen, die zur Beschreibung der Oberflächenstruktur dienen. Dagegen enthält die Liste 'Bestandteile' nur reale Teile von Objekt-1, im Beispiel die vier Eckpunkte EP1 bis EP4.

EP1 ist der Name eines weiteren Frames, der die genaue Beschreibung des Eckpunktes-1 enthält :

**Objekt**

```

<Name> : EP1
<Art> : Punkt
<Form> : Eckpunkt
<Typ> : real
<Koordinatensystem> : Objektsystem
<X-Koordinate> : 0.000 m
<Y-Koordinate> : 0.000 m
<Öffnungswinkel> : 90 Grad
<Öffnungsrichtung> : 45 Grad
    
```

Der Eckpunkt wird in einem objektbezogenen Koordinatensystem beschrieben, bei dem sich EP1 genau im Ursprung befindet.

--- Darstellung der Spezifikationen ---

det. Die Punkte EP2 bis EP4 besitzen ähnliche Beschreibungen mit den entsprechenden Koordinaten und Winkeln.

Zur Beschreibung der Prüfaufgabe gehört außer der Beschreibung des Prüfobjekt auch die der Prüfstellen. In der gestellten Aufgabe gibt es zwei davon :

**Prüfstelle**

<Name> : FS-1  
<Art> : allgemeine Längenmessung  
<Meßgröße> : Länge  
<Meßobjekte> : EP1, EP4  
<Soll> : 0.100 m  
<Toleranz+> : 0.002 m  
<Toleranz-> : 0.002 m

**Prüfstelle**

<Name> : FS-2  
<Art> : allgemeine Längenmessung  
<Meßgröße> : Länge  
<Meßobjekte> : EP1, EP2  
<Soll> : 1.000 m  
<Toleranz+> : 0.005 m  
<Toleranz-> : 0.005 m

Schließlich enthält der Frame mit Name 'RB-1' eine Beschreibung der Randbedingungen :

**Randbedingungen**

<Name> : RB-1  
<Umgebung> <Fremdlicht> : 3  
<Fremdlichtänderung> : 2  
<Vibration> : 1  
<Staub> : 4  
<Zeit> <Takt> : 5 sec  
<Darbietung> : 3 sec  
<Bewegung> <während Darbietung> : ja  
<Art> : diskontinuierlich  
<Geschwindigkeit> : -  
<Ordnung> <Verteilung> : einzeln  
<Anordnung> : undefiniert  
<Orientierung> : -

Mit der Beschreibung der Randbedingungen ist die Aufzählung der in der Aufgabenstellung gegebenen Daten vollständig. Bevor ich mich damit befasse, wie diese Daten zum Aufbau des Sichtsystems benutzt werden, muß ich zuerst auf das allgemeine Vorgehen bei der Konfigurierung eingehen :

### 3.3 Vorgehen des Konfigurierungssystems

Betrachtet wird das Konfigurierungssystem bei bereits vorliegenden Spezifikationen.

Als erste grundlegende Methode wird die Z-Methode 'Konfigurierung' aktiviert.

Was bedeutet in diesem Zusammenhang Aktivierung ?

Die in der Methodenmenge befindlichen Methoden stellen generische Methoden dar. Sie werden als Muster für die tatsächlich zum Aufbau des Sichtsystems verwendeten Methoden benutzt. Bei der Aktivierung der Methode 'Konfigurierung' wird diese mit der vorliegenden Prüfaufgabe 'Prüfung-1' assoziiert. Dabei entsteht ein Aktivierungsdatensatz der folgenden Form :

#### Aktivierung

<Name> : Konfigurierung  
<Kontext> : Prüfung-1

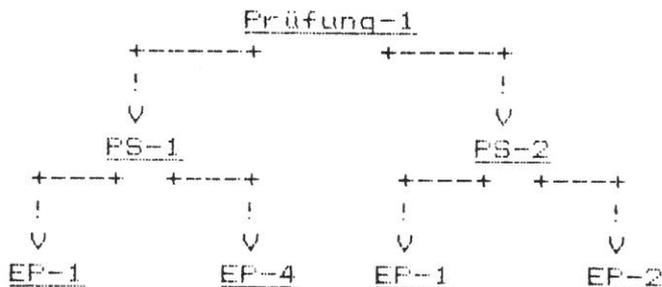
Wann welcher Kontext hergestellt wird, ist in der generischen Methode festgelegt. So wird z.B. bei der 'Konfigurierung' angegeben, daß die Methode der Reihe nach für alle eventuell vorhandenen Prüfaufgaben aktiviert werden soll. Da das Sichtsystem entsprechend einer Prämisse vorerst nur eine Prüfaufgabe bearbeiten soll, entfällt hier die Bearbeitung weiterer Aufgaben.

Wozu sind Aktivierungen überhaupt notwendig ?

Die Aktivierungen der Methoden werden benötigt, um verschiedene Aufgaben durch ein und dieselbe generische Methode durchführen lassen zu können. Hierzu betrachte man das vorgegebene Beispiel näher :

Die Prüfaufgabe (Prüfung-1) setzt sich aus zwei Teilen zusammen : Prüfungen an der Prüfstation PS-1 zur Breitenmessung und Prüfungen an PS-2 zur Messung der Länge. Für beide Prüfstationen eignet sich dasselbe Verfahren zur Abstandsmessung : Bei PS-1 wird der Abstand zwischen den Eckpunkten EP1 und EP4 gemessen, bei PS-2 zwischen EP1 und EP2. Hier wird also eine generische Methode auf zwei verschiedenen Prüfstationen angewandt, zuerst mit dem Kontext PS-1, dann mit PS-2.

Die zu aktivierenden Kontexte lassen sich graphisch anhand eines Kontextbaumes darstellen, der den Aufbau der Prüfaufgabe beschreibt :



Der Kontextbaum dient zur Steuerung der Aktivierungen. So wird z.B. bei Bearbeitung von Prüfung-1 zuerst PS-1 vollständig abgearbeitet und dann auf PS-2 umgeschaltet. Die Aktivierungen gehen also zuerst in die Tiefe des Baumes, dann in die Breite. Interessant an diesem Kontextbaum ist, daß das Blatt EP-1 zweimal auftaucht. Auf die dabei auftretenden Probleme werde ich an entsprechender Stelle weiter eingehen.

Nun zurück zum Beispiel :

Nach der Aktivierung der Methode 'Konfigurierung' mit 'Prüfung-1' wird entsprechend dem Und/Oder-Graphen weiter in die Tiefe verzweigt. 'Konfigurierung' ist eine Z-Methode, daher müssen alle angegebenen Teilkomponenten in einer bestimmten Reihenfolge abgearbeitet werden. Es soll hier mit dem Prüfverfahren begonnen werden (s. Kap. 2.3.4).

Nach 'Konfigurierung' wird also als nächstes die Methode 'Prüfverfahren' aktiviert. Der aktuelle Kontext (Prüfung-1) bleibe erhalten. 'Prüfverfahren' ist nun eine A-Methode, d.h. es muß eine Auswahl zwischen den angegebenen Alternativen vorgenommen werden. Diese Auswahl basiert auf den Spezifikationen des Benutzers. Das folgende Kapitel beschreibt, wie die Methoden mit Hilfe der Spezifikationen ausgewählt werden.

### 3.4 Auswahl von Alternativ-Methoden

#### 3.4.1 Aufbau der Methoden im Beispiel

Das in Kapitel 2 vorgestellte Methodenschema soll an dieser Stelle erweitert werden, damit eine Auswahl von alternativen Methoden möglich wird. Das erweiterte Schema sieht folgendermaßen aus :

##### Methoden

<Name> : Name der Methode  
<Klasse> : Z-, A- oder R-Methode  
<Beschreibung> : textliche Kurzbeschreibung  
<Teilkomponenten> : Teilkomponentenliste bei Z-Methoden  
<Alternativen> : Alternativenliste bei A-Methoden  
<Aktivierung> : Aktivierung eines neuen Kontextes  
<Externe Bedingungen> : Bedingungen zur Methodenauswahl  
<Interne Bedingungen> : Bedingungen zur Methodenauswahl

Bis zur Alternativenliste entspricht der Aufbau dem alten Methodenschema. Das erste neue Feld ist 'Aktivierung'. Dieses Attribut wird zur Steuerung der in Kapitel 3.3 beschriebenen Kontextaktivierung benutzt. Falls keine Angaben vorliegen, wird der Kontext der übergeordneten Methode übernommen.

Für die Auswahl interessanter sind die externen und internen Bedingungen der Methode. Auf sie werde ich nun eingehen:

#### 3.4.2 Externe Bedingungen

Externe Bedingungen sind alle Anforderungen, die von außen an das zu konfigurierende Sichtsystem gestellt werden. Sie basieren auf den Spezifikationen des Benutzers. Ein Beispiel für eine externe Bedingung ist die Aufgabenklasse der Prüfaufgabe; sie dient zur Auswahl des richtigen Prüfverfahrens aus den möglichen Alternativen.

Beispiel :

##### Methoden

<Name> : Geometrieprüfung  
...  
<Externe Bedingungen> : Aufgabenklasse Geometrieprüfung

im Gegensatz zu :

##### Methoden

<Name> : Objekterkennung  
...  
<Externe Bedingungen> : Aufgabenklasse Objekterkennung

Der aktivierte Kontext ist 'Prüfung-1', das Attribut 'Aufgabenklasse' hat den Wert 'Geometrieprüfung'. Die externe Bedingung der Methode 'Geometrieprüfung' paßt zum Attributwert. Daher wird diese Methode allen anderen Prüfverfahren vorgezogen. Die nächste Aktivierung hat also fol-

gende Form :

#### Aktivierung

<Name> : Geometrieprüfung  
<Kontext> : Prüfung-1

Verfolgen wir den Konfigurierungsvorgang weiter :

Die Z-Methode 'Geometrieprüfung' teilt sich auf in 'Geometriedatengewinnung' und 'Beurteilungsverfahren'. Es soll nun die Geometriedatengewinnung näher beschrieben werden.

Wieder stehen zwei Alternativen zur Verfügung :

Die 'Binäre Geometriedatengewinnung' und die 'Standard Geometriedatengewinnung'. Es steht also die Entscheidung an, ob versucht werden soll, die Sichtaufgabe mit einem binären Verfahren zu bearbeiten, oder ob ein Grauwertverfahren angewendet werden muß.

Die für diese Entscheidung benötigte Bedingung ist weitaus komplizierter. Vorgeschlagen wird :

Wähle das Binärverfahren, wenn

- Kontrast-Hintergrund  $> 3$  und
- Verschmutzung  $< 5$  und
- Verteilung einzeln und
- alle in den Prüfstellen aufgeführten Objekte real sind, d.h. nur der Umriß des Prüflings wird zur Messung benötigt

Die Bedingung zur Auswahl des Binärverfahrens ist bereits in dieser vereinfachten Form schon relativ komplex. Ihr Auswertungsaufwand wäre sehr hoch. Da bei einer feineren Analyse der Verfahrensauswahl die Komplexität der Bedingungen noch zunehmen würde, wird vorgeschlagen, die Entscheidung 'Binärverarbeitung ja oder nein' als eine komplexe Bedingung aufzufassen und auszugliedern. Die bei der Methode verbleibende Bedingung hätte dann die Form :

Wähle das Binärverfahren, wenn

- Binärbildverarbeitung möglich

Die komplexe Bedingung 'Binärbildverarbeitung' beruht dabei auf folgender Voraussetzung :

Binärbildverarbeitung ist möglich, wenn

- Kontrast-Hintergrund  $> 3$  und
- Verschmutzung  $< 5$  und
- Verteilung einzeln und
- alle in den Prüfstellen aufgeführten Objekte real sind

Mit der Benutzung der komplexen Bedingung 'Binärbildverarbeitung' bezieht sich die externe Bedingung der Methode 'Binäre Geometriedatengewinnung' nicht mehr direkt auf die Spezifikationen, sondern auf eine darauf aufbauende komplexe Bedingung.

Im Rahmen des Beispiels sollen die komplexen Bedingungen nicht weiter vertieft werden, eine ausführlichere Darstellung befindet sich in Kapitel 4.

### 3.4.3 Interne Bedingungen

Im vorliegenden Beispiel ist die Bedingung zur Auswahl der binären Geometriedatengewinnung erfüllt. Damit wird diese Methode aktiviert. Die Wahl der Binärbildverarbeitung hat nicht nur einen Einfluß auf die Geometriedatengewinnung, sondern auch auf andere Teile des zu konfigurierenden Systems, wie z.B. die Vorverarbeitung. Diese Teile müssen von der getroffenen Entscheidung benachrichtigt werden. Hierzu wird von der Methode 'Binäre Geometriedatengewinnung' eine interne Bedingung gesetzt, z.B. :

#### Interne Bedingung

<Name> : Verarbeitungsmodus  
<Wert> : binär  
<Gesetzt> : Binäre Geometriedatengewinnung

Diese Bedingung bildet eine Forderung an die Methodenauswahl an anderer Stelle. Im Gegensatz zu externen Bedingungen entstehen die internen Bedingungen innerhalb des Konfigurierungssystems. Der Benutzer hat auf sie keinen Einfluß.

Interne Bedingungen spiegeln die Interdependenzen zwischen den einzelnen Methoden wieder. Sie kommen auch noch an einer anderen Stelle des Beispiels zum Tragen :

Die binäre Geometriedatengewinnung führt zur Geometriemessung. Diese soll für alle Prüfstellen bearbeitet werden, angefangen mit PS-1. Die anschließende Methodenauswahl ist für PS-1 und PS-2 identisch, da es sich bei den Prüfstellen um gleichartige Messungen handelt. Eine Ausnahme bildet die Bestimmung der Meßpunkte: Für PS-1 müssen die Eckpunkte EP-1 und EP-4 lokalisiert werden, für PS-2 die Punkte EP-1 und EP-2. Damit EP-1 nicht zweimal, einmal für PS-1 und einmal für PS-2, bestimmt werden muß, wird bei der ersten Bestimmung eine interne Bedingung gesetzt :

#### Interne Bedingung

<Name> : Bestimmter Eckpunkt  
<Wert> : EP-1  
<Gesetzt> : Eckpunkt

Diese Bedingung sichert zu, daß EP1 bereits bestimmt worden ist und verhindert, daß dieser Punkt bei der Bearbeitung von PS-2 nochmals bestimmt wird.

Auch auf die internen Bedingungen wird näher in Kapitel 4 eingegangen.

Der Konfigurierungslauf für die Teilkomponente 'Prüfverfahren' endet mit folgenden R-Methoden :

Eckpunkt (EP-1)  
Eckpunkt (EP-4)  
Ortsmessung (PS-1)  
Eckpunkt (EP-2)  
Ortsmessung (PS-2)  
Beurteilungsverfahren (Prüfung-1)

--- Auswahl von Alternativ-Methoden ---

Nach der vollständigen Ableitung des Prüfverfahrens auf R-Methoden wird mit der nächsten Teilkomponente, z.B. der Segmentierung, begonnen. Die Grundzüge der Methodenauswahl bleiben erhalten, weshalb das Beispiel nicht weiter ausgeweitet werden soll. Es folgt eine verallgemeinerte Beschreibung der angesprochenen Mechanismen.

## 4. Aufbau des Konfigurierungssystems

In diesem Kapitel sollen die in Kapitel 3 beispielhaft angesprochenen Datenstrukturen und Mechanismen vervollständigt werden. Ich beginne mit dem Aufbau der Spezifikationen.

### 4.1 Aufbau der Spezifikationen

Die Spezifikationen beschreiben die Prüfaufgabe mit allen dazugehörigen Daten. Die Grundstruktur entspricht genau der des Beispiels. Hier wird sie nochmals mit den möglichen Attributwerten angegeben :

#### Prüfaufgabe

- <Name> : interner Name der Prüfaufgabe
- <Aufgabenklasse> : Objekterkennung,  
Prüfung optischer Eigenschaften,  
Vollständigkeit,  
Geometrieprüfung,  
Räumliche Anordnung,  
Objektunterscheidung,  
Störstellenerkennung
- <Prüfobjekt> : Verweis Beschreibung des Prüflings
- <Prüfstellen> : Verweis Beschreibung der Prüfstellen
- <Randbedingungen> : Verweis Beschreibung der Randbedingungen

Für die Prüfaufgabe wird vom System ein eindeutiger Name vergeben. Das Attribut 'Aufgabenklasse' kann als Wert eine der aufgezählten Prüfaufgaben annehmen. Es folgt das 'Prüfobjekt'. Dieses Attribut enthält einen Verweis auf die geometrische Beschreibung des Prüflings. Da laut Prämisse jeweils nur eine Oberfläche des Prüflings betrachtet werden soll, genügt ein zweidimensionaler Ansatz. Dazu wird eine Beschreibungsform benutzt, die eine Zerlegung des Objektes in die Grundbestandteile Fläche, Linie und Punkt zuläßt. Zuerst zu den Flächen :

#### Objekt (Fläche)

- <Name> : interner Objektname
- <Art> : Fläche
- <Form> : Dreieck, Viereck, Parallelogramm, Rechteck,  
Vieleck, Kreis, freie Form, Zylindermantel
- <Typ> : real, virtuell
- <Farbe> : hell, dunkel, uneinheitlich
- <Bearbeitungszustand> : glatt, rau, uneinheitlich
- <Verschmutzung> : 1 bis 5
- <Kontrast-Hintergrund> : 1 bis 5
- <Struktureinheiten> : Liste virtueller Objekte
- <Bestandteile> : Liste realer Objektteile

Im dargestellten Frame sind zu den Attributen die jeweiligen Attributwerte aufgeführt. Beim Attribut 'Form' überschneiden sich die Bedeutungen der Werte. Im Zweifelsfall soll immer der genaueste Wert benutzt werden, z.B. Rechteck

statt Viereck. Der Flächentyp 'Zylindermantel' stellt einen Sonderfall dar: Obwohl nur zweidimensionale Ansichten des Prüflings analysiert werden sollen, kann die Mantelfläche eines Zylinders ebenfalls betrachtet werden, da sie sich mit Hilfe von Rollbildern in eine zweidimensionale Darstellung überführen läßt.

Das Attribut 'Typ' dient zur Unterscheidung der Beschreibung der Oberflächenstruktur von derjenigen des physikalischen Objektes (s. Kap. 3)

Bestandteile von Flächen können je nach Bedarf (Grenz-)Linien oder (Eck-)Punkte sein :

#### Objekt (Linie)

<Name> : interner Objektname  
<Art> : Linie  
<Form> : Gerade, freie Linie  
<Typ> : real, virtuell  
<Farbe> : hell, dunkel, uneinheitlich  
<Verschmutzung> : 1 bis 5  
<Kontrast-Hintergrund> : 1 bis 5  
<Struktureinheiten> : Liste virtueller Objekte  
<Bestandteile> : Liste der Endpunkte der Linie

Der Linien-Frame ist ein vereinfachter Flächen-Frame. Auch für Linien lassen sich noch Strukturen beschreiben, z.B. hellere oder dunklere Linienbereiche.

Beide Framearten benutzen keine präzise Ortsbeschreibung der Objekte in einem Koordinatensystem. Dies geschieht erst bei den Punkten, die die kleinsten Bestandteile der Flächen und Linien bilden :

#### Objekt (Punkt)

<Name> : interner Objektname  
<Art> : Punkt  
<Form> : Einzelpunkt, Endpunkt, Eckpunkt  
<Typ> : real, virtuell  
<Koordinatensystem> : Objektsystem, Kamerasystem, Weltsystem  
<X-Koordinate> : Koordinatenwert in Metern  
<Y-Koordinate> : Koordinatenwert in Metern  
<Öffnungswinkel> : 0 bis 360 (nur bei Eckpunkten)  
<Öffnungsrichtung> : 0 bis 360 (nur bei Eckpunkten)

Die Objektklassen Fläche, Linie und Punkt ergeben sich in Anlehnung an die im VISIONS-System benutzte RSV-Struktur (1) :

Eine Fläche wird begrenzt durch Grenzlinien oder, im einfachsten Fall, durch Eckpunkte. Die Linien wiederum werden anhand ihrer Endpunkte beschrieben. Auf diese Weise lassen sich auch komplexere zweidimensionale Objekte darstellen. Momentan müssen sie allerdings möglichst geradlinige Grenzen besitzen. Eine verallgemeinerte Linienbeschreibung ließe auch beliebige umgrenzte Objekte zu.

Auf die Objektbeschreibung folgt die Beschreibung der Prüfstellen. Problematisch ist, daß für die verschiedenen Prüfaufgaben stark unterschiedliche Daten benötigt werden.

Sie unterscheiden sich nach Anzahl und Struktur :  
Während bei der Prüfung optischer Eigenschaften lediglich Toleranzwerte benötigt werden, muß bei der Störstellenerkennung eine genaue Beschreibung der Fehlermerkmale vorliegen.

Es stellt sich die Frage, wie so viele unterschiedliche Daten in eine halbwegs einheitliche Struktur zu bringen sind. Der Einsatz eines starr aufgebauten Lastenheftes erscheint schwierig und unangemessen. Da in Kapitel 4.4 eine Lösungsmöglichkeit angegeben wird, soll an dieser Stelle nicht für alle Prüfverfahren die Beschreibung ihrer Prüfstellen untersucht werden, sondern lediglich für die schon bekannte Geometrieprüfung :

#### **Prüfstelle (Geometrieprüfung)**

<Name> : interner Name  
<Art> : allgemeine Längenmessung, Formprüfung  
<Meßgröße> : Länge, Fläche, Schwerpunkt, Hauptachse, Exzentrizität, Kompaktheit, Signatur, Konturlinie  
<Meßobjekte> : Liste von Objektnamen  
<Soll> : Soll-Wert oder -Werte  
<Toleranz+> : oberer Toleranzwert (-werte)  
<Toleranz-> : unterer Toleranzwert (-werte)

Die Geometrieprüfung läßt eine große Vielfalt von Messungen zu. Auch hier fällt die Notwendigkeit einer weiteren Differenzierung auf, da sich die Signatur- und Konturlinienmessung im allgemeinen nicht anhand eines einzigen Soll- bzw Toleranzwertes beurteilen läßt. Es müssen mehrere Werte angegeben werden, die z.B. den Konturverlauf beschreiben. Dies zeigt, daß auch innerhalb eines einzelnen Prüfverfahrens die Benutzung eines festen Daten-Schemas problematisch werden kann. Um allen Anforderungen zu entsprechen, wird die Struktur des Lastenheftes hochgradig flexibel gestaltet werden müssen.

Anders verhält es sich mit den Randbedingungen. Sie sind weitgehend unabhängig von den einzelnen Prüfungen :

#### **Randbedingungen**

<Name> : interner Name  
<Umgebung> <Fremdlicht> : 1 bis 5  
                  <Fremdlichtänderung> : 1 bis 5  
                  <Vibration> : 1 bis 5  
                  <Staub> : 1 bis 5  
<Zeit> <Takt> : Sekundenwert  
                  <Darbietung> : Sekundenwert  
<Bewegung> <während Darbietung> : ja, nein  
                  <Art> : kontinuierlich,  
                          diskontinuierlich  
<Ordnung> <Geschwindigkeit> : Geschwindigkeitswert  
                  <Verteilung> : einzeln, getrennt,  
                          berührend, überlappend  
                  <Anordnung> : definiert,  
                          mit Vorzugslage,  
                          undefiniert  
                  <Orientierung> : Winkelangabe

Als Randbedingung können u.a. eventuelle Vorzugslagen des Prüfobjektes beschrieben werden, deren Kenntnis die Bildauswertung erleichtern oder beschleunigen kann.

Auf die Spezifikationen soll nicht weiter eingegangen werden. Ein Lösungsansatz für eine flexible Datenerfassung im Spezifikationsteil bietet, wie schon erwähnt, das Kapitel 4.4

## 4.2 Aufbau der Methoden

An dieser Stelle soll der erweiterte Aufbau der Methoden dargestellt werden :

### Methoden

#### Nominalteil

<Name> : Methodename  
<Klasse> : Z-, A- oder R-Methode  
<Beschreibung> : textliche Kurzbeschreibung  
<Teilkomponenten> : Teilkomponentenliste bei Z-Methoden  
<Alternativen> : Alternativenliste bei A-Methoden

#### Auswahlteil

<Interne Bedingungen> : Liste interner Bedingungen  
<Externe Bedingungen> : Liste externer Bedingungen

#### Aktivierungsteil

<Kontextaktivierung> : zu aktivierender Kontext  
<Bedingungsaktivierung> : Liste von zu setzenden internen Bedingungen  
<Sonstige> : sonstige Vorgänge, z.B. Aufbau von Teilaufgaben

Ein Methodenframe besteht aus drei großen Teilen :

#### I. Nominalteil :

Dieser Teil wurde bereits in Kapitel 2 vorgestellt. Im Nominalteil befinden sich Name und Beschreibung der Methode, sowie die Daten zur Einbindung in den Und/Oder-Graphen.

#### II. Auswahlteil :

Mit Hilfe des Auswahlteils wird entschieden, ob sich eine Methode anwenden läßt oder nicht. Dazu werden interne und externe Bedingungen benutzt. Sind alle Bedingungen erfüllt, so kann die Methode prinzipiell eingesetzt werden.

Was sind interne Bedingungen ?

Interne Bedingungen sind Datenelemente, die intern im Konfigurierungssystem erzeugt werden. Sie sind nicht von außen zugänglich. Interne Bedingungen entstehen bei der Aktivierung von Methoden. Sie können sowohl Forderungen als auch Zusicherungen für die nachfolgend zu bearbeitenden Methoden sein :

#### 1. Forderungen hinsichtlich der Schnittstellen :

Alle Methoden benutzen bestimmte Eingangsdaten und erzeugen bestimmte Ausgangsdaten. Soll eine Methode Daten für eine

zweite bereitstellen, so müssen Struktur und Inhalt der Ausgangsdaten der ersten Methode den Anforderungen der zweiten Methode entsprechen. Bei der Aktivierung einer Methode werden daher Schnittstellenanforderungen an die vor- und nachverarbeitenden Methoden aufgebaut, soweit sie nicht bereits vorliegen.

Die existierenden Schnittstellen lassen sich aus dem Aufbau der Z-Methoden ableiten: Die Teilkomponentenliste beschreibt normalerweise zeitlich aufeinanderfolgende Bildverarbeitungsschritte. Zwischen den einzelnen Schritten existiert jeweils eine definierte Schnittstelle, der ein eindeutiger Name gegeben werden kann. Durch eine weitere Verfeinerung der Teilkomponenten können zusätzliche Schnittstellen entstehen, an den bereits bestehenden ändert sich jedoch nichts.

Zu jeder Methode gibt es also zwei eindeutig benennbare Schnittstellen, an die bei der Methodenaktivierung entsprechende Forderungen gestellt werden können.

2. Forderungen hinsichtlich der globalen Verarbeitungsstrategie, z.B. Verarbeitungsmodus binär (s. Kap. 3.4). Die Bedingung 'Verarbeitungsmodus binär' bildet, sobald gesetzt, eine Forderung an die weitere Methodenauswahl. Stehen z.B. an irgendeiner Stelle des Konfigurierungsvorganges ein Binär- und ein Standardverfahren zur Auswahl, so ist aufgrund der aufgebauten Forderung das binäre Verfahren zu wählen.

3. Zusicherungen hinsichtlich bereits erledigter Aufgaben: Diese Zusicherungen dienen zur Unterdrückung von Redundanzen im Sichtsystem. Ein Beispiel hierfür ist die einmalige Bestimmung von Eckpunkt-1 im Beispiel von Kapitel 3. Es soll verhindert werden, daß identische Auswertungen mehrfach durchgeführt werden.

Wie sind interne Bedingungen aufgebaut ?

#### Interne Bedingung

<Name> : Name der Bedingung  
<Wert> : Wert der Bedingung  
<Gesetzt> : Methode, die diese Bedingung gesetzt hat

Wie werden interne Bedingungen zur Auswahl benutzt ?

Im Auswahlteil der Methode werden Name und Wert der von dieser Methode geforderten internen Bedingung eingetragen, z.B. die Schnittstellenbedingung

#### Ausgang-Segmentierung Gradientenbild

Nun wird nachgesehen, ob eine Anforderung an die Schnittstelle mit Namen 'Ausgang-Segmentierung' existiert. Dabei ist zu beachten, daß Anforderungen bei der Aktivierung von Methoden aufgebaut werden. Eine nicht vorhandene Schnittstellenbedingung bedeutet beispielsweise, daß die Schnittstellenstruktur frei gewählt werden kann. Wenn daher eine

im Auswahlteil der Methode benannte interne Bedingung nicht existiert, gilt die Methode bezüglich dieser Bedingung als einsetzbar. Sollte die Methode aktiviert werden, so wird die fehlende Bedingung erzeugt und beeinflusst ab jetzt die weitere Methodenwahl.

Anschaulich läßt sich dieses Vorgehen anhand von Schnittstellenbedingungen demonstrieren: Solange für eine Methode noch keine vor- und nachverarbeitenden Methoden festgelegt sind, existieren keine Schnittstellenanforderungen, die die Methode kann eingesetzt werden. Mit ihrer Aktivierung entstehen dann Anforderungen an die noch zu konfigurierenden vor/nachverarbeitenden Methoden. D.h. diejenige Methode, die zuerst aktiviert wird, bestimmt die Auswahl der nachfolgend zu konfigurierenden Methoden.

Also: Fehlt die im Auswahlteil der Methode benannte interne Bedingung 'Ausgang-Segmentierung', so ist die Methode bezüglich dieser Bedingung einsetzbar. Ist dagegen die interne Bedingung vorhanden, so liegt eine Anforderung an die Methodenschnittstelle 'Ausgang-Segmentierung' vor. Nun wird nachgesehen, ob der in der Methode angegebene Wert der Bedingung, hier: 'Gradientenbild', mit dem geforderten Wert übereinstimmt. Tut er das, so gilt die Bedingung als erfüllt, die Methode ist einsetzbar. Liegt keine Übereinstimmung vor, so wird sie als nicht anwendbar verworfen.

Durch diesen Auswahlmechanismus wird die Reihenfolge der zu bearbeitenden Komponenten nicht festgelegt. Die zuerst aktivierten Methoden beherrschen die Auswahl der nachfolgend zu konfigurierenden Komponenten.

Da die internen Bedingungen entsprechend den ausgewählten Methoden gesetzt werden, gelten sie in der Regel nicht absolut. Durch die Wahl einer anderen Methode können auch völlig andere Bedingungen auftreten.

Im Gegensatz dazu sind externe Bedingungen nicht änderbar. Sie basieren auf den Spezifikationen des Benutzers. Externe Bedingungen werden benötigt, um das zu konfigurierende System auf die Benutzeranforderungen abzustimmen. Sie stellen die Verbindung zwischen Methodenauswahl und Spezifikation her.

Es gibt zwei Arten von externen Bedingungen :

1. externe Bedingungen, die sich direkt auf die Spezifikationen beziehen: Die direkten Bedingungen. Hier werden direkt Attribute des Lastenheftes angesprochen, z.B.

#### Vibration < 5

Es sind keine weiteren Ableitungen nötig. Die direkten externen Bedingungen benötigen keine explizite Darstellung. Daß eine solche trotzdem nützlich sein kann, wird in Kapitel 4.4 gezeigt.

2. externe Bedingungen, die zwar auf den Spezifikationen basieren, aber erst aus ihnen abgeleitet werden müssen : Die indirekten oder komplexen Bedingungen. Auf sie werde ich im nächsten Kapitel eingehen.

### --- Aufbau der Methoden ---

Der Auswahlteil einer Methode besteht in der Regel aus mehreren internen und externen Bedingungen der oben beschriebenen Art. Sie gelten implizit als konjunktiv verknüpft. Erst wenn alle Anforderungen erfüllt sind, kann die Methode aktiviert werden.

#### III. Aktivierungsteil der Methode

Wird eine Methode ausgewählt, so ist es möglich, verschiedene Handlungen auszuführen :

a. Kontextaktivierung: Das Attribut 'Kontextaktivierung' ist entweder leer oder es enthält die Bezeichnung eines Kontextes. Der angegebene Kontext, z.B. die Bearbeitung der Prüfstellen, wird bei Auswahl der Methode aktiviert.

Jede Kontextaktivierung arbeitet schrittweise alle Äste der entsprechenden Stufe des Kontextbaumes ab: Im Beispiel Kapitel 3 sind zwei Prüfstellen vorhanden, deren Aktivierung durch die Methode 'Geometriemessung' erfolgt. Die Geometriemessung wird zuerst mit PS-1 aktiviert. Ist PS-1 vollständig bearbeitet, so wird auf PS-2 umgeschaltet und 'Geometriemessung' mit PS-2 aktiviert.

b. Bedingungsaktivierung: Dieses Attribut enthält eine Liste der zu setzenden internen Bedingungen. Die in dieser Liste vorhandenen Bedingungen werden, falls sie nicht bereits existieren, erzeugt.

c. Sonstige: Außer den Kontextaktivierungen und dem Setzen interner Bedingungen können hier weitere Vorgänge beschrieben werden, wie z.B. der Aufbau eines neuen Teilziels:

Die Geometrieprüfung kann eine Objekterkennung voraussetzen. Dazu wird eine Teilprüfung 'Prüfung-2' erzeugt, zusammen mit einem Kontextbaum für die Prüfaufgabe 'Objekterkennung'. Bevor die Geometrieprüfung weiter bearbeitet wird, erfolgt zuerst eine Aktivierung von 'Prüfung-2' mit entsprechender Methodenauswahl.

### 4.3 Komplexe Bedingungen

In Zusammenhang mit den externen Bedingungen wurden bereits die sogenannten komplexen Bedingungen dargestellt.

Vom Ansatz her sind komplexe Bedingungen eine Art Subroutine für externe Bedingungen. Eine komplizierte Bedingungskette wird unter einem einzelnen Namen zusammengefaßt. Wird dieser Name in einer externen Bedingung benutzt, so wird, soweit dies nicht bereits erfolgt ist, die Auswertung der dahinter verborgenen Bedingungskette durchgeführt. Diese Auswertoperation wird als Ableitung der komplexen Bedingung bezeichnet.

Komplexe Bedingungen treten auf

- bei der Berechnung geometrischer Zusammenhänge, z.B. 'die Meßlinie liegt parallel zur Bewegungsrichtung' und
- bei der Bestimmung übergeordneter Bildverarbeitungskonzepte, z.B. 'die Prüfaufgabe eignet sich für eine Binärbildverarbeitung'.

Die Benutzung komplexer Bedingungen hat folgende Vorteile :

- Der Auswertungsaufwand wird von der die Bedingung benutzenden Methode ferngehalten, wodurch sich ihr Aufbau vereinfacht
- Wird dieselbe komplexe Bedingung von mehreren Methoden benutzt, so braucht die erforderliche Auswertung nur einmal zu erfolgen. Da die komplexen Bedingungen auf sich nicht ändernden Spezifikationen beruhen und nicht von der Wahl der Methoden abhängen, kann sehr viel Auswertungsaufwand eingespart werden. Einmal ausgewertete Bedingungen bleiben während des Konfigurierungslaufes konstant.

Die Einführung komplexer Bedingungen hat auch einen weiteren Aspekt: Die Trennung zwischen Methoden- und Konzeptwissen.

Das Methodenwissen enthält Fakten über die einzusetzenden Methoden. Das Konzeptwissen beinhaltet Konzepte der Bildverarbeitung, die zur Auswahl der Methoden dienen können. Dieses Wissen, das eigentlich im Auswahlteil der Methoden zu finden ist, kann durch den Einsatz von komplexen Bedingungen explizit dargestellt werden. Komplexe Bedingungen repräsentieren Konzepte der Bildverarbeitung. Der Aufbau des Konzeptwissens kann, ähnlich zum Methodenwissen, mit Hilfe von Und/Oder-Graphen dargestellt werden, wobei die Blätter des Graphen von den Spezifikationen des Benutzers gebildet werden.

An dieser Stelle sollen nun die komplexen Bedingungen verallgemeinert werden :

Die Bedingungen sollten nicht nur abgeleitet, sondern auch vom Benutzer erfragt werden können. Diese Erweiterung hat sehr große Vorteile beim Aufbau des Konfigurationssystems, wenn noch nicht bekannt ist, aus welchen Einzelbedingungen sich eine komplexe Bedingung zusammensetzt.

Die verallgemeinerte Struktur soll nicht mehr komplexe Bedingung sondern Konzept genannt werden. Es wird folgender Aufbau vorgeschlagen :

### Konzept

- <Name> : Name des Konzeptes
- <Kontext> : für das Konzept gültiger Kontext
- <Wert> : abgeleiteter oder erfragter Wert
- <Modus> : 'Frage' oder 'Ableitung'
- <Frage-Text> : Text der Benutzeranfrage
- <Bedingung> : zu erfüllende Bedingung bei Ableitung
- <Defaultwert> : Konzeptwert bei ungültiger Benutzerantwort oder nicht erfüllter Bedingung
- <Alternativwert> : Konzeptwert bei erfüllter Bedingung

Ist noch nicht bekannt, aus welchen Einzelbedingungen sich die komplexe Bedingung zusammensetzt, wird der Modus auf 'Frage' gesetzt. Bei Auswertung des Konzeptes stellt das System eine Anfrage an den Benutzer, der dann als Antwort den Defaultwert oder den Alternativwert angeben kann. Dabei muß auch die Möglichkeit berücksichtigt werden, daß der Benutzer die gestellte Frage nicht beantworten kann. In diesem Fall sollte der Defaultwert als Konzeptwert eingesetzt werden.

Sind alle Einzelbedingungen bekannt, d.h. im Modus 'Ableitung', enthält das Attribut 'Bedingung' die eigentliche komplexe Bedingungskette. Wenn alle Einzelbedingungen erfüllt sind, nimmt das Konzept den Alternativwert an. Die hier benutzten Bedingungen entsprechen den externen Bedingungen der Methoden, d.h. sie können sich entweder direkt auf die Spezifikationen beziehen oder weitere Konzepte benutzen. Auf diese Weise erhält man einen Ableitungsgraphen, der auf den Spezifikationen beruht. Gefordert ist schleifenfreier Graph, damit keine Ableitungsschleifen auftreten können.

Das vorgestellte Schema ist zweiwertig, z.B. ist eine binäre Verarbeitung entweder möglich oder nicht. Denkbar wären auch allgemeinere Formen, die mehrere Konzeptwerte zuließen. Dann müßte allerdings jeder Wert mit einer eigenen Bedingung versehen werden. Als Ansatz soll der Einfachheit halber von einem zweiwertigen Schema ausgegangen werden.

Mit den höheren Konzepten wird neben der Methodenmenge eine weitere Wissensquelle aufgebaut, die das Konzeptwissen repräsentiert. Interessanterweise beinhaltet der erweiterte Ansatz nicht nur das Konzeptwissen des Systems, sondern auch das des Benutzers, soweit es durch Fragen erschlossen werden kann. Dieser letzte Punkt erfährt eine verstärkte Bedeutung im Rahmen der Dialogführung.

#### 4.4 Dialogführung

Dieses Kapitel befaßt sich mit der Kommunikation zwischen Konfigurierungssystem und Benutzer. Es gibt zwei prinzipielle Kommunikationsrichtungen :

- Das System stellt eine Anfrage, der Benutzer antwortet
- Der Benutzer stellt eine Anfrage, das System antwortet

Hier soll nur der erste Fall behandelt werden, d.h. diejenigen Dialoge, die vom System initiiert werden.

Wann tritt das Konfigurierungssystem mit einer Anfrage an den Benutzer heran ?

Wir haben in den obigen Ausführungen zwei Fälle kennengelernt :

- Zu Beginn muß der Benutzer dem System die Spezifikation der Prüfaufgabe bekanntgeben.
- Während der Konfigurierungsphase können Konzepte vom Benutzer erfragt werden.

Im zweiten Fall können die Konzepte selbst zur Dialogführung eingesetzt werden (s. Kap.4.3). Sie enthalten sowohl den Fragetext als auch die möglichen Benutzerantworten.

Für den ersten Fall, die Eingabe der Spezifikationen, sind mehrere Ansätze denkbar. Zuerst zu den Extrempositionen :

a) Alle zur Spezifikation der Prüfaufgabe benötigten Daten werden einmalig nach einem festen Schema erfaßt. Die Dateneingabe kann z.B. über Bildschirmmasken erfolgen, die der Benutzer möglichst vollständig auszufüllen hat.

Vorteil: Die Benutzereingaben erfolgen immer in einer bestimmten Reihenfolge. Der Benutzer ist relativ schnell mit dem Eingabeteil vertraut. Nach Abschluß der Eingabe werden keine weitere Spezifikationen mehr benötigt.

Nachteil: Eine Gesamteingabe setzt eine möglichst einheitliche Datenstruktur für alle anfallenden Aufgaben voraus. Ist dies nicht der Fall, so werden eventuell Daten verlangt, die für die Konfigurierung der geforderten Aufgabe irrelevant sind. Der Benutzer muß also mehr Daten eingeben, als notwendig sind.

b) Die Spezifikationsdaten werden erst dann erfragt, wenn sie wirklich zur Auswahl von Methoden benötigt werden. Die Eingabe der Daten erfolgt also auf Anfrage des Systems.

Vorteil: Die Dateneingabe ist sehr flexibel. Es werden nur diejenigen Daten abgefragt, die zur Konfigurierung wirklich benutzt werden.

Nachteil: Es gibt i.d.R. keine feste Reihenfolge bei der Datenanforderung. Ferner mag es dem Benutzer irritierend erscheinen, wenn Informationen, die zur gleichen Klasse gehören, wie z.B. Takt- und Darbietungszeit, zu verschiedenen Zeitpunkten abgefragt werden. Schließlich können logische Schwierigkeiten auftreten, wenn beispielsweise die Beschreibung der Prüfstellen, die ja Bezug auf das Prüfobjekt nimmt, zeitlich vor dem Objekt selbst angefordert wird.

Aus den zwei Extrempositionen läßt sich ein dritter Ansatz ableiten, der die Vorteile aus beiden Ansätzen vereinigt :

c) Derjenige Teil der Daten, der für alle Prüfaufgaben gleich ist, wird nach einem festen Schema eingegeben; die Eingabe von speziellen Daten erfolgt auf Anfrage des Systems.

Dieser dritte, kombinierte Ansatz sollte gewählt werden, denn auf der einen Seite wurde bereits in Kapitel 4.1 gezeigt, daß sich die Spezifikationen nicht in eine starre Form pressen lassen. Auf der anderen Seite existieren feste, für alle Aufgaben gleiche Eingaben, wie z.B. die Beschreibung des Prüfobjektes oder der Randbedingungen.

Wie kann eine kombinierte Dialogführung verwirklicht werden?

Betrachtet man nicht nur die Spezifikation, sondern die Menge aller potentieller Anfragen, so fällt auf, daß über die Konzepte bereits einer der beschriebenen Ansätze der Dateneingabe zur Verfügung steht :

Ein zu erfragendes Spezialfaktum kann wie ein Konzept im Fragemodus behandelt werden. Aus Vereinheitlichungsgründen bietet es sich daher an, den Begriff des Konzeptes zu erweitern und zur Dialogsteuerung zu verwenden. Dialogsteuernde Konzepte befinden sich immer im Fragemodus und lassen statt einer zweiwertigen auch mehrwertige Antworten zu. Damit wurde das 'Konzept' quasi bis auf die Blätter des Ableitungsbaumes ausgedehnt: Die Spezifikationen selbst werden als Konzepte mit einem unbekanntem Wert aufgefaßt, der erst vom Benutzer erfragt werden muß. Die Konzepte stellen also einen einheitlichen Mechanismus für die Dateneingabe auf Anfrage zur Verfügung.

Wie läßt sich nun die feste Eingabe der Grunddaten realisieren?

Günstig wäre sicherlich ein einheitlicher Mechanismus für alle Eingabearten. Konzepte verkörpern die Eingabe auf Anfrage. Was fehlt, ist eine feste Reihenfolge der Anfragen. Diese kann mit dem folgenden Trick erreicht werden : Auf die Verallgemeinerung des Konzeptbegriffes folgt eine Verallgemeinerung des Konfigurierungsbegriffes und damit eine Erweiterung der Methodenmenge. Bisher war die 'Konfigurierung' die Basismethode, mit der das Konfigurierungssystem beginnt. Vorausgesetzt wurde, daß die Spezifikationen bereits vorliegen. Nun soll ein weiterer Schritt eingefügt werden : Was soll das Konfigurierungssystem eigentlich tun ? Es soll einen Konfigurierungsvorgang durchführen, bestehend aus der Eingabe der Spezifikationen und der eigentlichen Konfigurierung. Betrachtet man also den gesamten Konfigurierungsvorgang als oberstes Systemziel, so kann als Basismethode folgendes angesetzt werden :

<Name> : **Konfigurierungsvorgang**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Allgemeines Vorgehen der Konfigurierung  
<Teilkomponenten> : Spezifikation,  
Konfigurierung

Diese Methode spiegelt den ursprünglichen Aufbau des Konfigurierungssystems (s. Kap.2.1) wider : Der Konfigurierungsvorgang zerfällt in Spezifikation der Aufgabenstellung und Konfigurierung des Systems.

Die Spezifikation ließe sich wie folgt verfeinern :

<Name> : **Spezifikation**  
<Klasse> : Z-Methode  
<Beschreibung> : Eingabe der Spezifikationen, Grunddaten  
<Teilkomponenten> : Spezifikation Prüfaufgabe,  
Spezifikation Prüfung,  
Spezifikation Prüfstellen,  
Spezifikation Randbedingungen

Der Methodengraph wird also um den Spezifikationsteil erweitert. Die dabei verwendeten Methoden verzweigen entsprechend der gestellten Aufgaben weiter. Man erhält also eine aufgabengesteuerte Dateneingabe.

Beispiel :

Methode

<Name> : **Spezifikation Prüfaufgabe**  
<Klasse> : R-Methode  
<Beschreibung> : Anfrage zur Spezifikation der Prüfaufgabe  
<externe Bedingungen> : Aufgabenklasse <> nil

Konzept

<Name> : **Aufgabenklasse**  
<Wert> : nil  
<Modus> : Frage  
<Frage-Text> : Was soll überhaupt gemacht werden ?  
<Bedingung> : nil  
<Defaultwert> : nil  
<Alternativwerte> : Objekterkennung,  
Prüfung optischer Eigenschaften,  
Vollständigkeit,  
Geometrieprüfung,  
Räumliche Anordnung,  
Objektunterscheidung,  
Störstellenerkennung

Die Methode "Spezifikation Prüfaufgabe" ist ein nicht optionaler Bestandteil der Z-Methode "Spezifikation", d.h. sie muß bearbeitet werden. Die Methode setzt voraus, daß das Konzept "Aufgabenklasse" einen Wert ungleich 'nil' besitzt. 'nil' sei ein Symbol für 'ohne Wert'. Zu Beginn seien alle Konzeptwerte mit 'nil' vorbesetzt.

Die externe Bedingung der Methode wird überprüft, was zu einer Auswertung des Konzeptes "Aufgabenklasse" führt. Da der Wert 'nil' und damit noch kein Konzeptwert vorhanden ist, wird eine Anfrage an den Benutzer gestellt : "Was soll



Methode-A sei beispielsweise die 'Geometriemessung' und habe als externe Bedingung 'Aufgabenklasse Geometriemessung'. Für die Methode-B1 gelte die Bedingung B1. Betrachtet man die Gesamtbedingung, die Voraussetzung für die Auswahl der Methode-B1 ist, so erhält man :

Methode-B1 ist einsetzbar, wenn  
Aufgabenklasse Geometriemessung und  
B1 erfüllt ist

Die Gesamtbedingung setzt sich zusammen aus der Konjunktion aller Auswahlbedingungen auf dem Pfad vom Basisknoten des Methodengraphen (Konfigurierungsvorgang) zum Knoten 'Methode-B1'. Sie gibt ALLE Voraussetzungen für die Benutzbarkeit einer Methode an.

Der Methodenauswahlmechanismus sorgt dafür, daß die von den übergeordneten Knoten übernommenen Bedingungen implizit erfüllt werden, denn eine Methode kann ja nur über eine übergeordnete Methode aktiviert werden. Es findet also eine Bedingungsvererbung statt. Sollten auch noch andere Eigenschaften zur Methodenauswahl benutzt werden, so werden auch diese weitervererbt. Insgesamt erhält man eine Vererbung von Auswahlereigenschaften, wobei die Auswahlbedingungen eine Teilmenge der Auswahlereigenschaften bilden. Weitere Auswahlereigenschaften werden unten im Kapitel vorgestellt.

b) Konzeptwissen, repräsentiert durch die in Kapitel 4.3 eingeführten Konzepte. Das Konzeptwissen enthält Wissen über Konzepte der Bildverarbeitung, die zur Auswahl der Methoden dienen. Es läßt sich in externes und internes Konzeptwissen aufteilen.

Die Quelle für externes Konzeptwissen stellt der Benutzer dar. Werden Konzepte benötigt, über die dem System kein weiteres Ableitungswissen vorliegt, so wird eine Anfrage an den Benutzer gestellt. Er kann somit als Wissensquelle für das System aufgefaßt werden.

Das interne Konzeptwissen wird durch systeminterne Ableitungen der Konzepte gebildet. Die Ableitungen stützen sich auf die Spezifikationen oder auf weitere Konzepte.

Bei der Betrachtung des erweiterten Konzeptbegriffes in der Dialogführung kann der Benutzer noch in einer anderen Hinsicht als Wissensquelle aufgefaßt werden: Er stellt dem Konfigurierungssystem die Spezifikation der Aufgabenstellung zur Verfügung. Man erhält also zusätzlich die Wissensquelle 'Aufgabenwissen'. Da diese Quelle mit den gleichen Mechanismen bearbeitet wird wie das externe Konzeptwissen, werden die beiden Wissensquellen im realen System teilweise miteinander verschmelzen, obwohl sie vom Ansatz her verschieden sind.

Reichen die vorgeschlagenen Wissensquellen zur Auswahl der Methoden aus ?

Die Methodenauswahl wird über interne und externe Konzepte gesteuert. Dabei wird festgestellt, ob sich eine Methode

für die an sie gestellten Aufgaben eignet oder nicht.

Beispiel :

Im in Kapitel 3 aufgeführten Beispiel stand die Entscheidung an, ob als Methode der Geometriedatengewinnung ein Binär- oder ein Standardverfahren benutzt werden sollte. Die Bedingung für die Binärverarbeitung wurde im Beispiel näher untersucht. Man erhielt eine relativ große Anzahl von Teilbedingungen, die alle erfüllt werden mußten, um das Binärverfahren einsetzen zu können.

Wie sehen nun die Bedingungen der alternativen Methode, der 'Standard-Geometriedatengewinnung' aus ?

Das Standardverfahren läßt sich prinzipiell immer anwenden, es wird daher wesentlich lockerere Auswahlbedingungen besitzen als das Binärverfahren. Insbesondere lassen sich im Prinzip alle binären Verfahren durch Standardverfahren ersetzen. Bezogen auf die Auswahl-situation stehen bei Aufgabenstellungen, die eine Binärverarbeitung zulassen, auch immer gleichzeitig die Standardverfahren zur Verfügung. Statt der Auswahl einer Methode werden beide Methoden als einsatzfähig erkannt. Der bisherige Ansatz scheint nicht ausreichend für dieses Problem zu sein.

Was ist zu tun ?

1) Die Binärverarbeitung stellt ein Spezialverfahren der Bildverarbeitung dar, das sich nur in bestimmten Fällen einsetzen läßt. Man könnte eine Spezialfallstrategie anwenden: Stehen mehrere Alternativmethoden zur Verfügung, so wähle die speziellste Methode aus.

Aber welche Methode ist die speziellste ? Eventuell gäbe die Komplexität der Auswahlbedingungen einen Hinweis auf den Spezialisierungsgrad einer Methode. Dem läuft jedoch der Einsatz von Konzepten zuwider, durch den komplexe Auswahlbedingungen ja gerade reduziert werden sollen. Die speziellste Methode wird sich im allgemeinen also nicht ohne größeren Aufwand bestimmen lassen.

2) Die Auswahlbedingungen müssen so gewählt werden, daß sie sich bei alternativen Methoden gegenseitig ausschließen. Im Beispiel könnte die Auswahlbedingung des Standardverfahrens folgende Form besitzen :

Wähle das Standardverfahren, wenn  
Binärverarbeitung nicht möglich ist

Die beiden Methoden würden sich aufgrund ihrer externen Bedingungen ausschließen, nur eine könnte gewählt werden. Dieser Ansatz kann natürlich bei einer großen Anzahl von Alternativmethoden relativ kompliziert werden. Außerdem geht er nicht darauf ein, warum die Binärverarbeitung überhaupt eingesetzt werden sollte, falls dies möglich ist. Daher soll noch ein dritter Ansatz vorgestellt werden.

3) Das Binärverfahren ist dem Standardverfahren vorzuziehen, weil es sehr viel einfacher und schneller ist. Da bei industriellen Sichtaufgaben die Geschwindigkeit eine dominierende Rolle spielt, ist es sicherlich sinnvoll, das

--- Wissensquellen und Methodenauswahl ---

schnellere Verfahren zu bevorzugen, sobald dies anwendbar ist.

Um eine dem dritten Vorschlag entsprechende Auswahl treffen zu können, müssen zusätzliche Eigenschaften einer Methode bekannt sein. Diese Eigenschaften sind Auswahl-eigenschaften und werden daher innerhalb des Methodengraphen vererbt. Vorgeschlagen werden :

- Geschwindigkeit oder Aufwand: Es gib sicherlich viele Möglichkeiten, den Aufwand einer Methode zu beschreiben. Ein Vorschlag wäre z.B., die Anzahl der Operationen, die durchschnittlich auf einem Bildpunkt ausgeführt werden, anzugeben. Problematisch ist allerdings, daß der Aufwand in vielen Fällen eine Funktion der Eingabedaten ist, also nicht einheitlich für alle Anwendungsfälle festgelegt werden kann.

Eine andere Möglichkeit zur Aufwandsbeschreibung wäre die Benutzung einer 5-stelligen Ratingskala (s. Kap.3.2), die zwar nicht so genau ist, aber eine qualitative Tendenz wiederzugeben vermag.

- Qualität: Auch hier eignet sich für einen ersten Ansatz eine Ratingskala, um Gütekennzahlen zu erhalten.

- Kosten: Die Kosten müssen neben dem Aufwand der Methoden Berücksichtigung finden, da einige Methoden vielleicht besonders schnell und leistungsfähig sein mögen, während sie auf der anderen Seite den vorgegebenen Kostenrahmen sprengen.

Die Auswahl der Methoden erfolgt nun in zwei Phasen :

Eine Grobauswahl wählt in einer ersten Phase alle Methoden aus, die prinzipiell für ein Problem zur Verfügung stehen. Sind dies mehrere, so kann über eine Feinauswahl eine einzige Methode ausgewählt werden.

Zur Feinauswahl wird Wissen über den Auswahlvorgang benötigt. Dies ist nun Wissen über Wissen, sogenanntes Metawissen. Ein Beispiel des Metawissens wurde bereits genannt:

Wenn zwei mögliche Methoden zur Auswahl stehen, wähle diejenige, die ihre Aufgabe am schnellsten erledigen kann.

oder

Wenn zwei mögliche Methoden die gleiche Geschwindigkeit besitzen, wähle diejenige mit der höheren Qualität aus.

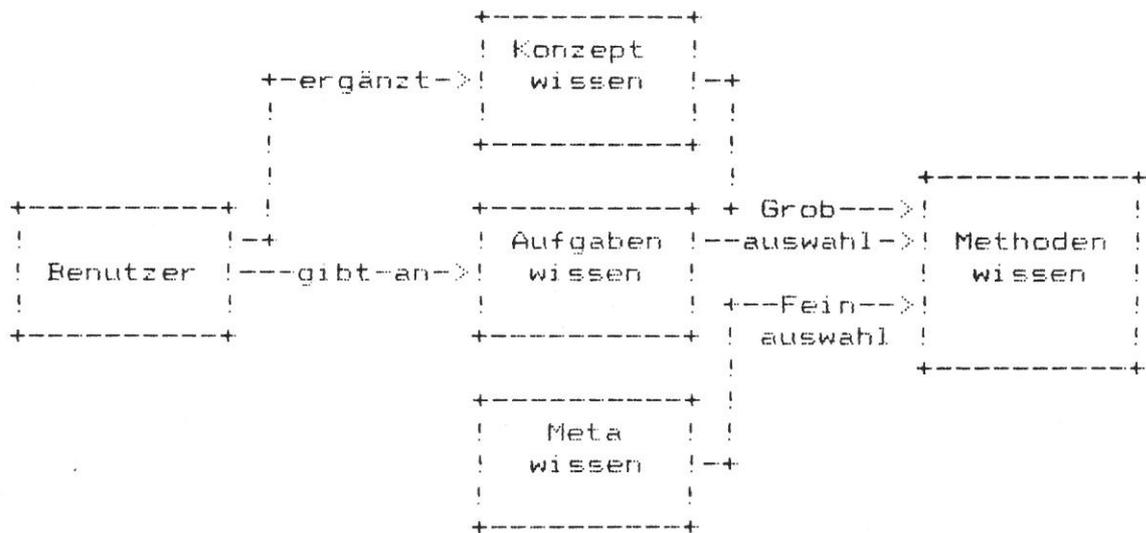
Mit Hilfe des Metawissens soll versucht werden, das aufzubauende System zu optimieren, d.h. ein System zu schaffen, das die gestellten Anforderungen mit dem geringsten Aufwand erfüllt.

Problematisch wird es, wenn eine Auswahl getroffen werden muß, bei der nicht auf so einfache Weise die 'bessere' Methode ermittelt werden kann. Dies kann z.B. auftreten, wenn die eine Methode sehr schnell und aber teuer ist, während die andere langsamer und dafür kostenmäßig günstiger

--- Wissensquellen und Methodenauswahl ---

ger ist. Hier muß eine Abwägung zwischen verschiedenen Optimierungszielen erfolgen, die je nach gestellter Aufgabe anders ausfallen kann. Statt das Metawissen zu umfangreich werden zu lassen, ist es häufig günstiger, dem Benutzer die Alternativen vorzulegen und selbst auswählen zu lassen. Ein anderes Problem ist sicherlich, daß die Feinauswahl lediglich eine lokale Optimierung durchführt. Durch die Interdependenzen der Methoden kann die Wahl einer besonders günstigen Methode an einer Stelle zu einer extrem ungünstigen Methode an anderer Stelle führen. Der Gesamtaufwand kann steigen, das Gesamtsystem wird suboptimal. Eine Lösung besteht darin, zuerst ein vollständiges Sichtsystem aufzubauen und dann im Nachhinein zu optimieren. Dieser Punkt soll hier jedoch nicht weiter diskutiert werden. Das Metawissen dient also zur Feinauswahl der Methoden. Es stellt eine vierte Wissensquelle dar.

Für die Wissensbasis ergibt sich folgendes Bild :



## 4.6 Sonderprobleme der Auswahl

In diesem Kapitel sollen abschließend einige Probleme der Methodenauswahl besprochen werden, auf die bis jetzt nicht näher eingegangen wurde :

### 4.6.1 Reihenfolge der Komponenten

Z-Methoden bilden die Zerlegung einer Methode in ihre Teilkomponenten ab. Diese müssen der Reihe nach vom Konfigurierungssystem bearbeitet werden. Dabei ist folgende Frage bisher nicht abschließend geklärt worden :

In welcher Reihenfolge sollen die Teilkomponenten konfiguriert werden ?

Das Reihenfolgeproblem wurde bereits in Kapitel 2.3.4 für die Methode 'Konfigurierung' behandelt. Welche Möglichkeiten gibt es nun für das Konfigurierungssystem, eine Bearbeitungsreihenfolge zu bestimmen ?

1) Bearbeitung der Teilkomponenten in der Reihenfolge ihres Auftretens in der Teilkomponentenliste: Dies ist sicherlich die einfachste Methode. Die Bearbeitungsreihenfolge ist dann von vornherein festgelegt. Als Nachteil kann sich eine schlechtere Lesbarkeit der Methodenmenge ergeben : In Kapitel 2.3.3 wurden die Teilkomponenten in der Reihenfolge ihres Abstrahierungsgrades angegeben. Zuerst kamen die vorverarbeitenden, dann die weiterverarbeitenden Methoden. Sollte die optimale Konfigurierungsreihenfolge von obiger verschieden sein, so ergäben sich Umstellungen in der Teilkomponentenliste, die die Klarheit des Methodenaufbaus beeinträchtigen können. Zur Vermeidung dieses Nachteils wird folgender Ansatz vorgeschlagen :

2) Die Teilkomponenten bleiben in ihrer ursprünglichen Ordnung, sie werden in der Reihenfolge ihrer Konfigurierung durchnummeriert. Nun bleibt die Ordnung bezüglich des Abstrahierungsgrades der Methoden erhalten; allerdings steigt der Verarbeitungsaufwand.

3) Als dritte Möglichkeit könnte das System die Konfigurierungsreihenfolge der Teilkomponenten selbst bestimmen und von Fall zu Fall möglichst günstig wählen. Wie das geschehen kann, bleibt an dieser Stelle völlig offen.

Der Einfachheit halber sollte für ein praktisches System der erste Ansatz gewählt werden.

Außer dem Reihenfolgeproblem gibt es eine weitere Schwierigkeit bei der Benutzung der Methodenmenge in ihrer jetzigen Form :

#### 4.6.2 Optionale Methoden

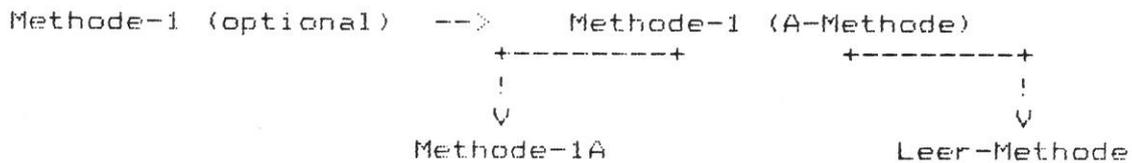
Es gibt Teilkomponenten von Z-Methoden, die in bestimmten Situationen notwendig sind, in anderen aber fehlen können. Ein Beispiel ist die Methode der 'Präsentation': Nur wenn Rollbilder der Oberfläche des Prüflings erzeugt werden müssen, wird die 'Präsentation' benötigt. Diese Art von Methoden wird als 'optional' bezeichnet, was bedeutet, daß sie eingesetzt werden können, aber nicht müssen.

Auch an einer anderen Stelle werden optionale Methoden verwandt: Wenn mehrere alternative Methoden zur Verfügung stehen und die Anzahl der auszuwählenden Methoden schwanken darf. Zur Formbeschreibung existieren z.B. mehrere Beschreibungsverfahren, die entweder einzeln, oder auch zu mehreren auf einmal eingesetzt werden können. Man benötigt quasi eine Alternativmethode, bei der nicht genau eine, sondern eine beliebige Anzahl von Alternativen ausgewählt werden kann. Zur Lösung wird eine Z-Methode benutzt, die nur optionale Teilkomponenten enthält.

Wie können optionale Methoden realisiert werden?

1) Die Methodenbeschreibung erhält ein Kennzeichen, das angibt, ob eine optionale Methode vorliegt oder nicht.

2) Man zerlegt eine optionale Methode in der folgenden Form:



Wird die Methode-1 ausgewählt, so steht man vor der Entscheidung, sie tatsächlich einzusetzen (Method-1A) oder eine Leermethode zu verwenden. Die Auswahl der Leermethode kommt dabei der Nicht-Benutzung von Methode-1 gleich. Sie wird immer dann gewählt, wenn die Bedingungen der Methode-1A nicht erfüllt sind (Ausschlußverfahren).

Bei diesem Ansatz wird die bei optionalen Methoden auftretende Entscheidungssituation im Methodengraphen modelliert: Die optionale Methode-1(A) kann benutzt oder weggelassen werden.

Der zweite Ansatz hat den Nachteil, daß die Methodenmenge durch Aufspalten vergrößert wird. Daher soll zunächst das erste Verfahren zur Darstellung optionaler Methoden zur Anwendung kommen.

### 4.6.3 Backtracking

Kommen wir zum Schluß zu einem Punkt, der ebenfalls vernachlässigt wurde :

Was passiert, wenn an einer Stelle des Konfigurierungsvorganges keine passenden Methoden vorhanden sind ?

Angenommen, das Konfigurierungssystem befinde sich in einer Sackgasse :

Es steht z.B. nur eine R-Methode zur Verfügung, die jedoch aufgrund ihrer Auswahlbedingungen nicht eingesetzt werden kann. Ist diese Methode optional, so braucht sie auch gar nicht unbedingt benutzt zu werden; es liegt keine echte Sackgasse vor. Ist sie nicht optional, muß das System versuchen, die bis jetzt aufgestellte Konfigurierung schrittweise zu ändern. Dies geschieht mit Hilfe eines Backtrackingverfahrens :

Das System geht schrittweise im Und/Oder-Graphen zurück bis zum letzten Oder-Knoten. Oder-Knoten im Methodengraphen sind die A-Methoden. Sie zeigen die möglichen Alternativmethoden auf. Nun existieren zwei Möglichkeiten :

- Es gibt noch nicht benutzte Alternativen, die sich ebenfalls in der vorliegenden Situation einsetzen lassen. Dann wird eine von ihnen ausgewählt und aktiviert.
- Es sind bereits alle in Frage kommenden Methoden überprüft worden. Dann ist die A-Methode als Ganzes nicht einsetzbar. Das System sucht den nächst höheren Oder-Knoten im Methodengraphen auf.

Dieses Vorgehen setzt allerdings eine Methodenauswahl bestehend aus Grob- und Feinauswahl voraus (s. Kap.4.5). Die Grobauswahl liefert die überhaupt einsetzbaren Methoden, von denen eine ausgewählt wird. Würde man ein Auswahlverfahren benutzen, das einander ausschließende Bedingungen verwendet, so würden an einem Oder-Knoten keine weiteren einsetzbaren Methoden zur Verfügung stehen. Eine einzige Sackgasse würde den gesamten Konfigurierungsvorgang stoppen.

Wird im Rahmen des Backtrackingvorganges die Basismethode 'Konfigurierungsvorgang' erreicht, so ist die Konfigurierungsaufgabe insgesamt nicht lösbar. Das System erkennt 'Nicht konfigurierbar', der Konfigurierungsvorgang wird abgebrochen (vgl. Kap.4.4).

Um das beschriebene Backtrackingverfahren zu realisieren, werden die Methodenaktivierungen (s. Kap.3.3) in einer stackartigen Struktur abgelegt. Der Aktivierungsdatensatz der zuletzt aktivierten Methode liegt dabei obenauf, der des Vorgängers darunter u.s.w. . Bei der Aktivierung einer Methode wird ihr Aktivierungsdatensatz dem Stack hinzugefügt. Im Rahmen der Deaktivierung einer Methode werden ihr eigener und alle im Stack darüberliegenden Aktivierungsdatensätze gelöscht. Auf diese Weise können bei Deaktivierungen von Z-Methoden eventuell schon realisierte Teilkomponenten ebenfalls zurückgenommen werden.

Der vorgestellte Mechanismus benutzt ein erweitertes Backtrackingverfahren. Beim Grundverfahren gingen durch einen Backtrackingschritt alle Zwischenergebnisse, die zur Auswahl einer Methode geführt haben, verloren. Beim erweiterten Verfahren bleiben bestimmte Zwischenergebnisse, z.B. abgeleitete Konzepte, erhalten. Es brauchen bei einer Neuauswahl also nicht alle Ableitungen von vorn durchgeführt werden.

Die in Kapitel 4 vorgestellten Mechanismen zur Realisierung eines Konfigurierungssystems sind nicht bis ins letzte Detail verfeinert worden. Sie bilden einen Rahmen, innerhalb dessen das reale System zu liegen hat. Insbesondere blieb der Implementationsaspekt weitgehend unberücksichtigt. Dieser soll abschließend in Kapitel 5 besprochen werden.

#### Quellen Kapitel 4

- (1) E. Neumann : Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung 'Bildverarbeitung', Wintersemester 1983/84, S.66

## 5. Aspekte der Implementation

In diesem Kapitel soll kurz das Problem der Systemimplementation angesprochen werden. Die Wissensquellen wurden bisher in einer frameartigen Repräsentation dargestellt. Diese Repräsentationsform ist nicht absolut zu sehen, sondern als konzeptionelle Darstellung.

Dem Fachbereich Informatik der Universität Hamburg steht als Expertensystemwerkzeug die Regelsprache OPS5 zur Verfügung. In OPS5 soll auch ein erster Implementationsansatz erfolgen.

Wie können die benötigten Wissensquellen in OPS5 implementiert werden ?

Zu diesem Problem existieren mehrere Ansätze :

a) Das Wissen wird in die Produktionsregeln aufgenommen : Dies ist der normale OPS5-Ansatz. Dabei ist zu beachten, daß sich die Wissensquellen verschieden gut für eine Regeldarstellung eignen. Besonders einfach ließe sich das Konzeptwissen in Regeln gießen, denn es handelt sich um einfache, rückverkettete Ableitungen. Für jedes Konzept gäbe es eine OPS5-Regel. Sollte eine Ableitung nicht existieren, so wird eine Dialogkomponente beauftragt, die Benutzeranfrage durchzuführen.

Schwieriger darzustellen ist die Methodenmenge :

Zum einen wird ein zweistufiger Auswahlvorgang bestehend aus Grob- und Feinauswahl benötigt, den OPS5 ohne weiteres nicht durchführen kann. Zum anderen werden im Auswahlteil der Methoden Konzepte benutzt, die erst evaluiert werden müssen, bevor Entscheidungen über die Einsatzfähigkeit der Methoden getroffen werden können.

Eine Methode ließe sich zwar mit Hilfe von OPS5-Regeln darstellen, es existiert jedoch keine 1:1 Umsetzung :

Für eine Methode bräuchte man, abhängig von ihrer Komplexität, zwei oder mehrere Regeln, um das vorgestellte Methodenschema voll zu realisieren.

Vorteil der Regeldarstellung: Der sehr leistungsfähige OPS5-Auswahlmechanismus wird zur Auswahl genutzt.

Nachteil: Das Wissen liegt in einer sehr starren Form vor. Bei Änderungen in einer Wissensquelle müßten zumindest Teile des Regelsystems neu übersetzt werden.

b) Das Wissen wird in einer frameartigen Darstellung belassen, lediglich der Auswahlmechanismus wird mit Hilfe von OPS5-Regeln dargestellt. Man erhält eine sehr stark deklarative Datenrepräsentation. Hauptvorteile dieser Repräsentationsform sind :

- hohe Flexibilität: Von einer Änderung der Wissensbasis wird die Regelmenge nicht berührt.

- weiterreichende Anwendbarkeit: Durch den Austausch der Wissensquellen könnten nicht nur Sichtsysteme, sondern auch andere Systeme, wie z.B. Expertensysteme, konfiguriert werden.

- Die konzeptionelle Framedarstellung ließe sich weitgehend übernehmen.

- Das Metawissen könnte explizit zur Steuerung des Aus-

--- Aspekte der Implementation ---

wahlmechanismus verwendet werden.

Nachteile :

- OPSS bietet die benötigten Datenstrukturen nicht in vol-  
lem Umfang an. Insbesondere treten Schwierigkeiten bei der  
Implementation von Listen auf.

- Es ist noch offen, ob sich ein effektiver Auswahlmecha-  
nismus in OPSS implementieren läßt.

Neben den zwei Extremansätzen sind durchaus Mischformen  
denkbar :

c) Die Wissensquellen werden unterschiedlich implementiert,  
z.B. das Konzeptwissen als Regelmenge, das Methodenwissen  
deklarativ.

Vorteil: Für jede Wissensquelle wird eine für sie angemes-  
sene Darstellungsform benutzt.

d) Eine Methode wird mehrschichtig dargestellt, teilweise  
als Frame, teilweise als Regel :

Der Regelteil übernimmt die Grobauswahl; anhand eines as-  
soziierten Datenelementes wird eine Feinauswahl durchge-  
führt.

Vorteil : - Benutzung des OPSS-Auswahlmechanismus

Nachteil: - Inhomogene Datendarstellung

- Das Problem der Benutzung von Konzepten  
zur Grobauswahl ist noch nicht gelöst.

Es sind also eine Vielzahl von Implementationsmöglichkeiten  
in OPSS vorhanden, alle mit Vor- und Nachteilen behaftet.  
Solange keine Framesprache, wie z.B. RLL zur Verfügung  
steht, sollte jedoch durchaus OPSS benutzt werden, da sich  
zumindest das Konzeptwissen sehr gut mit Hilfe von Regeln  
implementieren läßt.

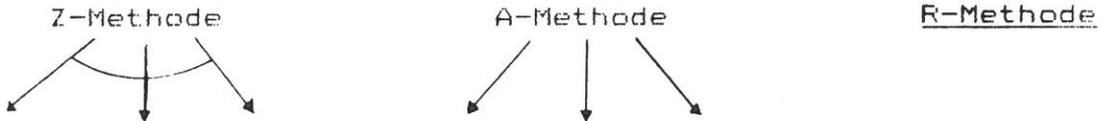
Der nächste Schritt wird sein, anhand von Beispielen die  
verschiedenen Repräsentationsformen durchzuspielen. Ich  
persönlich tendiere zu der flexibleren deklarativen Dar-  
stellung, da durch entsprechenden Entwurf des Auswahlme-  
chanismus die entwickelten Konzepte weitgehend übernommen  
werden könnten. Die praktischen Versuche werden zeigen, ob  
sich dieser Ansatz verwirklichen läßt.

# ANHANG A

## Methodengraph

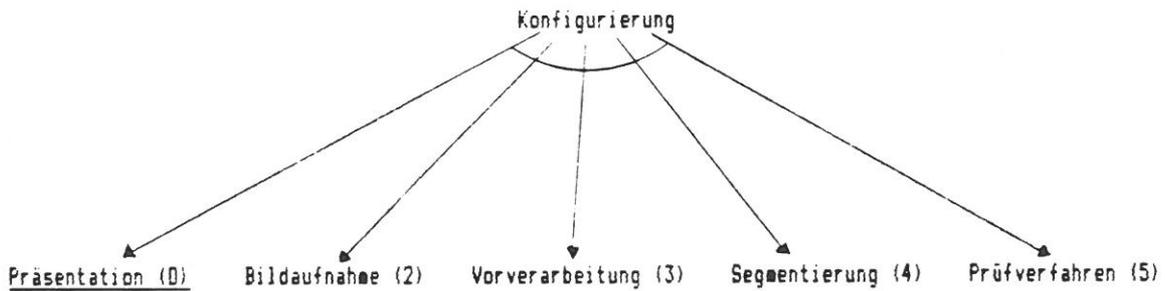
Zeichenerklärung :

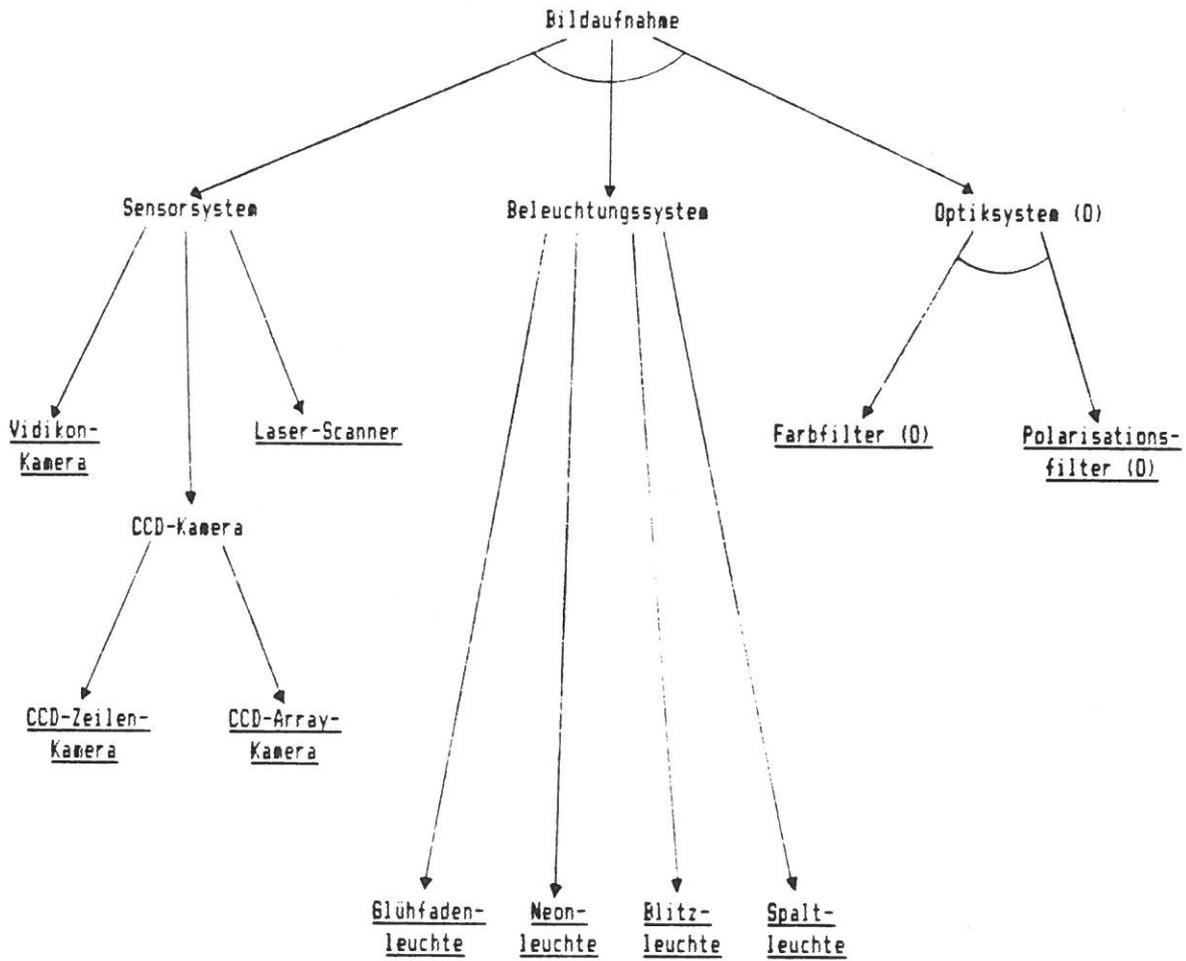
Darstellung der Methodenklassen :

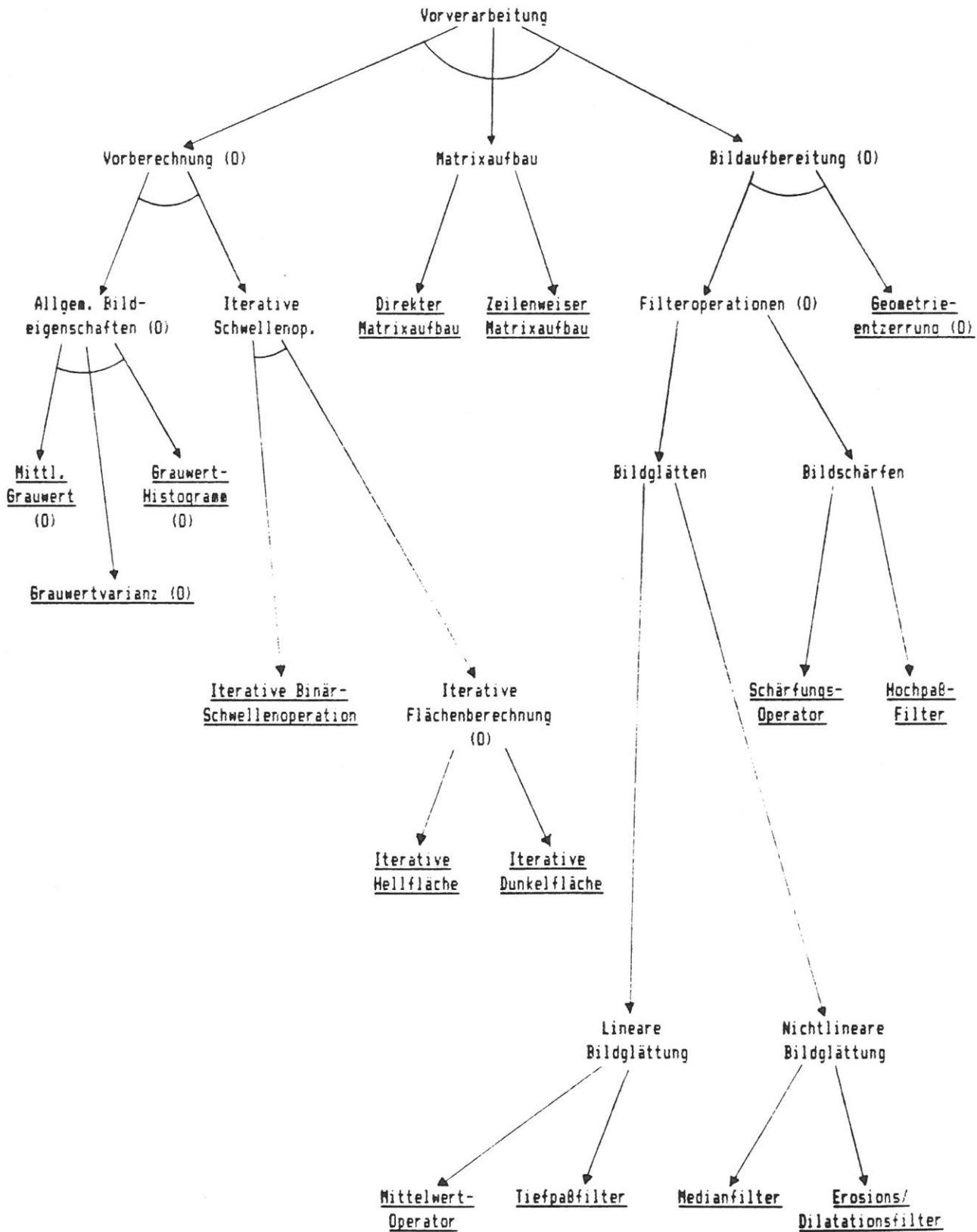


Erläuterung der Zusatzsymbole :

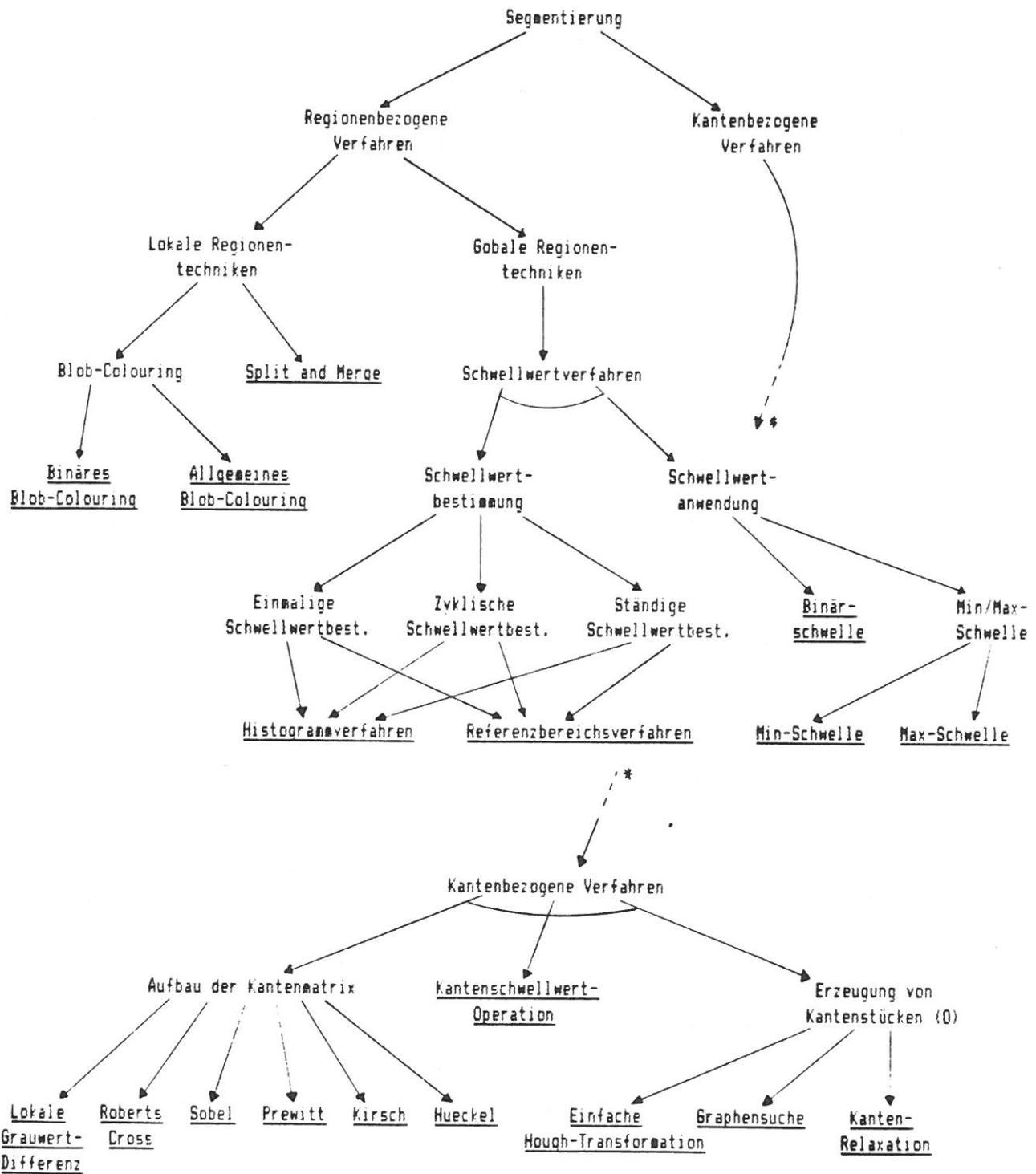
- (O) = optionale Methode
- (M) = Methode, die an anderer Stelle ebenfalls erscheint
- (1) = Seitennummer der Methodenverfeinerung



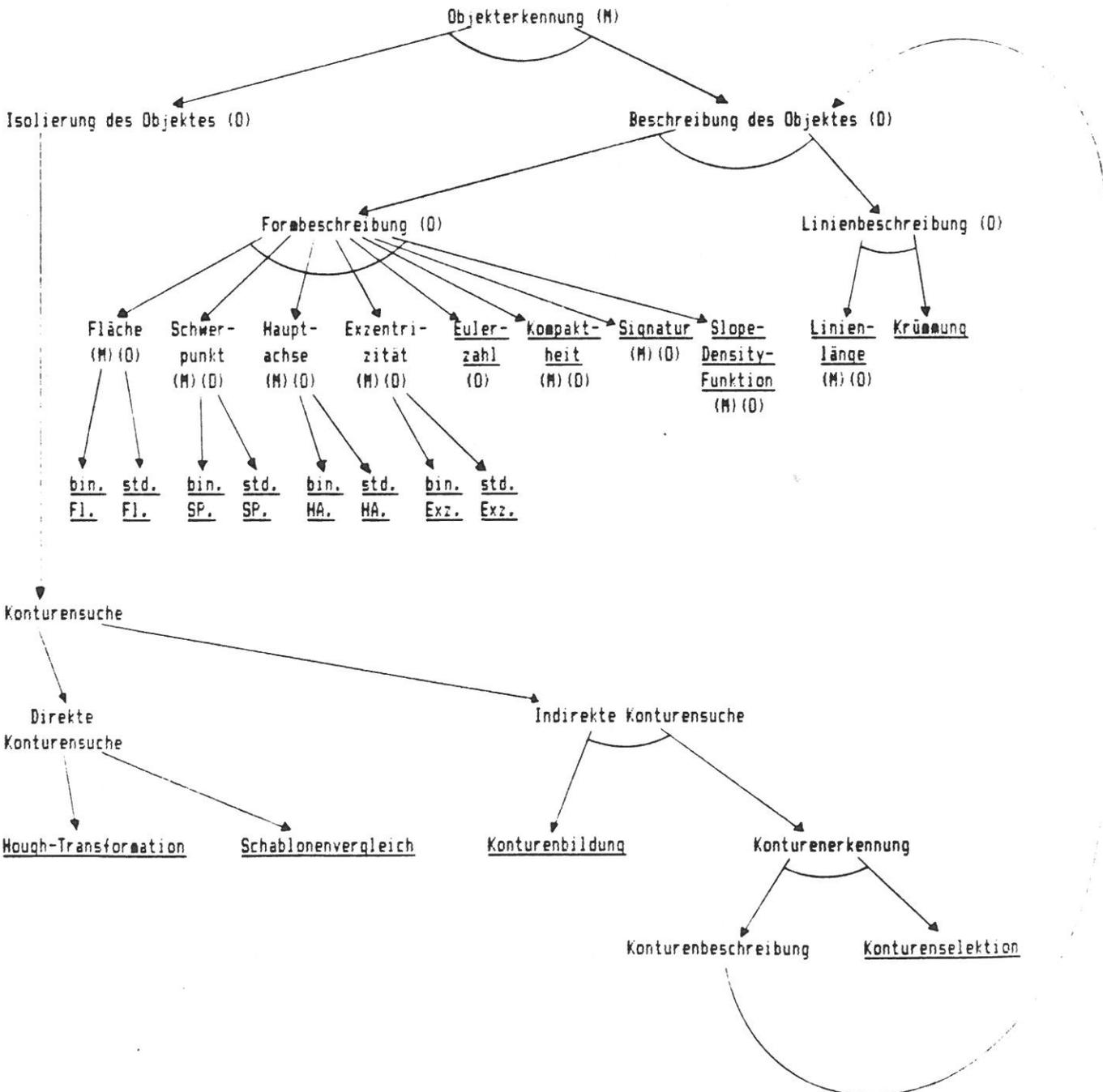
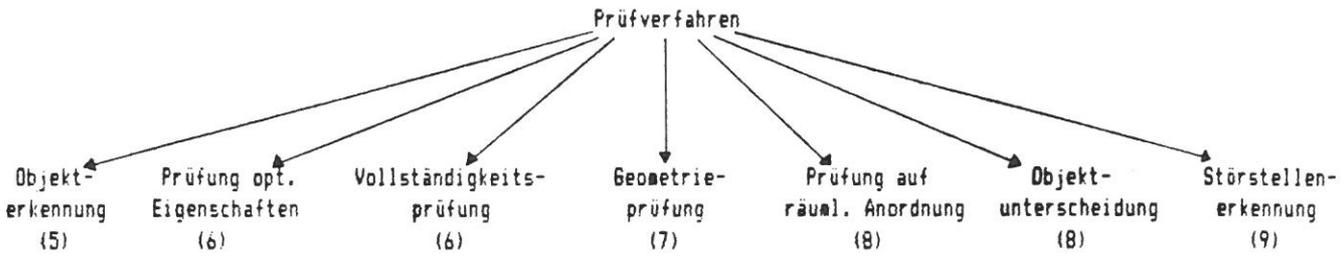




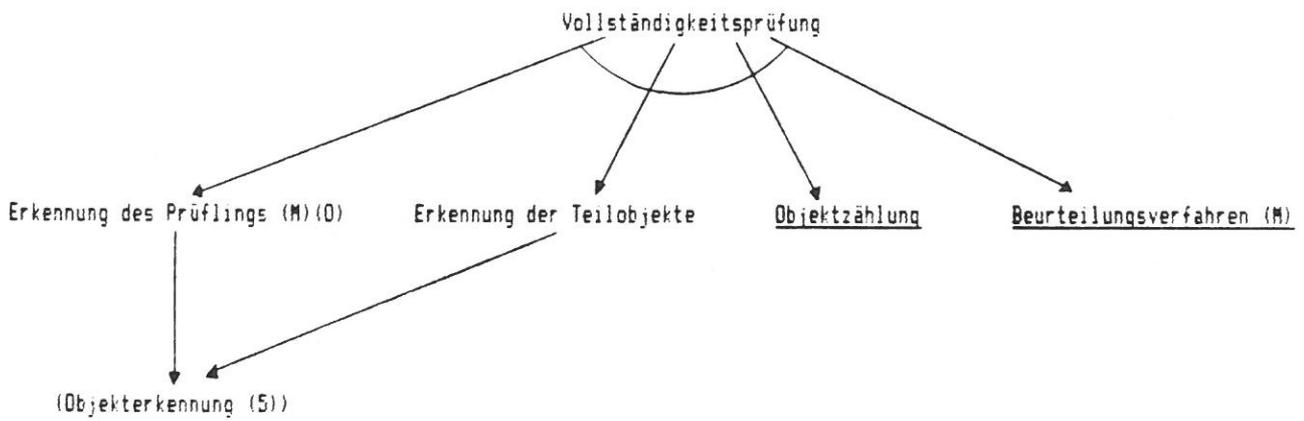
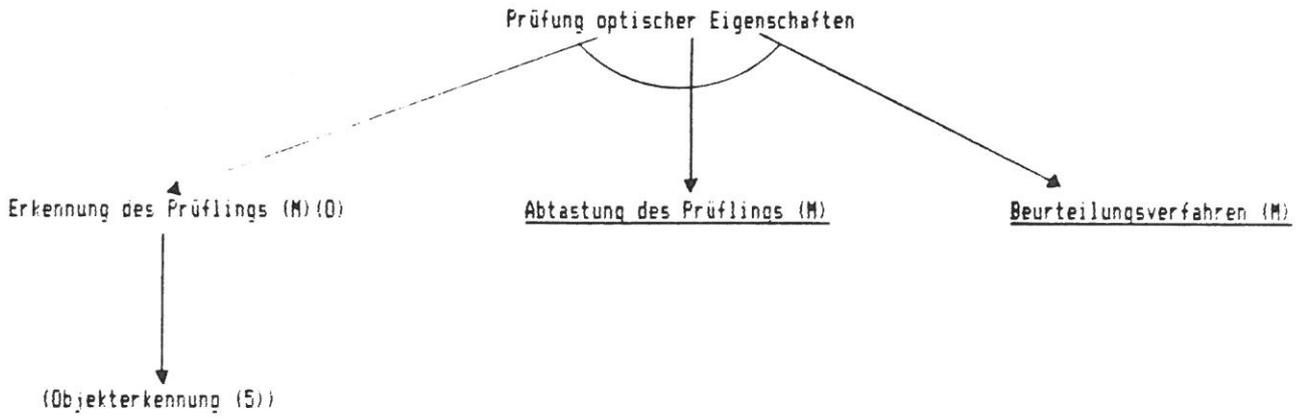
--- Anhang A ---

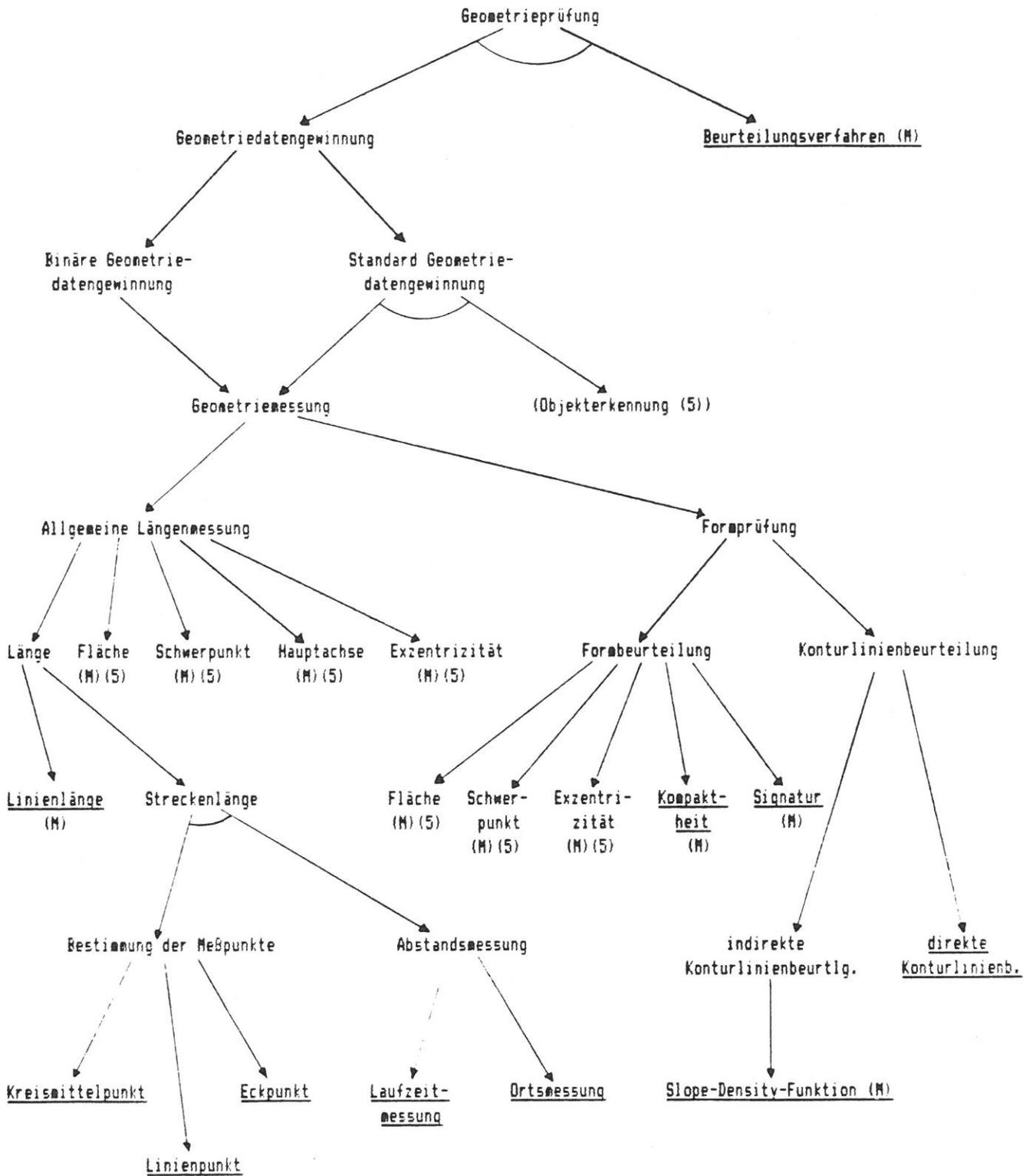


--- Anhang A ---

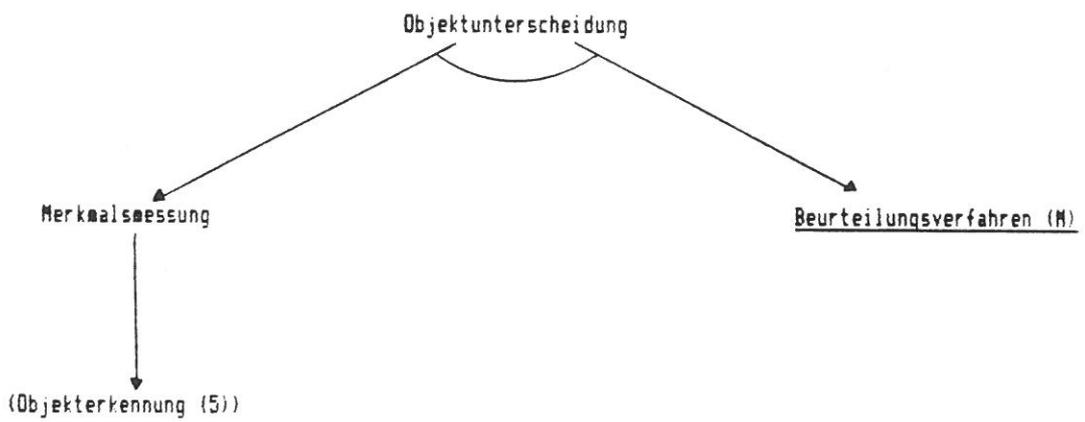
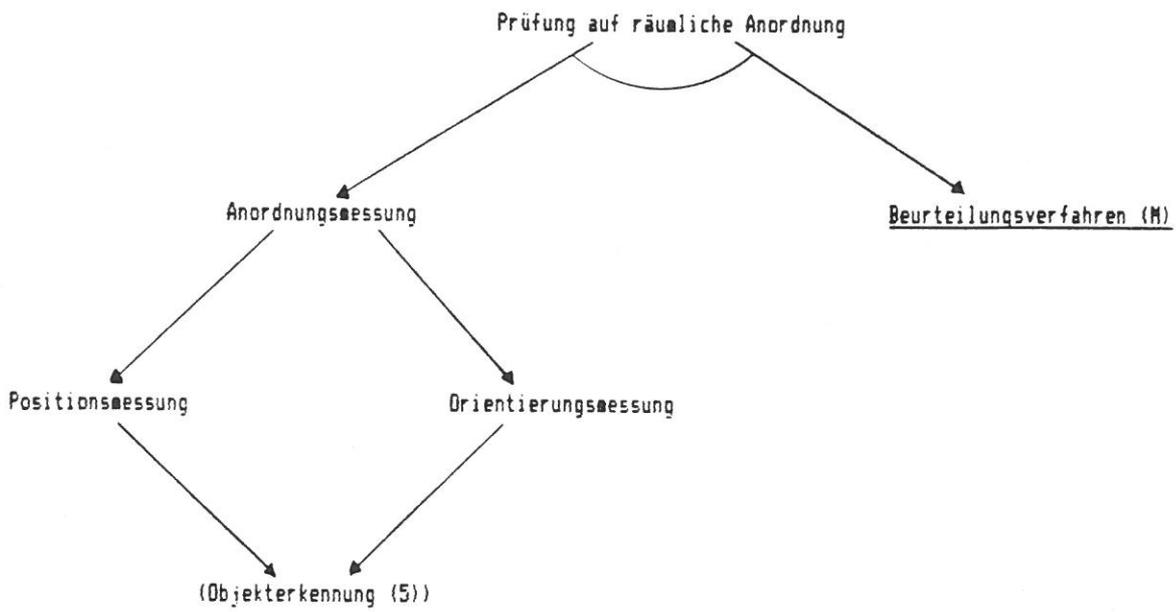


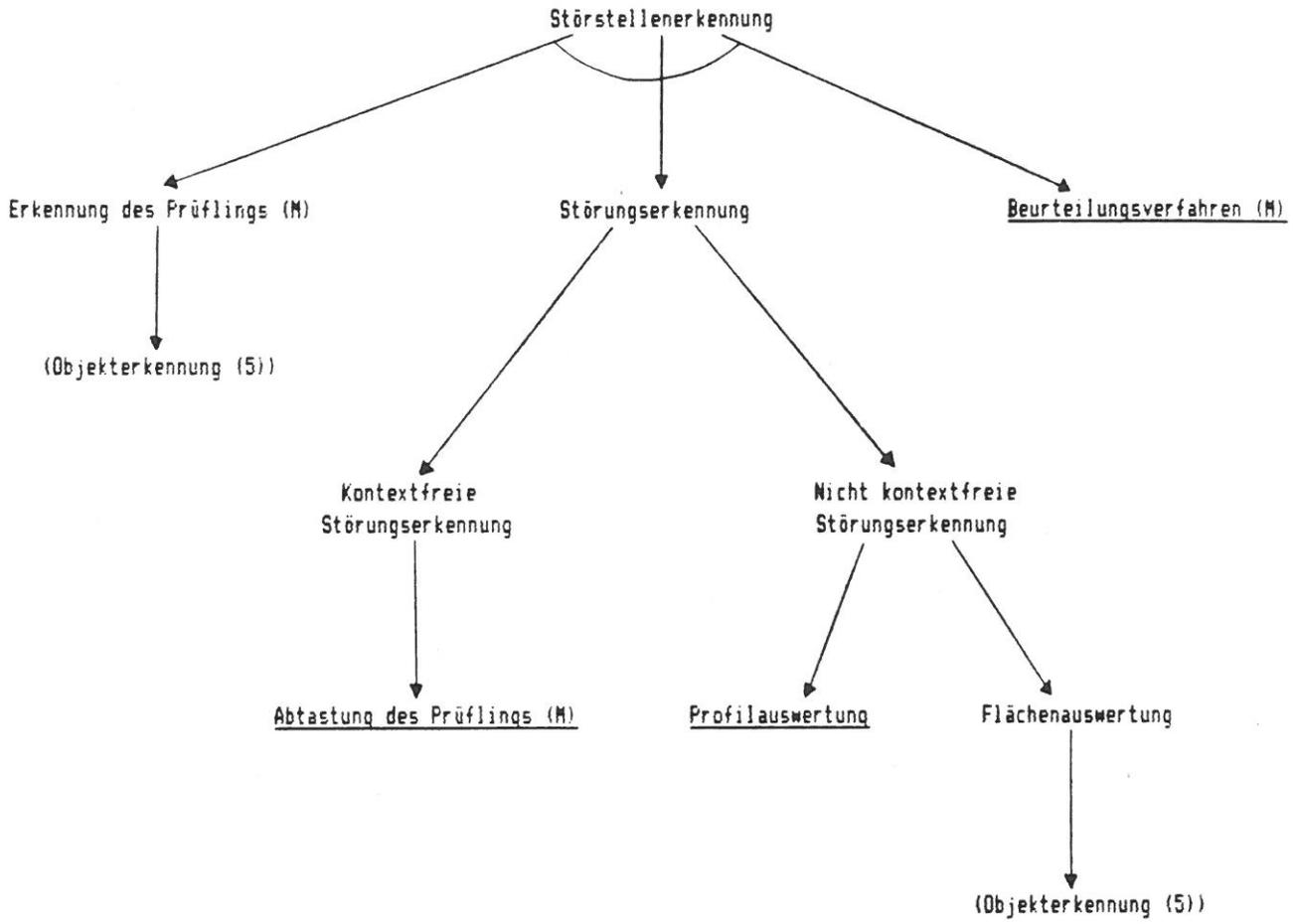
--- Anhang A ---





--- Anhang A ---





## ANHANG B

### Literaturliste

- D.H. Ballard, C.M. Brown :  
**Computer Vision**  
Prentice Hall  
New Jersey 1982
- B. Barth, I. Bey, G. Fritschow, U. Rembold, J. Weber :  
**Rechnergeführte Qualitätssicherung in der  
industriellen Produktion**  
PDV-E 113  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
März 1978
- U.W. Geitner :  
**DV-Manager : Zwischen allen Stühlen**  
Computer Magazin Juni 1985
- G. Hille :  
**Methoden und Modelle in der Bildsegmentation  
Eine Übersicht**  
IfI-HH-B-80/81 Juli 1981
- B. Neumann :  
**Industrielle Bildverarbeitung**  
Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung  
'Industrielle Bildverarbeitung'  
Sommersemester 1984
- B. Neumann :  
**Bildverarbeitung**  
Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung  
'Bildverarbeitung'  
Wintersemester 1983/84
- H. Niemann :  
**Klassifikation von Mustern**  
Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York Tokyo  
1983
- Niemeier :  
**Statusbericht Scheinwerfereinstellung**  
Wolfsburg, Prüfstandsplanung  
VW-Intern
- T. Pavlidis :  
**Algorithms for Graphics and Image Processing**  
Springer Verlag  
Berlin-Heidelberg



