

Industrielle Bildverarbeitung in Schleswig-Holstein

**Studien der Technologiestiftung Schleswig-Holstein
Band 20**

**Industrielle Bildverarbeitung
in Schleswig-Holstein**

Prof. Dr. Reiner Nawrath

Herausgeber:

Technologiestiftung Schleswig-Holstein
Lorentzendam 21
24103 Kiel

Telefon: (0431) 51937-10
Telefax: (0431) 51937-37

Verfasser:

Prof. Dr. Reiner Nawrath
Fachhochschule Westküste
Fritz-Thiedemann-Ring 20
25746 Heide

Datenerhebung:

Januar 2000 bis Oktober 2000

Quellen:

- Marktforschungsberichte und Marktübersichten
 - der Firma Forst & Sullivan „European Industrial Vision System Markets 1999“,
 - des Verbandes Automated Imaging Association (AIA) „The Machine Vision Market 1998“ und
 - des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA),
- Besuche und Gespräche des Autors in ausgewählten Hochschul- und Forschungsinstituten sowie in schleswig-holsteinischen Unternehmen, die auf dem Gebiet tätig sind,
- Publikationen und Fachbücher

September 2001

Vorwort

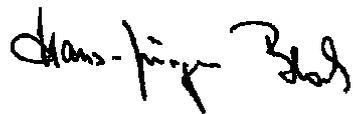
Die Bildverarbeitung weist seit einigen Jahren mit einer rasch wachsenden Zahl von Anwendungen z. B. in der Qualitätssicherung, in der Automatisierung der industriellen Produktion, in der Medizintechnik und in der Sicherheitstechnik zweistellige Zuwachsraten auf. Aus Sicht des Branchenverbands VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.) entwickelt sich die Industrielle Bildverarbeitung zur Schlüsseltechnologie der Automatisierungstechnik.

Die vorliegende Studie, die die Technologiestiftung Schleswig-Holstein in Auftrag gegeben hat, soll die allgemeinen Trends dieser Technologie beschreiben und untersuchen, wie sich die Situation speziell für Schleswig-Holstein darstellt:

- Welche Forschungsaktivitäten gibt es auf diesem Gebiet an den Hochschulen und Forschungsinstituten?
- Inwieweit wird dieses Fachgebiet in der Ausbildung der Ingenieure und Informatiker behandelt?
- Auf welchen Feldern wird diese Technologie in der Wirtschaft des Landes eingesetzt?
- Inwieweit sind Unternehmen des Landes in der Entwicklung und Produktion von Komponenten und Systemlösungen für die Bildverarbeitung aktiv?

Die Studie von Herrn Professor Dr. Reiner Nawrath, der im Studiengang Elektrotechnik an der Fachhochschule Westküste in Heide / Holstein lehrt, beschreibt eine Momentaufnahme und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, die angesichts der Unübersichtlichkeit und des raschen Wandels auf diesem Gebiet auch kaum erreicht werden kann. Die Studie dient der Technologiestiftung Schleswig-Holstein als Basis für einen Dialog zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Als Ausgangsbasis für diese Diskussion sind auch die vom Autor formulierten Vorschläge zu bewerten, dieses Fachgebiet durch gezielte Förderaktivitäten zu stärken. Mit der Veröffentlichung dieser

Studie und der Diskussion in einem Kreis von Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik hat die Technologiestiftung Schleswig-Holstein den Dialog über die Potenziale der Bildverarbeitung für die Wirtschaft des Landes eingeleitet. Am Ende des Diskussionsprozesses wird es auch um die Fragen gehen, ob ein spezifischer Handlungsbedarf gesehen wird und gegebenenfalls auch, mit welchen Maßnahmen die weitere Entwicklung dieser Technologie unterstützt werden sollte.

A handwritten signature in black ink, reading "Hans-Jürgen Block". The signature is written in a cursive style with some stylized flourishes.

Prof. Dr. Hans-Jürgen Block
Direktor der Technologiestiftung Schleswig-Holstein

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Bildverarbeitung: Aufgaben, Anwendungsgebiete, Märkte.....	1
1.2 Inhalt der Studie	6
2 Aufgabengebiete der Bildverarbeitung.....	8
2.1 Bildanalyse/Mustererkennung	9
2.2 Bildkodierung	14
2.3 Computergraphik/Computeranimation	16
3 Industrielle Bildverarbeitung: Komponenten und Systeme	18
3.1 Beleuchtungseinrichtung	19
3.1.1 Aufgabe und Stand der Technik	19
3.1.2 Entwicklungstrends.....	21
3.2 Abbildungsoptik.....	21
3.2.1 Aufgabe und Stand der Technik	21
3.2.2 Entwicklungstrends.....	23
3.3 Bildgebende Systeme/Sensoren.....	23
3.3.1 Aufgabe und Stand der Technik	23
3.3.2 Entwicklungstrends.....	26
3.4 Framegrabber	27
3.4.1 Aufgabe und Stand der Technik	27
3.4.2 Entwicklungstrends.....	28
3.5 Bildprozessoren	29
3.5.1 Aufgabe und Stand der Technik	29
3.5.2 Entwicklungstrends.....	29

3.6 Rechner und Betriebssysteme	30
3.6.1 Aufgabe und Stand der Technik	30
3.6.2 Entwicklungstrends.....	30
3.7 Bildsoftware	30
3.7.1 Aufgabe und Stand der Technik.....	30
3.7.2 Entwicklungstrends.....	31
3.8 Anwendungs <u>un</u> spezifische Bildverarbeitungssysteme.....	32
3.8.1 Stand der Technik	32
3.8.2 Entwicklungstrends.....	32
3.9 Anbieter und Hersteller in Schleswig Holstein.....	33
4 Industrielle Bildverarbeitung: Maschinensehen	35
4.1 Einführung.....	35
4.2 Der deutsche Markt für Maschinensehen	36
4.2.1 Kennzeichnungsidentifikation	43
4.2.2 Positionserkennung (Robot Vision)	46
4.2.3 Dimensionelles Messen.....	48
4.2.4 Vollständigkeitsprüfung	53
4.2.5 Oberflächeninspektion.....	55
4.3 Hersteller für den Markt Maschinensehen in Schleswig Holstein....	59
5 Industrielle Bildverarbeitung: Sortieranlagen	63
5.1 Das Anwendungsgebiet Sortieranlagen	63
5.2 Hersteller von Sortieranlagen in Schleswig Holstein	65
6 Anwendungsgebiete außerhalb der Industriellen Bildverarbeitung.....	68
6.1 Sicherheitstechnik.....	68
6.2 Autonome mobile Systeme	70

6.3 Qualitätsverbesserung von Produkten im Druckgewerbe	71
7 Anwendungen Bildkodierung und Computergraphik/ Computeranimation.....	73
7.1 Bildkodierung	73
7.1.1 Anwendungen.....	73
7.1.2 Situation Schleswig-Holstein	73
7.2 Computergraphik/Computeranimation: Multimedia	73
7.2.1 Anwendungsgebiet Multimedia.....	74
7.2.2 Situation Schleswig-Holstein	74
8 Hochschulen und Forschungseinrichtungen.....	76
8.1 Deutsche Hochschul- und Forschungseinrichtungen.....	79
8.2 Hochschulsituation Schleswig-Holstein	84
9 Empfehlungen.....	91
10 Zusammenfassung	95
11 Anhang: Anbieter von Bildverarbeitungssystemen und Komponenten	97
11.1 Anbieter außerhalb Schleswig-Holsteins.....	97
11.2 Anbieter in Schleswig-Holstein.....	101
12 Literaturverzeichnis.....	103

1 Einleitung

1.1 Bildverarbeitung: Aufgaben, Anwendungsgebiete, Märkte

Die Bildverarbeitung weitet sich kontinuierlich in neue Anwendungsgebiete aus und nimmt dadurch in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung ständig zu. So wurde auf der Hannover Messe 2000 vom VDMA die Bildverarbeitung als die Schlüsseltechnologie der Automatisierungstechnik herausgestellt. In dieser Studie werden die Anwendungs- und Aufgabengebiete mit ihren technologischen Trends und wirtschaftlichen Potenzialen, speziell für die Industrielle Bildverarbeitung, zusammengestellt. Die Bildverarbeitungsaktivitäten in Unternehmen, Hochschulen und Forschungsinstituten des Landes Schleswig-Holstein werden erfaßt und bewertet. Schließlich werden Empfehlungen zur Förderung der existierenden Potenziale aufgezeigt.

Mit Bildverarbeitung werden ganz allgemein alle Aufgaben bezeichnet, die sich mit der Erzeugung, der Manipulation und der Auswertung von Bildern oder Bildfolgen beschäftigen. Konkreter betrachtet, lassen sich drei Aufgabengebiete in der Bildverarbeitung unterscheiden, nämlich die Bildanalyse/Mustererkennung, die Bildkodierung (Bilddatenkompression) und die Computergraphik/-Computeranimation, siehe Bild1.1. Für jedes Aufgabengebiet existieren Anwendungen oder besser Anwendungsgebiete. Bild1.1 zeigt die Anwendungsgebiete des Aufgabengebietes Bildanalyse/Mustererkennung.

Die Bildverarbeitung beinhaltet eine Summe von Technologien, die seit Mitte der sechziger Jahre an vielen Hochschulinstituten und öffentlichen sowie privaten Forschungsinstituten als Schwerpunktthemen betrieben werden. Die Technologien lassen sich nach Modul- und Systemtechnologien unterscheiden.

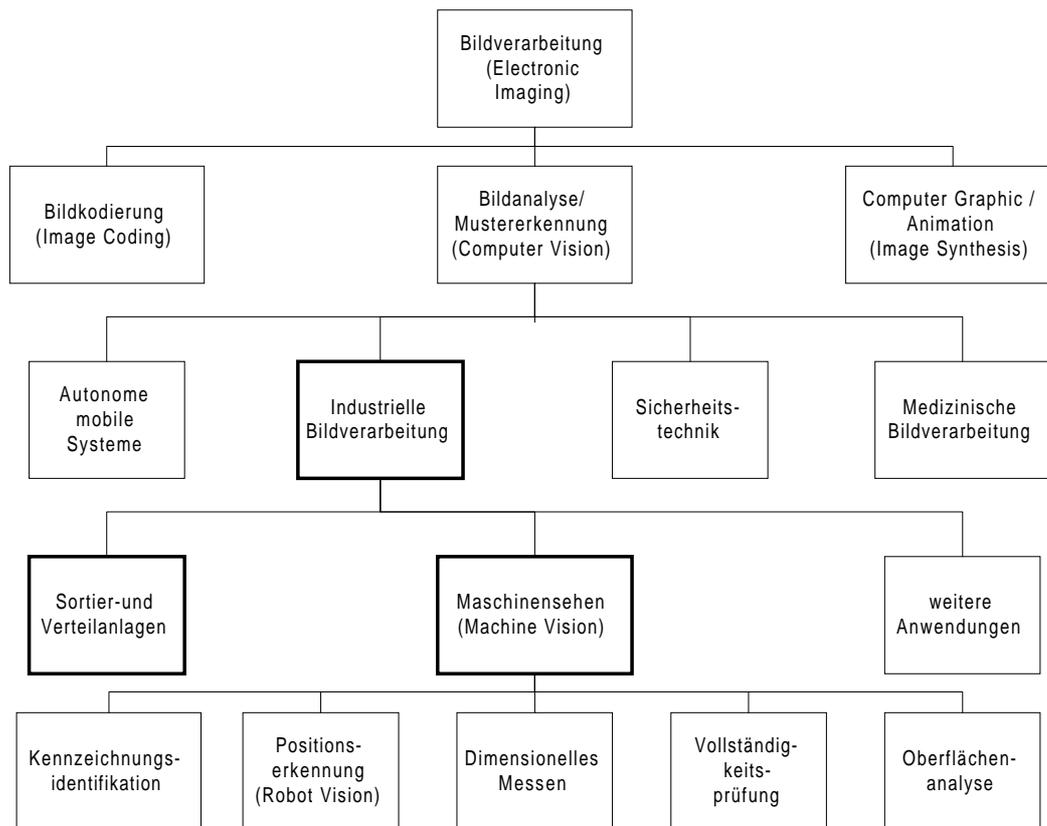


Bild 1.1: Aufgaben- und Anwendungsgebiete der Bildverarbeitung

Modultechnologien sind z.B.

- Framegrabber (in der Regel PC-Einsteckkarten zur Digitalisierung, Speicherung und Wiedergabe elektronischer Bildsignale),
- Bildprozessoren (Hardware-, Mikro- oder Signalprozessoren in Pipeline- oder Parallelarchitektur),
- Kameras als optoelektronische Wandler,
- Programmpakete (Algorithmen) zur Segmentierung
- Programmpakete zur Klassifikation von Objekten anhand ihrer Merkmale.

Systemtechnologien sind z.B.

- die Verknüpfung von Elektronik- und Softwaremodulen zu einem anwendungsunspezifischen Bildverarbeitungssystem
- die hard- und softwaremäßige Realisierung eines Systems für spezifische Aufgabenstellungen (Problemlösungen). So besteht ein Bildverarbeitungssystem zur Qualitätskontrolle von maschinell gefertigten Produkten aus den Modulen Beleuchtung, Optik, einer oder mehrerer Kameras, Framegrabber im Industrie PC, Betriebssystem, Produkt Zu- und Abführsystem (Handlingsystem) und der Problemlösungssoftware.

Ende der siebziger- bis Anfang der achtziger Jahre wurden die herangereiften Technologien zu kommerziellen Produkten, für die sich schnell Anwendungen, d.h. Märkte entwickelten. Während bis Anfang der 90er Jahre Bildverarbeitungssysteme überwiegend in Laborumgebungen betrieben wurden, werden sie jetzt in zunehmendem Maße in der Produktion, im Verkehr, in klinischen Geräten, in der Übertragungstechnik und in Multimedia Agenturen eingesetzt.

Die Anzahl der Anwendungsgebiete und damit der Problemlösungen nimmt extrem zu. Ursachen dafür sind die gestiegene Leistungsfähigkeit der PC's, speziell ihrer Prozessoren, wie die von Intel oder AMD, die gesunkenen Preise für Hardware, eine flexiblere Benutzersoftware und die Verfügbarkeit mächtiger Bildverarbeitungsalgorithmen. Die Märkte für Bildverarbeitungs-komponenten und Bildverarbeitungssysteme lassen sich einteilen nach Anwendungen aber auch nach Branchen.

Eine Einteilung der Märkte nach Komponenten und Anwendungsgebieten ergibt die folgende Segmentierung:

Markt für anwendungsunspezifische Systeme und Komponenten

- Teilmarkt Beleuchtungseinrichtungen
- Teilmarkt Optische Abbildungssysteme

- Teilmarkt Kameras
- Teilmarkt Framegrabber
- Teilmarkt Bildprozessoren
- Teilmarkt Bildverarbeitungssoftware
- Teilmarkt anwendungsunspezifische Systeme

Märkte für anwendungsspezifische Systeme

- Markt für Industrielle Bildverarbeitung mit den Hauptsegmenten Maschinensehen und Sortieranlagen
- Markt für Luftbild/Meeresgrundbild Auswertung
- Markt für Sicherheitstechnik
- Markt für Autonome mobile Systeme

Markt für Bildkodierung

Markt für Computergraphik/Computeranimation

In der Studie wird gemäß der Segmentierung nach Technologien vorgegangen.

Eine Einteilung der Märkte für Bildverarbeitung nach Branchen ergibt die folgende Segmentierung :

- Fahrzeugindustrie (Automobil- und Automobilzulieferindustrie)
- Elektro-, Elektronik- und Halbleiterindustrie
- Maschinenbauindustrie
- Lebensmittelindustrie
- Multimedia-Agenturen
- u.s.w.

Um die technologische Verbreitung und die wirtschaftliche Bedeutung der Bildverarbeitung darzustellen, sind in Bild 1.2 die drei Aufgabengebiete

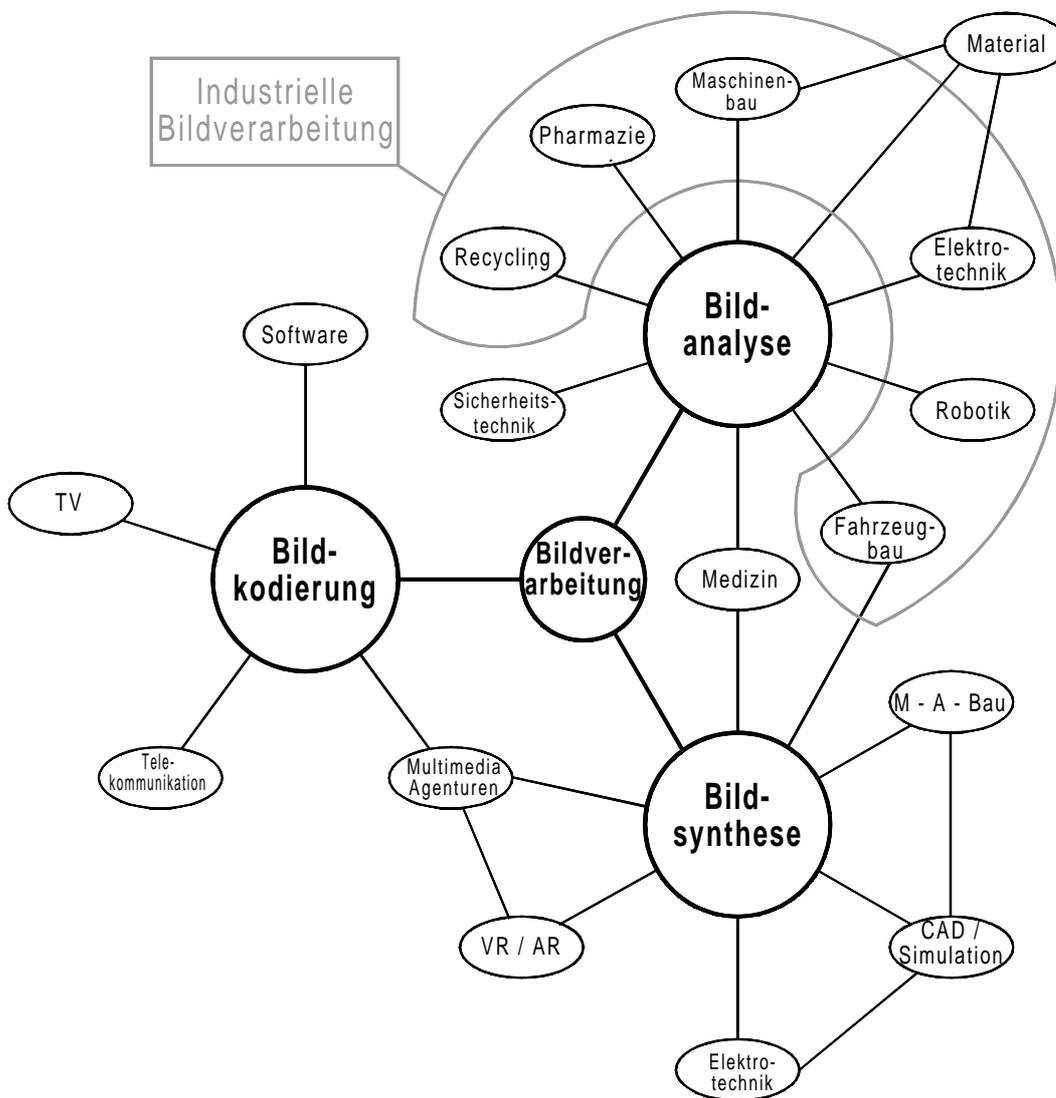


Bild 1.2: Bildverarbeitung und Branchen

(M-A-Bau = Maschinen- und Anlagenbau, VR/AR = Virtuelle-/Erweiterte Realität)

der Bildverarbeitung verkettet mit den wichtigsten Branchen dargestellt, in denen sie genutzt werden. Es zeigt sich, daß einzelne Branchen von zwei Aufgabengebieten profitieren, so z.B. die Medizinische Bildverarbeitung von der Computer Graphik/Simulation (Bildsynthese) und der Bildanalyse oder die Multimedia-Agenturen von der Bildkodierung und der Bildsynthese. Aus dem Bild 1.2 ist auch zu erkennen, wie die Bildverarbeitung direkt und indirekt über die

Branchen andere Technologien unterstützt, so z.B. die Verbindung von der Bildsynthese und der Simulationstechnik.

Anwendungssegmente und Branchensegmente überschneiden sich; so werden Aufgaben des "Maschinensehens", wie z.B. das Dimensionelle Messen oder die Vollständigkeitsprüfung sowohl in der Elektronik als auch in der Automobilindustrie durchgeführt.

1.2 Inhalt der Studie

Die Studie beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Industriellen Bildverarbeitung und dort dem Maschinensehen [3],[4].

Die Studie ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 werden die Aufgabengebiete der Bildverarbeitung behandelt, nämlich die Bildanalyse/Mustererkennung, die Bildkodierung und die Computergraphik/Computeranimation.

In Kapitel 3 wird auf die Komponenten eines Industriellen Bildverarbeitungssystems mit deren absehbaren technologischen Trends eingegangen. Außerdem wird die Hersteller- und die Anbietersituation in Deutschland und Schleswig-Holstein aufgezeigt.

Das 4. Kapitel behandelt den Markt für das Anwendungsgebiet Maschinensehen, das 5. Kapitel das Anwendungsgebiet Sortieranlagen. In beiden Fällen werden die Herstellersituationen aus Schleswig-Holstein vorgestellt.

Kapitel 6 geht auf die Anwendungsgebiete Bildverbesserung im Druckprozess, Sicherheitstechnik und Autonome mobile Systeme ein.

Kapitel 7 beschreibt in kurzer Form die Anwendungsgebiete der Bildkodierung und das Anwendungsgebiet Multimedia der Computergraphik/Computeranimation.

In Kapitel 8 werden die Aktivitäten einiger führender deutscher Hochschul- und Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Bildverarbeitung aufgeführt, um einen Eindruck vom Spektrum der aktuellen F&E Aktivitäten zu geben. Auf die Hochschulen in Schleswig-Holstein wird ausführlicher eingegangen.

In Kapitel 9 schließlich werden Empfehlungen diskutiert, welche Aktivitäten in Schleswig-Holstein gestartet werden sollten, um die wirtschaftlichen Potenziale der Bildverarbeitung verstärkt nutzen zu können.

Kapitel 10 enthält eine Zusammenfassung der Studie.

Die Internet-Adressen der in der Studie zitierten Hersteller und Anbieter von Bildverarbeitungs-Komponenten und -Systemen sind in Kapitel 11 zusammengestellt, die aus Schleswig-Holstein sind separat ausgewiesen.

2 Aufgabengebiete der Bildverarbeitung

Die Bildverarbeitung beschäftigt sich mit der Erzeugung, der Manipulation und/oder der Auswertung von Bildern auf vorgegebene Fragestellungen.

Deshalb soll zuerst der Begriff Bild erklärt werden, wie er hier verstanden wird und dann auf die Aufgabengebiete der Bildverarbeitung eingegangen werden.

Bilder sind orts- und wertkontinuierliche zwei- oder dreidimensionale Intensitätsverteilungen. Hängen sie zusätzlich von der Zeit ab, dann spricht man von Bildfolgen. Ein Bild oder eine Bildfolge wird auch Szene genannt. Bilder müssen nicht unmittelbar der menschlichen Wahrnehmung zugänglich sein, sondern können als solche erst durch einen technischen Wandler sichtbar gemacht werden. Der Wandler transformiert eine nicht im sichtbaren Wellenlängenbereich des Lichtes existierende physikalische Größe in eine elektrische und erlaubt dadurch eine Darstellung auf einem Monitor. Beispiele hierfür sind elektronenmikroskopische Bilder, Röntgenbilder oder Ultraschallbilder. Bilder oder Bildfolgen, die in einem Computer bearbeitet werden, sind mathematisch gesehen orts-, zeit- und wertdiskrete Intensitätsverteilungen, kurz digitale Bilder. Diese Studie beschäftigt sich mit der digitalen Bildverarbeitung. Ab sofort wird immer von Bildern gesprochen, unabhängig davon, ob es sich um ein einzelnes digitales Bild - z.B. ein Grauwertbild- , die n -Spektral (Farb)-Auszüge eines digitalen Farbbildes (gewöhnlich $n=3$, nämlich RGB) oder um eine zeitdiskrete Folge digitaler Bilder handelt.

Die digitale Bildverarbeitung läßt sich in die drei folgenden Aufgabengebiete unterteilen:

- Bildanalyse/Mustererkennung
- Bildkodierung
- Computergraphik/Computeranimation.

Was diese Aufgabengebiete beinhalten, wird nun erläutert .

2.1 Bildanalyse/Mustererkennung

Die Bildanalyse und Mustererkennung beschäftigt sich mit der Auswertung von Bildern, die über ein bildgebendes System

– in einer natürlichen Umgebung (Straßenszene, Landschaft)

oder

– in einer quasi natürlichen Umgebung (Fabrikhalle, Gebäude, Studio)

gewonnen werden. Quasi natürlich deshalb, weil der Mensch die Beleuchtungsverhältnisse für die zu erfassenden Bilder beeinflussen kann, was in der natürlichen Umgebung nicht möglich ist.

Die Bilder lassen sich unterteilen nach einem Hintergrund und Objekten, die analysiert werden sollen. Für die Analyse oder Mustererkennung interessieren in der Regel nur die Objekte.

Bezieht sich die Analyseaufgabe auf die Erkennung oder Identität eines Objektes, dann spricht man von Mustererkennung. Beispiele hierfür sind die Personenidentifikation, die Schriftidentifikation oder die Erkennung von Objekten, die die Navigation (Fahrt) eines autonomen mobilen Systems beeinflussen können.

Bezieht sich die Analyseaufgabe auf die Ermittlung der Qualitätsmerkmale eines Objektes oder der Ermittlung der Position eines Objektes (Montageroboter), dann wird der Vorgang häufig Bildanalyse genannt. Qualitätsmerkmale können geometrische Merkmale, Farbmerkmale oder Texturmerkmale sein. Beispiele für Analyseaufgaben (auch Inspektionsaufgaben genannt) sind die Füllgradbestimmung von Flaschen und Verpackungen, die Ermittlung der

Oberflächenqualität von Profilbrettern und Leimbindern, oder die Geometriekontrolle (Durchmesser und Abstände der Bohrungen) von Stanzteilen). Bildanalyse- und Mustererkennungsaufgaben können in die folgenden Teilaufgaben zerlegt werden, siehe Bild 2.1.

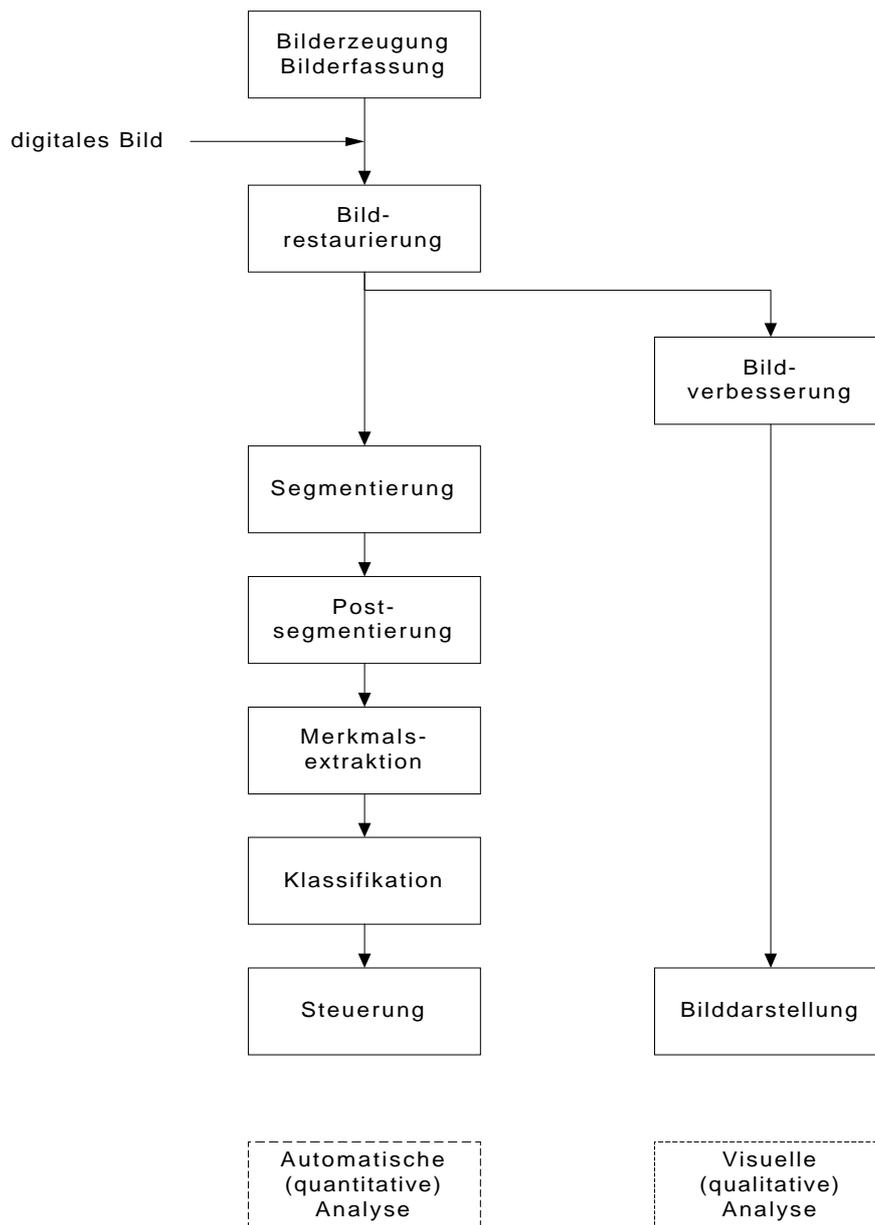


Bild 2.1: Teilaufgaben der Bildanalyse und Mustererkennung

Die im Bild 2.1 aufgeführten Teilaufgaben werden jetzt etwas ausführlicher behandelt:

a) Bilderzeugung und Bilderfassung

Hierunter versteht man die Überführung der räumlichen Intensitätsverteilung in das digitale Bild. Dazu erforderlich ist ein bildgebendes System, ein PC mit Framegrabber-Karte und eine Bilderfassungs- und eine Bildwiedergabesoftware. In den mit Abstand häufigsten Fällen besteht das bildgebende System aus einer geeigneten Beleuchtungseinrichtung, einem optischen Abbildungssystem und einer CCD-Kamera als optoelektronischem Wandler. Soll das Innere eines Objektes analysiert werden, kommen Computer Tomographen oder Ultraschallscanner als bildgebende Systeme zum Einsatz.

b) Bildvorverarbeitung

Hierunter werden die Operationen der Bildrestaurierung und Bildverbesserung zusammengefaßt [17], alles Operationen, die eine Bild zu Bild Transformation durchführen.

Eine Bildrestaurierung, häufig auch als Bildverbesserung bezeichnet, beseitigt die bei der Bilderfassung entstandenen systematischen Fehler. Hierzu zählen Geometriefehler (Kamera, Optik), Farbfehler (Optik), Shadingfehler (Beleuchtung) und die Bewegungsunschärfe.

Unter Bildverbesserung werden Operationen verstanden, die dem menschlichen Anwender die Analyse des Bildes erleichtern. Klassische Beispiele solcher Operationen sind die Kontrastspreizung und die Pseudofarbdarstellung des Bildes. Zur Bildverbesserung können auch Operationen gerechnet werden, die die Auswirkungen stochastischer Fehler, wie elektronisches Rauschen, reduzieren. Im Falle einer automatischen Bildauswertung bringen Operationen zur Bildverbesserung keine Vorteile.

c) Segmentierung

Segmentierung ist die Zerlegung des Bildes in die zu analysierenden Objekte und den Bildhintergrund [17].

Bei der Flächensegmentierung erfolgt die Zerlegung dadurch, daß alle Bildpunkte gleicher Intensität oder gleichen Farbwertes als ein Objekt definiert werden, was technisch durch einen Vergleich der Bildpunkte mit einem konstanten oder variablen Schwellwert erreicht wird.

Die Kontursegmentierung nutzt die Eigenschaft, daß Objektkontur und Hintergrund durch einen Anstieg/Abfall von Intensitätswerten gekennzeichnet sind. Eine Kontursegmentierung wird durch Gradientenfilter realisiert.

Bei der Textursegmentierung werden alle die Bildpunkte zu einem Objekt zusammengefaßt, für die eine aus dem Bildpunkt und seiner Nachbarschaft berechnete statistische Kennzahl konstant ist. Eine spektrale Filterung kann den obigen Segmentierungsverfahren vorangehen.

Zusätzlich können modellgestützte Verfahren, wie der Vergleich benachbarter Bildpunkte mit z.B. einer mathematisch modellierten Kante den Segmentierungsprozeß unterstützen.

d) Postsegmentierung

Der Segmentierungsprozeß wird nicht immer eine ideale Aufteilung des Bildes in interessierende Objekte und Bildhintergrund erreichen. Es werden Artefakte in Form von isolierten Punkten, von Punktgruppen oder Linien verbleiben. In der Postsegmentierung werden diese Artefakte eliminiert. Die Transformationen der Mathematischen Morphologie [16,20] haben sich hierzu als besonders zweckmäßig erwiesen.

e) Merkmalsextraktion

An die Postsegmentierung schließt sich die Operation der Merkmalsextraktion an. Waren alle bisherigen Operationen Bild zu Bild Transformationen, so transformiert die Merkmalsextraktion das Bild in je einen Merkmalsvektor pro Objekt.

Bei den Merkmalen werden drei Klassen unterschieden:

-Geometrische Merkmale: Zu ihnen gehören Längen (Abstand, Durchmesser, Umfang), Flächen, Schwerpunkte oder Formmerkmale (umschreibendes Rechteck oder Kompaktheit);

-Farbmerkmale (spektrale Merkmale): Beispiele hierfür sind die integrierte optische Dichte (mittlere Farbintensität eines Farbkanals) oder die minimale und maximale Intensität innerhalb eines Objektes

-Texturmerkmale : Texturmerkmale werden durch statistische Maße definiert. (gewichtete Mittelung von Nachbarschaftsbildpunkten). Ein Beispiel ist die Summe der Betragsdifferenzen benachbarter Bildpunkte eines Objektes [17, 18].

Wird die Bildanalyse zur Überwachung der Produktqualität eingesetzt, dann werden die zu messenden Merkmale mit ihren Toleranzen vorgegeben.

Im Falle einer Mustererkennungsaufgabe, wie z.B. der Personenidentifikation, muß der Entwickler selbst Merkmale definieren. Zielsetzung dabei ist es, die Anzahl der Merkmale zu beschränken und sicherzustellen, daß die ausgewählten Merkmale unabhängig voneinander sind.

f) Klassifikation

Klassifikation bedeutet die Zuordnung eines Merkmalsvektors oder jeder seiner Elemente zu einer Zahl, die wiederum einer Aussage entspricht. Im Falle der Mustererkennung ist es die Entscheidung " das analysierte Objekt gehört der Klasse n an ", im Falle der Bildanalyse ist es z.B. die Entscheidung " das analysierte Objekt ist fehlerfrei " oder " das Maß liegt innerhalb der Toleranz ".

Am bekanntesten sind numerische Klassifikatoren wie der Minimum Distance Klassifikator oder der Maximum Likelihood Klassifikator [19]. Neuronale Netze werden immer häufiger zur Klassifikation eingesetzt.

2.2 Bildkodierung

In der Informationsverarbeitung wird zwischen der Quellenkodierung und der Kanalkodierung unterschieden. Bei der letzteren geht es darum, ein digitales Signal möglichst fehlerfrei über einen realen und damit fehlerbehafteten Kanal zu übertragen. Die Quellenkodierung bezweckt eine Datenreduktion, auch Datenkompression genannt, mit dem Ziel, Speicher- oder Übertragungskapazitäten ökonomisch zu nutzen. Unter Bildkodierung wird die Quellenkodierung digitaler Bildsignale verstanden.

In der Bildkodierung werden redundanzreduzierende und irrelevanzreduzierende Verfahren angewendet. Ein Verfahren heißt redundant, wenn der Dekodierer (Empfänger) aus den empfangenen Daten und der Kenntnis des Kodierverfahrens das Bild fehlerfrei rekonstruieren kann. Ein Verfahren zur Irrelevanzreduktion ist irreversibel, d.h. das dekodierte Bild entspricht nicht exakt dem Original sondern ist mit einem Informationsverlust behaftet, was sich in einem Qualitätsverlust bemerkbar machen kann. Die Redundanzreduktion ist unabhängig vom Empfänger, sie hängt allein von den statistischen Eigenschaften der Quelle ab. Die Irrelevanzreduktion orientiert sich an den physiologischen Eigenschaften des Empfängers und an seinen Bedürfnissen. Die heute realisierten Verfahren zur Bilddatenkompression enthalten untrennbar verknüpft Redundanz und Irrelevanz. Verfahren zur reinen Redundanzreduktion sind z.B. die Huffman-Kodierung und die Lauflängen-Kodierung [11].

Verfahren zur Redundanz- und Irrelevanzreduktion sind die Prädiktionsverfahren (Differenz-Puls-Code Modulation (DPCM)) und Transformationsverfahren (lineare Transformations-Kodierung mit diskreten Kosinusfunktionen (DCT)).

Um die Kodierverfahren zu standardisieren und damit weltweit nutzen zu können, wurde die MPEG (Moving Picture Experts Group) ins Leben gerufen. Sie verabschiedete 1994 den MPEG-2 Standard für das digitale Fernsehen, mit dem ein Datenkompressionsfaktor zwischen 5 und 50 erreichbar ist. Der MPEG-2 Kodierer basiert auf der blockweisen Diskreten Kosinus Transformation innerhalb

eines Bildes, der Prädiktion von Bild zu Bild und einem Bewegungsschätzer zur Unterstützung des Prädiktors [11].

Der heute aktuelle MPEG-4 Standard berücksichtigt neben digitalen Fernsehsignalen bereits die Anforderungen interaktiver Multimedia-Anwendungen [12]. Der MPEG-4 Standard enthält neben einer verbesserten Datenkompression bildinhaltsbezogene Funktionalitäten. Ein Bild besteht aus einem Hintergrund und mehreren Vordergrundobjekten. Das Bild wird so kodiert, daß der Empfänger die einzelnen Objekte getrennt dekodieren kann. Damit hat er die Möglichkeit, sie mit Objekten anderer Bilder zu mischen, gerade so, wie er es für seine Präsentation möchte.

Mikroelektronik Unternehmen haben begonnen, die Kodierverfahren in IC's umzusetzen. So hat das Unternehmen iCompression [A-31] Musterbausteine iTVC15 für die MPEG-2 Kodierung/Dekodierung angekündigt.

Am nächsten Standard MPEG-7, der zusätzlich zu MPEG-4 noch die Nutzung von Datenbanken beinhaltet, wird gearbeitet. Er soll im Jahre 2002 verfügbar werden.

2.3 Computergraphik/Computeranimation

Zu diesem Aufgabengebiet gehören die Erstellung graphischer Darstellungen und die Visualisierung von 3D-Daten oder zeitlichen Folgen von 3D-Daten, welche durch bildgebende Systeme oder aus abstrakten Beschreibungen durch mathematische Algorithmen gewonnen werden. Ziel ist die Rekonstruktion von Objekten in einer der natürlichen und der von Menschen geschaffenen Umgebungen, mit Eigenschaften (Informationen), die das menschliche Auge wahrnimmt, wie z.B. die räumlichen Tiefeninformationen, die Reflexionen an Objektoberflächen oder die Orientierung von Objektkonturen. Hierzu gehören die Aufgabengebiete:

- 3D CAD Systeme
Benutzeroberfläche und mathematische Routinen zur Konstruktion und Berechnung mechanischer Komponenten und Systeme. Es werden eine Vielzahl von Produkten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit angeboten.
- Bildbearbeitungssoftware
Benutzeroberfläche mit Algorithmen zum Manipulieren von Bildern wie z.B. Paint Shop Pro 6 der Firma Jaso [A-34].
- "Virtuelle Realität (Virtual Reality)"
Benutzeroberfläche mit Algorithmen, die komplexe natürliche (Landschaft) und künstliche (Produktionsanlage) Umgebungen und die darin enthaltenen Objekte in realistisch anmutender Qualität und Schnelligkeit berechnen und darstellen kann. Dazu erhält der Benutzer die Möglichkeit der Interaktion, z.B. zum Navigieren. Zur Darstellung der Bilder können Head Mounted Displays (HMD) oder 3D Projektionsdisplays, wie sie z.B. die Firma TAN [A-32] unter den Bezeichnungen "Stereovision" oder "CubeTM" herstellt, genutzt werden.

Anwendungsgebiete: Virtuelle Produktentwicklung; Vertriebs- und Service-Dokumentationen; Computerspiele

- “Erweiterte Realität (Augmented Reality)“

Benutzeroberfläche, die es erlaubt, Bilder verschiedenen Ursprungs und aus verschiedener Perspektive aufgenommen, zur Deckung zu bringen, überlagert darzustellen und eine Manipulation durch den Anwender zu ermöglichen [13]. Beispiele: Realer Patient und Röntgenaufnahme mit dem Zweck eine Biopsienadel an den Krankheitsherd zu bringen; Reale Rohrleitungen, die in einem Gebäude nur teilweise sichtbar sind und Blaupausen um einen Defekt an einer bestimmten Leitung vorzunehmen und dafür den Fehlerort zu lokalisieren.

3 Industrielle Bildverarbeitung: Komponenten und Systeme

In diesem Kapitel werden die einzelnen Komponenten eines Bildverarbeitungssystems mit ihrem technologischen Stand und abzusehenden technologischen Trends dargestellt. Führende deutsche Anbieter - Hersteller bzw. Vertriebsgesellschaften - werden angeführt und zum Schluß auf die Herstellersituation in Schleswig-Holstein eingegangen.

Ein Bildverarbeitungssystem für industrielle Anwendungen besteht aus den folgenden Komponenten bzw. einer Untermenge von ihnen, siehe Bild 3.1 :

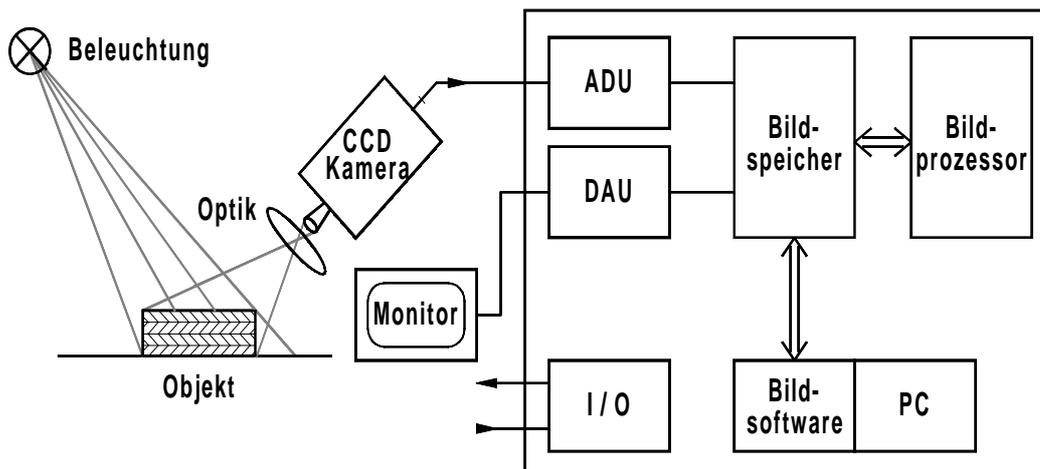


Bild 3.1: Struktur eines Bildverarbeitungssystems

- Beleuchtungseinrichtung
- Abbildungsoptik
- Sensor (primär opto-elektronische Wandler, d.h. Halbleiter-Kameras)
- Framegrabber (Bildspeicher, ADU, DAU)

- Bildprozessoren
- Rechner mit Betriebssystem
- Bildsoftware
- Interfaces zur Ansteuerung von Aktoren
- Interfaces zur Erfassung weiterer Sensorsignale

3.1 Beleuchtungseinrichtung

3.1.1 Aufgabe und Stand der Technik

Ziel und Zweck der Beleuchtung ist es, eine elektromagnetische Strahlung so auf das Objekt/die Objekte zu richten, daß die reflektierte oder transmittierte Strahlung auf einen für die Wellenlänge geeigneten Sensor trifft und ein reproduzierbares Sensorsignal erzeugt. Eine optimale Wahl der Beleuchtung - Wellenlänge, Intensität, Art der Beleuchtung - erleichtert die elektronische und softwaremäßige Auswertung des erfaßten Bildes erheblich oder macht sie sogar erst möglich.

Der Anwender kann die Kombination aus Leuchtmittel (Strahlungsquelle) und Beleuchtungsart der Aufgabenstellung anpassen. Die überwiegend genutzten Beleuchtungsmittel sind Leuchtstofflampen, Halogenlampen, Laser und Leuchtdioden bzw. Leuchtdiodenfelder. Das bis heute am häufigsten eingesetzte Leuchtmittel ist die Halogenlampe. Sie zeichnet sich durch ein relativ kontinuierliches Spektrum und hohe Homogenität aus. Über Glasfaserlichtleiter und/oder Vorsätze lassen sich gezielte Beleuchtungen ausgewählter Objekte oder Objektteile erreichen. Aufgrund der hohen Intensität sind Halogenlampen für einen Blitzbetrieb (Blitzdauer im Mikrosekundenbereich) geeignet. Ein Nachteil der Halogenlampe besteht darin, daß ihre Intensität als Funktion der Zeit nachläßt.

Bei den Beleuchtungsarten wird zwischen Durchlicht und Auflicht unterschieden. Beim Durchlichtverfahren befinden sich das Beleuchtungsmittel und der Sensor auf unterschiedlichen Objektseiten. Im Falle von opaken Objekten wie Stanzteilen,

ist das entstehende Bild nahezu ein Schwarz-Weiß-Bild. Beim Auflichtverfahren befinden sich Leuchtmittel und Sensor auf der gleichen Objektseite. Im Falle einer Hellfeldbeleuchtung gelangt primär von der Objektoberfläche reflektiertes Licht auf den Sensor mit der Konsequenz, daß glatte Flächen hell und raue (lichtstreuende) Flächen dunkel im Bild erscheinen. Im Falle einer Dunkelfeldbeleuchtung gelangt primär gestreutes Licht auf den Sensor mit der Konsequenz, daß glatte Flächen dunkel und raue, unebene Flächen hell im Bild erscheinen. Deshalb ist die Dunkelfeldbeleuchtung zur Erkennung von Oberflächenfehlern, wie z. B. Kratzern, Rissen, Riefen oder Löchern geeignet. Dabei ist zu bedenken, daß die Sichtbarkeit der Oberflächenfehler von der Orientierung des einfallenden Strahles zur Riefe und zum Sensor abhängt. Abhilfe schafft eine diffuse Beleuchtung. Bei der Hellfeldbeleuchtung werden der Sensor und das Leuchtmittel gemäß Strahlengesetz für glatte Oberflächen (Leuchtmittel im Einfallswinkel, Sensor im Ausfallswinkel) angeordnet, bei der Dunkelfeldbeleuchtung gerade nicht (Sensor in kleinerem Winkel als der Ausfallswinkel).

Um ausgeprägte 3D Objekte schattenfrei darzustellen, wird das gerichtete Licht der Quelle durch das Zwischenschalten von mattiertem Glas diffus gemacht, so daß es ähnlich wie bei einem bewölkten Himmel von allen Richtungen auf das Objekt trifft.

Ein Beleuchtungsverfahren, welches die dreidimensionale Analyse von Objekten ermöglicht, ist das Lichtschnittverfahren (Triangulationsprinzip). Hierbei wird mittels geeigneter Optik ein Laserstrahl in einen Lichtstreifen aufgefächert und auf das Objekt projiziert. Der reflektierte Streifen - eine in Abhängigkeit von der Objektoberfläche verformte Linie - wird von einer Kamera erfaßt und aus ihren Koordinaten kann auf die Objektoberfläche rückgerechnet werden [8].

Beleuchtungseinrichtungen werden von vielen deutschen Anbietern vertrieben, u. a. den Firmen Stemmer [A-20], The Imaging Source [A-12] und Vision & Control [A-7].

Auf nichtoptische Strahlungsquellen wird im Kapitel 3.3 eingegangen.

3.1.2 Entwicklungstrends

Leuchtdioden, noch vor wenigen Jahren lichtschwach, nur rot leuchtend und relativ teuer, sind preiswerte Massenprodukte geworden. Sie sind heute für mehrere Wellenlängen (Farben) verfügbar. Sie strahlen mit hoher Intensität, nahezu monochrom und sie sind trägheitslos schaltbar.

Aufgrund ihres geringen Volumens lassen sich flächenhafte Diodenanordnungen beliebiger Form herstellen und die Dioden einzeln oder in Gruppen zeitlich sequentiell schalten. Auf diese Weise können für Auf- und Durchlichtbeleuchtungen den zu analysierenden Objekten angepaßte Leuchtmittel hergestellt werden. Zusätzlich lassen sie sich über die Wellenlänge dem Sensor und der Umgebung anpassen. Leuchtdiodenanordnungen werden die Leuchtmittel der Zukunft werden.

Beleuchtungseinrichtungen mit Leuchtdioden werden von den Firmen Vision & Control [A-7] und ISW [SH-2] angeboten.

Bei den Kaltlichtquellen - bisher überwiegend Halogenlampen - gibt es einen Trend zu Metaldampf-Entladungslampen, z.B. die Lampe HQI 9000 von der Firma Volpi [A-16]. Ihre Lichtausbeute liegt um ein Vielfaches höher als von Halogenlampen und ihr emittiertes Spektrum ist rein weiß (kein IR- und kein UV-Anteil). Sie werden ihr Einsatzgebiet mit Zeilenkameras bei extrem kurzer Belichtungszeit und mit Farb-Matrix-Kameras finden.

3.2 Abbildungsoptik

3.2.1 Aufgabe und Stand der Technik

Damit das zu erfassende Bild formatfüllend auf den Sensor abgebildet wird, muß ein optisches Abbildungssystem dem Sensor vorgeschaltet werden. Es besteht in der Regel aus einem Objektiv, eventuell ergänzt um Zwischenringe. Für Kameras gibt es eine Vielzahl von Objektiven unterschiedlicher Hersteller, wie z. B. von den

Firmen Jenoptik [A-25], Rodenstock und Tamron. Die Objektive der beiden zuletzt genannten Hersteller werden u.a. vertrieben durch die Distributoren Rauscher [A-41], Stemmer [A-20] und The Imaging Source [A-12]. Der Preis der Objektive hängt stark ab von der Qualität, d.h. wie gering ihre geometrischen und spektralen Verzerrungen sind. Objektive werden durch ihre Brennweite gekennzeichnet. Ist der Objekt- und Sensorgröße die für die Abbildung ideale Brennweite des Objektivs näherungsweise berechnen zu

$$\text{Brennweite} = \text{Sensordurchmesser} \cdot \frac{\text{Objektabs t a n d}}{\text{Objektdurchmesser}} .$$

Im praktischen Betrieb muß der Anwender bei dem eingesetzten Objektiv die Blendenöffnung optimieren zwischen hoher Lichtenergie auf dem Sensor (große Blendenöffnung, d.h. kleiner Blendenzahl) und erforderlicher Tiefenschärfe (kleine Blendenöffnung).

Für hochgenaues Dimensionelles Messen werden telezentrische Objektive benötigt, wie die Rodenstock Objektive, die z.B. The Imaging Source [A-12] anbietet, oder die VICOTAR Objektivserie, die Vision & Control [A-7] vertreibt. Bei telezentrischen Objektiven werden Objekte, unabhängig von ihrem Abstand zum Objektiv, auf die gleiche Sensorfläche, d.h. gleich groß, abgebildet. Mit ihnen können allerdings nur Objekte vollständig auf den Sensor abgebildet werden, deren Größe geringer als der Objektivdurchmesser (maximale Blendenöffnung) ist.

Von Interesse sind ebenfalls Superweitwinkelobjektive (Fischaugen). Ihr Aufnahmewinkel erreicht bis zu 360 Grad, wobei allerdings die Objekte geometrisch verzerrt abgebildet werden. Sie werden eingesetzt zur Vollständigkeitskontrolle (Fehlerinspektion) des Innenbereiches rotations-symmetrischer Teile.

Abbildungsoptiken werden auch zur Formung des Strahlenganges einer Strahlenquelle benötigt, z. B. zur Formung eines Lichtstreifens aus einem Laserstrahl. Diese Optiken werden nach Anwenderspezifikationen bei kleineren Optikherstellern entwickelt und produziert.

3.2.2 Entwicklungstrends

Lichtoptiken werden bei den Optikfirmen bezüglich der Merkmale Auflösung, Minimierung der Verzerrungen und Reduktion der Herstellkosten weiterentwickelt. Es sind keine für Bildverarbeitungsbelange spezifische Entwicklungstrends zu beobachten.

3.3 Bildgebende Systeme/Sensoren

3.3.1 Aufgabe und Stand der Technik

Elektronische Bilder entstehen durch Beleuchtung und die Wandlung von Strahlungsintensitäten in elektrische Signale. In Abhängigkeit von dem genutzten Wellenlängenbereich werden im Anwendungsgebiet Industrielle Bildverarbeitung folgende bildgebende Systeme unterschieden, siehe Tabelle 3.1.

System	Kenngröße
Röntgensystem	Wellenlänge 1 E-12 m bis 1 E-8 m
Ultra-Violett-System	Wellenlänge 1 E-8 m bis 3 E-7 m
Lichtoptisches-System	Wellenlänge 2 E-7 m bis 8 E-7 m
Infra-Rot -System	Wellenlänge 6 E-7 m bis 2 E-6 m
REM-System	Auflösung ca. 20 Angstroem
Ultraschallschallsystem	Frequenz 10 E4 Hz bis 10 E9 Hz

Tabelle 3.1: Bildgebende Systeme der Industriellen Bildverarbeitung

Röntgensysteme sind “ Durchlichtsysteme “, d.h. sie messen die von einem Objekt absorbierte Strahlung. In der Industriellen Bildverarbeitung werden sie zur zerstörungsfreien Prüfung von Werkstücken auf nicht zulässige Einschlüsse eingesetzt, von der Aufgabe her eine Vollständigkeitsprüfung, siehe Kapitel 4.2.4. Ihr Hauptanwendungsgebiet ist heute die Medizinische Bildverarbeitung. Dort werden sie allerdings durch den Menschen weniger strahlenbelastende Systeme wie Computer-Tomographie (CT)- , Magnetresonanz-Tomographie (MRT)- und Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Systeme abgelöst beziehungsweise ergänzt.

Ultraschallsysteme messen die von Objekteinschlüssen reflektierte Strahlung. Sie werden wie die Röntgensysteme überwiegend in der Medizinischen Bildverarbeitung eingesetzt. Ihr Anwendungsgebiet in der Industriellen Bildverarbeitung entspricht dem der Röntgensysteme.

In Betrieben werden Röntgen- als auch Ultraschallsysteme heute wegen des technischen Aufwandes, des geringen Durchsatzes und der Kosten nicht in der Fertigung selbst, sondern in den der Fertigung angegliederten Labors eingesetzt.

Rasterelektronenmikroskope werden nur dann in der Industriellen Bildverarbeitung genutzt, wenn auf die geometrische Auflösung nicht verzichtet werden kann. Dies

trifft u.a. zu bei der Vollständigkeitsprüfung von Integrierten Schaltungen in der Halbleiterindustrie.

Lichtoptische Systeme sind die verbreitetsten bildgebenden Systeme. Als optoelektronische Wandler werden CCD-Sensoren in Matrix- und Zeilenkameras eingesetzt. Typische Kenngrößen heutiger CCD-Matrix-Kameras sind in Tabelle 3.2 aufgelistet.

Kenngröße	Wert
SensorgroÙe	1/2 Zoll, 2/3 Zoll
Bildpunktzahl	768 x 582
BildpunktgröÙe	8 x 8 μm x μm
Empfindlichkeit	0,5 Lux
Belichtungszeit	3 μs bis 10s
Bildpunktakt	15 MHz
Video Ausgang	analog, CCIR, 2 Halbbilder oder 1 Vollbild

Tabelle 3.2: Kenngrößen von CCD-Matrix-Kameras

CCD-Zeilensensoren gibt es heute mit 2000 Bildpunkten, für die Oberflächenprüfung von Bahnen werden auch Zeilenkameras mit 8000 Bildpunkten oder mehr eingesetzt. CCD-Matrix-Kameras mit 1300x1000 Bildpunkten sind ebenfalls verfügbar.

CCD Kameras werden in Deutschland hergestellt, u.a. von Basler [SH-1], Produkte ausländischer Hersteller wie Sony oder Panasonic werden von Distributoren wie Rauscher [A-41] und Stemmer[A-20] angeboten.

3.3.2 Entwicklungstrends

Ein Trend bei Kameras geht weg von analogen und hin zu digitalen Videoausgangsschnittstellen, wobei die Schnittstelle einen ersten Standard, nämlich den IEEE 1394, erfüllt. Es werden Kameras mit 8-10 bit/ Bildpunkt Auflösung angeboten und erste sogar mit 12 Bit/ Bildpunkt, so die Kamera Photometrics Sensys von Roper [A-1], die CX-Serie von Baumer Optronics [A-3] oder die DVT Serie 600 von Stemmer [A-20]. Bei diesen Kameras können die Belichtungszeit, der Intensitäts-Offset und die Verstärkung über eine V24 Schnittstelle vom Rechner eingestellt werden. Der Scanvorgang kann zu einem beliebigen Zeitpunkt gestartet werden. Es ist zu erwarten, daß die Bildwiederholrate von heute 20-30 Bildern pro Sekunde auf über 100 Bilder pro Sekunde steigen wird.

Ein zweiter Trend besteht in der Entwicklung von CMOS-Kameras, die die CCD-Kameras in vielen Anwendungsgebieten ersetzen werden. Matrix-Vision [A-2] hat CMOS Kamera mit dem Namen Mvcam-PCMOS angekündigt, die Firma Basler [SH-1] will kurzfristig eine auf den Markt bringen. Vorteile von Kameras mit CMOS Sensoren sind:

- ◆ der größere Dynamikbereich mit logarithmischer Kennlinie, was bedeutet, daß Bilddetails in extrem hellen und sehr dunklen Bildbereichen erkennbar werden. CCD-Kameras überstrahlen in diesen Bereichen bzw. bleiben dunkel.
- ◆ es kann auf alle Pixel wahlfrei zugegriffen werden, d.h. der Sensor verhält sich wie ein Bildspeicher, dessen Inhalt ständig aktualisiert wird.
- ◆ Sensor und Elektronik können auf einem Substrat integriert werden, da sie die gleiche Technologie besitzen.

Ein dritter Trend geht dahin, daß eine Beleuchtungsquelle aus Leuchtdioden in das Kameragehäuse integriert wird.

Auf einen Trend bei nichtoptischen bildgebenden Systemen soll hingewiesen werden. Die US-Firma Aracor entwickelt einen Computer Tomographen mit entsprechender Software für industrielle Anwendungen. Er soll zur Vollständigkeitsprüfung (Inspektion) des inneren Aufbaus von Motoren eingesetzt werden.

3.4 Framegrabber

3.4.1 Aufgabe und Stand der Technik

Framegrabber haben die Aufgabe, das analoge Ausgangssignal des bildgebenden Systems über einen Analog-Digital-Umsetzer in ein digitales umzusetzen - in der Regel mit 8 Bit pro Bildpunkt und Farbwert -, die digitalen Bilder in einem Bildspeicher abzulegen und die gespeicherten Bilder über einen Digital-Analog-Umsetzer auf einem TV-Monitor wiederzugeben. Der Bildspeicher ist über einen Datenbus an einen Prozessor gekoppelt. Ferner erzeugt der Framegrabber die für die Abtastung des Bildgebersignals erforderlichen Taktsignale und die für die Bildwiedergabe erforderlichen Synchronsignale. Häufig sind am Speichereingang und am -Speicherausgang Look-Up-Tabellen zur Modifikation der Bildpunkte angeordnet. Typische Merkmale von Framegrabbern und deren Werte sind in der Tabelle 3.3 aufgeführt.

Merkmal	Wert / Kennzeichnung
(Video) Signaleingänge	analog (CCIR u.a.), digital
Abtastrate	15 MHz (40 MHz)
Bildspeichergröße	1024 x 1024
Bildspeichertiefe	8 Bit oder Vielfaches
Rechnerinterface (Datenbus)	PCI (Intel) oder VME (Motorola)
Videoausgang	CCIR

Tabelle 3.3: Merkmale eines Framegrabbers

Framegrabber werden von einer Vielzahl von Firmen angeboten. Durchgesetzt haben sich u.a. die Produkte von Matrox [A-13], Data Translation [A-14] und ITI [A-15], alle als Einsteckkarten für PC's verfügbar. Deutsche Produkte sind u.a. die Picport-Serie von Leutron [A-4] und die DFG-Serie von The Imaging Source [A-12], beide ebenfalls für PC's mit PCI-Interface und die Framegrabber von Eltec [A-11] für VME-Bus Rechner.

3.4.2 Entwicklungstrends

In dem Maße wie sich digitale Kameras durchsetzen, wird die Anzahl von Framegrabbern mit digitalen Eingängen aus Kostengründen zunehmen. Die am Markt agierenden Hersteller von Framegrabbern werden sich auf diese Produkte umstellen.

Es ist zu erwarten, daß der Datenaustausch über die I/O-Schnittstellen (Datenbus) um den Faktor 10-50 zunehmen muß, um den Bildwiederholraten zukünftiger Kameras folgen zu können. Ferner wird sich eine Standardisierung der I/O Schnittstellen durchsetzen.

Im Gegensatz zu Framegrabbern, die für bildanalytische Aufgaben eingesetzt werden, benötigen Framegrabber für Multimedia Anwendungen keine sehr hohe geometrische Bildpunktpositionsstabilität, so daß diese kostengünstiger hergestellt werden können.

3.5 Bildprozessoren

3.5.1 Aufgabe und Stand der Technik

Bildoperationen, speziell Bildtransformationen zur Bildverbesserung, Segmentierung und Postsegmentierung sowie Klassifikationsalgorithmen laufen in rein PC basierten Bildanalyzesystemen zu langsam ab. Deshalb werden Bildprozessoren zur Beschleunigung eingesetzt. Neben reinen Hardwareprozessoren für eine spezifische Aufgabe werden häufig digitale Signalprozessoren eingesetzt, die physikalisch auf der Framegrabberkarte zu finden sind. Beispiele sind die Viper Serie von Coreco [A-17], die MVS 3x-Serie mit fünf digitalen Signalprozessoren (DSP's) von Visicontrol [A-10] und die Framegrabber von Cosyco [A-8], Matrox [A-13] und Strampe [A-18]. Es werden auch Systeme mit Parallel- oder Pipeline-Prozessor Architektur angeboten.

3.5.2 Entwicklungstrends

Obwohl die Taktrate der PC's kontinuierlich zunimmt, wird es auch in Zukunft Bildanalyzesysteme geben, die aus Durchsatzgründen Onboard-Bildprozessoren zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit benötigen. Diese, als Asics entwickelten Bausteine werden Bildverarbeitungsalgorithmen um den Faktor 10-50 gegenüber reinen PC Lösungen erhöhen.

3.6 Rechner und Betriebssysteme

3.6.1 Aufgabe und Stand der Technik

Der Rechner mit Betriebssystem dienen als Entwicklungsumgebung für die Bildsoftware und zum Interfacen mit Prozeßeinheiten.

Für PC's mit Intel-Prozessoren wird die größte Anzahl von Bildverarbeitungseinsteckkarten (Framegrabber und Bildprozessoren) angeboten, wobei der PCI-Bus überwiegend zur Integration genutzt wird. Danach folgen VME-Bus Rechnersysteme mit Motorola-Prozessoren. In Forschungsinstituten sind auch Workstations, Transputersysteme und Großrechner als Bildverarbeitungsrechner anzutreffen.

Als Betriebssysteme sind, korrelierend zu den Rechnerprozessoren, überwiegend die Microsoft-Windows-Betriebssysteme Windows 95, Windows 98 und Windows NT anzutreffen. Mit Abstand folgen die Betriebssysteme OS 2, OS 9 und QNX.

3.6.2 Entwicklungstrends

Die technische Leistungsfähigkeit der PC's nimmt jährlich zu, und zwar die Systemparameter: Mächtigkeit und Umfang des Prozessor-Befehlssatzes, Höhe der Prozessor-Taktrate, Funktionsumfang und Durchsatz der Grafikkarte, Speichergröße und Speicherzugriffszeit. Diese Entwicklung wird getrieben durch Anwendungen wie Computerspiele, Bürosoftware und Multimedia.

3.7 Bildsoftware

3.7.1 Aufgabe und Stand der Technik

Die Leistungsfähigkeit eines Bildverarbeitungssystems wird in erheblichem Maße von der verfügbaren Bildsoftware bestimmt. Unter Leistungsfähigkeit wird hier verstanden die Mächtigkeit und Robustheit der verfügbaren Algorithmen, die interaktive Nutzbarkeit der Software-Module mittels einer interpretativen

Makrosprache für die Programm Entwicklungsphase (Entwicklungsumgebung) und die problemlose Übernahme der in der Entwicklungsphase erarbeiteten Sequenz von Befehlen in ein Zielsystem (Run Time Version). Ferner gehört dazu die Verfügbarkeit einer Schnittstelle, die die Integration und Testbarkeit zusätzlicher Hardware, z. B. von Speicher Programmierbaren Steuerungen mit Aktoren auf einfache Art und Weise zulässt. Wünschenswert ist auch die Lauffähigkeit der Software auf verschiedenen Betriebssystemen, neben Windows Varianten auch auf OS 9.

Die heute angebotenen Bildsoftwares erfüllen die Anforderungen teilweise, so z. B.:

- Inspektor / MIL (Matrox Image Library) von der Firma Matrox [A-13],
- Neuro Check von der Firma ds[A-9],
- Halcon von der Firma IDS [A-],
- DT Vision Foundry von der Firma Data Translation [A-14],
- Ad Oculus von der Firma The Imaging Source [A-12].

Die Produkte Neuro Check, Halcon und Ad Oculus sind in Deutschland entwickelt worden.

3.7.2 Entwicklungstrends

Bildverarbeitungs-Algorithmen müssen schnell ablaufen, genaue Ergebnisse produzieren und eine hohe Wiederholbarkeit besitzen. Diese Anforderungen werden bisher nicht in einem ausreichenden Maße erfüllt. Hauptprobleme, die die Wirksamkeit der Algorithmen einschränken, sind eine unvollkommene, zeitlich veränderliche Objektausleuchtung, eine Empfindlichkeit der Algorithmen gegenüber Drehlage der Objekte und eine Empfindlichkeit gegenüber veränderlichen Objektgrößen. Es werden Ansätze verfolgt, um diesen Nachteilen zu begegnen, so die normierte Grauwertkorrelation kombiniert mit einer objektorientierten Geometriebeschreibung. Beispiele hierfür sind die Pat Max Software der Firma Cognex [A-6] oder die neueste Version der MIL Software von Matrox [A-13]. Letztere kann beliebig orientierte Objekte von der Größe 32x32

Pixel² mit einer Translationsunsicherheit von 0,025 Pixel und Rotationsunsicherheit von 0,1° auffinden.

3.8 Anwendungunspezifische Bildverarbeitungssysteme

3.8.1 Stand der Technik

Anwendungunspezifische Systeme (Kamera, Framegrabber, Rechner mit Betriebssystem und Bildsoftware als Einheit) werden von einzelnen Herstellern und Vertriebsgesellschaften angeboten. Hauptabnehmer für derartige Systeme sind Industrie-, Hochschul- und öffentliche Forschungslabors, also Abteilungen, die mehrere unterschiedliche bildanalytische Aufgabenstellungen bearbeiten. Die Praxis zeigt, daß gerade diese Stellen ein Bildverarbeitungssystem durch Erwerb von Komponenten selbst durch Integration realisieren.

3.8.2 Entwicklungstrends

Die Kosten für die Beschaffung eines Bildverarbeitungssystems haben bisher einen höheren Einsatz behindert. Deshalb gehen immer mehr Hersteller dazu über, die PC-Peripherie eines Standardsystems incl. Framegrabber zu reduzieren und die verbleibenden Komponenten Prozessor mit Firmware und I/O Hardware (RS 232 Interface und Monitoranschluß) in das Kameragehäuse zu integrieren. Eine für eine Anwendung entwickelte Software wird in dem EPROM gespeichert und vor Ort für den spezifischen Einsatz parametrieren. Ein weiterer Entwicklungsschritt besteht darin, Embedded Prozessoren auf der Basis digitaler Signalprozessoren oder Power PC Derivaten mit eigenen Betriebssystemen und Softwaremodulen in das Kameraplatinenlayout zu integrieren. Das entstehende Produkt wird als " Intelligente Kamera " zu erheblich geringeren Preisen als ein Standardsystem vermarktet, siehe das Penti Cam System von Leutron [A-14] und die VC Serie von Vision-Experts [A-19].

Für die Entwicklung von Bildsoftware, die Implementierung komplexer Algorithmen

oder hohe Durchsatzanforderungen kann auf das konventionell aufgebaute System nicht verzichtet werden.

3.9 Anbieter und Hersteller in Schleswig Holstein

In der Tabelle 3.4 ist dargestellt, welche Anzahl Hersteller und Anbieter von Komponenten für Bildverarbeitungssysteme in Deutschland anzutreffen sind und welche Anzahl jeweils den Firmensitz in Schleswig-Holstein hat.

	Deutschland		Schleswig-Holstein	
	Hersteller	Anbieter	Hersteller	Anbieter
Beleuchtungs einrichtungen	>3	>10	1	1
Abbildungs optiken	>3	>5	–	–
Kameras	5	>25	1	1
Frame- grabber	<5	>10	–	–
Bild- prozessoren	<5	>5	–	–
Bild- software	<5	>10	–	–
Anw.- <u>un</u> spez. Systeme	>5	>5	–	–

Tabelle 3.4: Hersteller und Anbieter

Die Tabelle zeigt, daß in Schleswig-Holstein nur zwei Anbieter auf dem Markt für Komponenten von Bildverarbeitungssystemen tätig sind. Es sind die Unternehmen m.u.t. und ISW, auf die beide in Kap. 4.3 eingegangen wird.

Ein Grund für die geringe Anzahl ist sicherlich, daß der lokale Abnehmermarkt bezogen auf Deutschland zu vernachlässigen ist.

4 Industrielle Bildverarbeitung: Maschinensehen

4.1 Einführung

Unter Maschinensehen- englisch: Machine Vision - wird hier verstanden:

Systeme, die mit nicht berührenden Sensoren ein digitales Bild erzeugen, visuell darstellen und automatisch oder mit minimaler Anwenderinteraktion auswerten und zwar unter industriellen Umgebungsbedingungen (produzierende Betriebe) sowie unter Einhaltung technischer und ökonomischer Rahmenbedingungen. Durch den Einsatz der Systeme in seinen Produktionslinien erhält der Anwender quantitative Aussagen über die Qualität der produzierten Produkte und/oder Kennwerte, die er zur Optimierung seiner Produktionsprozesse nutzen kann.

Der Anwender erhöht die Produkt- und Prozess- Qualität und erreicht gleichzeitig durch die Rationalisierung eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und eine Reduzierung der Belastung der Mitarbeiter am Arbeitsplatz, die zuvor die Prüfung vornahm. Das in der Vergangenheit zur Prüfung eingesetzte menschliche Auge wird überfordert bei hohen Stückzahlen, kombiniert mit immer höheren Prozess-Taktraten, exakte und reproduzierbare Meßergebnisse zu erzeugen. Die Bildverarbeitung ersetzt die monotone und daher auch stark ermüdende visuelle Kontroll- und Prüftätigkeit.

Die Erhöhung der Produkt- und Prozess- Qualität haben das Maschinensehen zu einer Schlüsseltechnologie werden lassen, die die Wettbewerbsfähigkeit der Anwender sichert. Das Anwendungsgebiet Maschinensehen hat in nahezu allen Industriebranchen Fuß gefaßt, das mittlere jährliche Umsatzwachstum liegt höher als 15%. Experten schätzen, daß bis heute erst weniger als 20% der abschätzbaren Anwendungen Industrieller Bildverarbeitung erschlossen sind [5]. In Kapitel 4.2 wird auf den Markt des Maschinensehens eingegangen.

Folgende Aufgabenstellungen für Systeme des Maschinensehens lassen sich, unabhängig von der Industriebranche in der sie eingesetzt werden, unterscheiden:

- Kennzeichnungsidentifikation
- Positionserkennung (Form und Lageerkennung für Roboter)
- Dimensionelles Messen
- Vollständigkeitsprüfung
- Oberflächeninspektion

Die Kennzeichnungsidentifikation und die Positionserkennung dienen primär der Verbesserung der Prozessqualität und damit der Kostenreduktion, dadurch daß sie die den Automatisierungsgrad bzw. die Zuverlässigkeit (Prozeßgenauigkeit) erhöhen.

Dimensionelles Messen, Vollständigkeitsprüfung und Oberflächeninspektion führen zu einer Erhöhung der Produktqualität, da sie an Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit personengebundenen Inspektionen überlegen sind und eine 100% Inspektion wirtschaftlich ermöglichen.

In der Praxis zeigt sich, daß von den Systemen erwartet wird, daß sie mehrere der obigen Aufgaben gleichzeitig lösen können, bzw., daß eine Aufgabe Bestandteil einer anderen ist.

4.2 Der deutsche Markt für Maschinensehen

Als Markt wird hier der Abnehmermarkt für Systeme des Maschinensehens in Deutschland bezeichnet. D.h. es werden die Marktkenngrößen (Umsätze, Stückzahlen) angegeben, die mit Systemen in Deutschland erzielt werden/wurden, unabhängig davon, ob der Hersteller der Systeme ein deutscher ist oder ob die Systeme von einem ausländischen Hersteller stammen. Im Gegensatz dazu existiert der deutsche Herstellermarkt für Systeme des Maschinensehens. Er erfaßt Marktkenngrößen deutscher Hersteller von Systemen, unabhängig davon, ob die Systeme Unternehmen in Deutschland verkauft oder exportiert werden.

Die im weiteren benutzten Marktkenngrößen sind, soweit nicht anders ausgewiesen, der Marktstudie "European Industrial Vision Systems Markets 1999"

von Frost&Sullivan [4] entnommen. Diese erfaßt nur Systeme, die in der Produktion von Unternehmen und Betrieben eingesetzt werden. Sortieranlagen, Sicherheitssysteme und andere mehr sind nicht erfaßt. Ebenfalls nicht erfaßt sind Systeme, die Unternehmen herstellen und nur in der eigenen Produktion einsetzen, z.B. Philips.

Allgemeine Kenngrößen des deutschen Marktes und deren Trends enthält Tabelle 4.1.

Marktkenngröße	Wert	Trend
Marktvolumen 1999 in Mio. DM	420	zunehmend
Änderung 99/98	+17.3%	zunehmend
mittlere Änderung (1999-2006)*	+19.2%	
Marktvolumen 2006 in Mio. DM*	1440	
Marktvolumen 1999 in Einheiten	6800	zunehmend
Mittlerer Systempreis 1999 in DM	62000	abnehmend
Technologieentwicklung	sehr hoch	gleichbleibend
Anzahl Anbieter 1999	60-80	zunehmend

Quelle : Frost & Sullivan

Tabelle 4.1: Deutscher Markt für Maschinensehen (* = Schätzwerte)

Die positive Einschätzung der Entwicklung des deutschen Marktes für das Maschinensehen basiert einerseits auf dem prognostizierten Wirtschaftswachstum in Deutschland verknüpft mit der Notwendigkeit der Rationalisierung und andererseits darauf, daß erst weniger als 20% der Anwendungen der Bildverarbeitung erschlossen sind.

Tabelle 4.2 gibt die Marktentwicklung Maschinensehen für die Jahre 1996-2006 nach Umsätzen und Stückzahlen wieder.

Jahr	Umsatz (Mio. DM)	% Änderung	Anzahl Systeme	%Änderung
1996	267	---	3400	---
1997	308	15,4	4200	23,5
1998	360	16,3	5300	26,2
1999	420	17,3	6800	28,3
2000	497	18,0	8800	29,4
2001	589	18,6	11300	28,4
2002	701	19,0	14300	26,5
2003	817	19,4	18000	25,3
2004	1002	19,6	22500	25,0
2005	1200	19,8	27900	24,0
2006	1440	19,9	34300	18,6

Quelle: Frost & Sullivan

Tabelle 4.2: Marktentwicklung Maschinensehen (Umsatz und Stückzahlen)

In Bild 4.1 ist die Umsatzentwicklung des Marktes Maschinensehen als Graphik dargestellt.

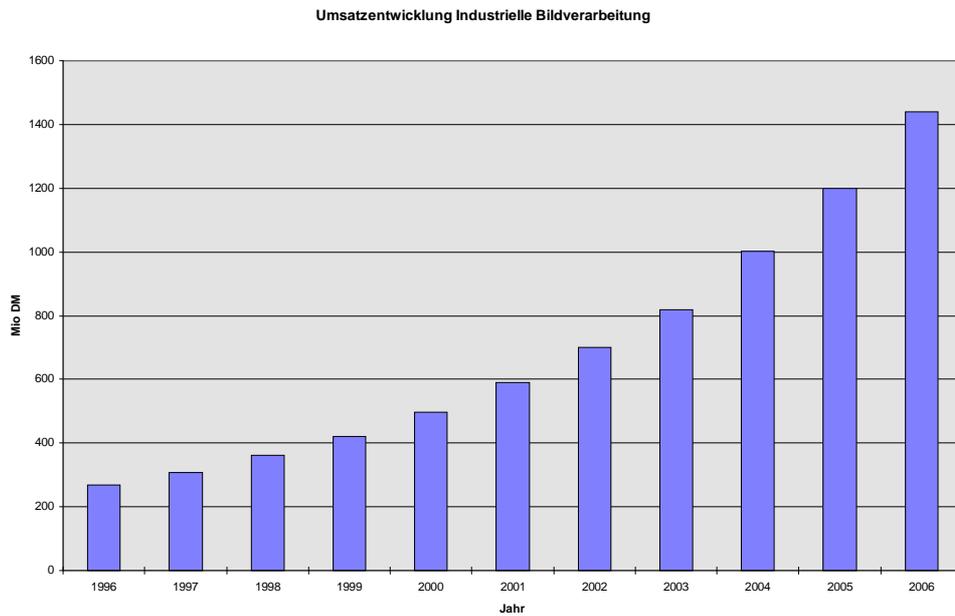


Bild 4.1: Umsatzentwicklung Markt Maschinensehen

Bild 4.2 gibt die Stückzahlentwicklung des Marktes Maschinensehen wieder.

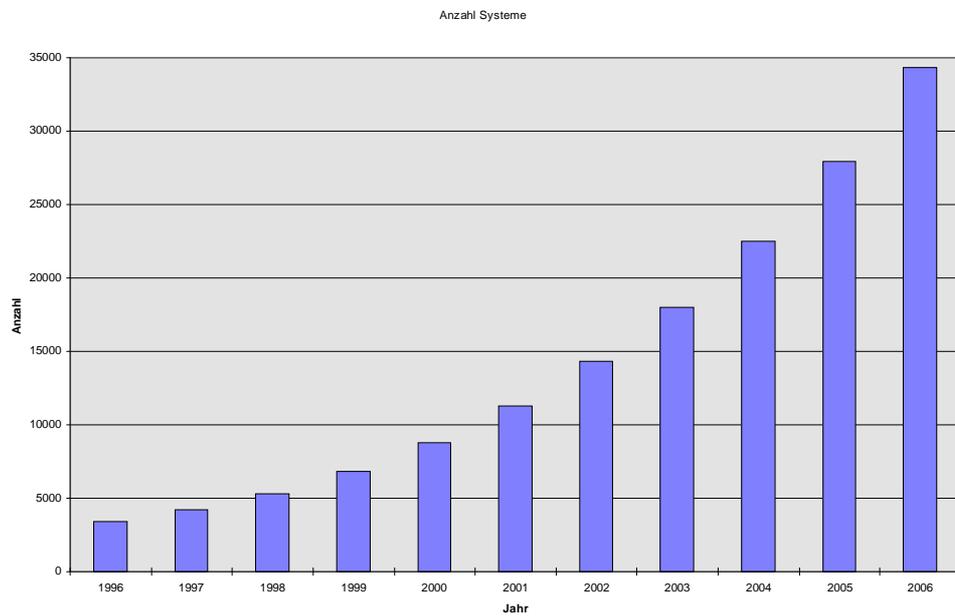


Bild 4.2: Stückzahlentwicklung Markt Maschinensehen

Jahr	Kennzeichnungs- identifikation	Positions- erkennung	Dimensionelles Messen	Vollständig- keitsprüfung	Oberflächen- inspektion
1996	11,2	18,1	44,8	8,8	17,1
1997	11,1	18,3	43,9	8,5	18,1
1998	11,0	18,6	43,1	8,3	19,1
1999	10,8	18,8	42,1	8,1	20,1
2000	10,6	19,0	41,1	8,0	21,2
2001	10,3	19,3	40,2	8,0	22,4
2002	9,8	19,5	39,2	8,0	23,4
2003	9,3	19,7	38,3	8,1	24,5
2004	8,8	19,9	37,4	8,3	25,6
2005	8,2	20,1	36,6	8,6	26,6
2006	7,6	20,3	35,7	8,9	27,6

Quelle : Frost & Sullivan

Tabelle 4.3: Marktentwicklung Maschinensehen nach Segmenten

Die Verteilung des Marktes Maschinensehen auf die Segmente Kennzeichnungsidentifikation, Positionserkennung, Dimensionelles Messen, Vollständigkeitsprüfung und Oberflächeninspektion zeigt Tabelle 4.3 und als Graphik Bild 4.3.

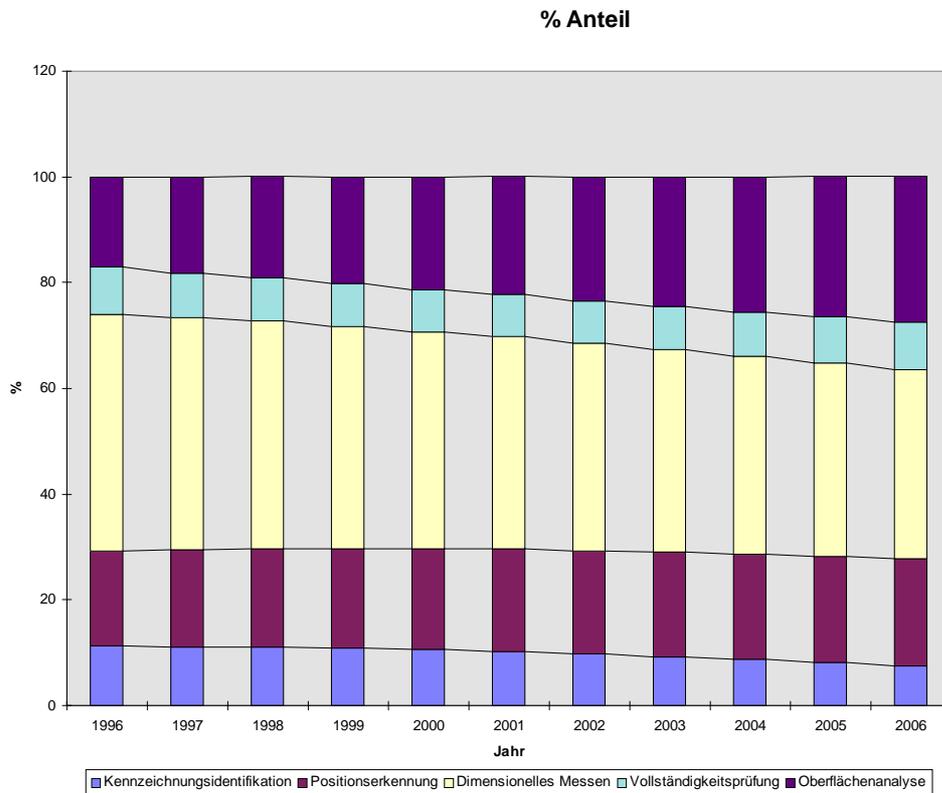


Bild 4.3: Marktentwicklung Maschinensehen nach Segmenten

In Deutschland werden Systeme zum Maschinensehen primär von kleinen und mittelgroßen Unternehmen hergestellt und vertrieben. Hinzu kommen einige große international tätige Unternehmen.

Branchenmäßig gesehen sind die größten Abnehmer von Systemen zum Maschinensehen:

- * Elektronik-und Halbleiter-Industrie
- * Automobil- und Automobilzuliefer-Industrie
- * Maschinenbauindustrie

Wirtschaftliche Erfolgsfaktoren für die Hersteller von Systemen zum Maschinensehen sind:

- ◆ Technologische Kompetenz
- ◆ Anwendungsknowhow und Servicekompetenz
- ◆ Systemleistung
- ◆ Systempreis.

4.2.1 Kennzeichnungsidentifikation

Zu einer Optimierung des Materialflusses, der Fertigungssteuerung, der Lagerhaltung und der Qualitätskontrolle ist die automatische Identifikation von Produkten, Werkstücken oder Komponenten unverzichtbar. Kennzeichnungen zur Identifikation oder der Unterscheidung von Produkten oder Komponenten können hierbei sein:

- Klarschrifttext (Buchstaben und Zahlen)
- Barcodes
- Matrixcodes (Data Matrix Code)
- Farbkennzeichnungen
- Eingelernte Teile/Muster.

Bekannte Beispiele für die Identifikation von Produkten sind:

- Barcodes auf Lebensmittel- oder Pharmaverpackungen (kodiert können in diesem Fall sein der Preis, das Verfallsdatum, der Herstellungsort , die Chargennummer, u.a.)
- Klarschrifttext auf Produkten der Automobilzulieferindustrie, wie z. B. Zündkerzen (Typenkennzeichnung)
- Barcodes oder Matrixcodes auf Produkten und Baugruppen der Halbleiter- und Elektronik-Industrie

- Farbringe auf Widerständen der Elektronikindustrie
- Eingelernte Teile bei der automatischen Kleinteile-Zuführung und -Sortierung in Montageanlagen und Teilelagern.

Jahr	Umsatz (Mio. DM)	% Änderung	Anzahl Systeme	% Änderung
1996	15,0	---	500	-
1997	17,1	14,2	600	20,0
1998	19,7	14,9	800	33,3
1999	22,8	15,8	1000	25,0
2000	26,3	15,4	1300	30,0
2001	30,2	14,9	1600	23,0
2002	34,5	14,2	2000	25,0
2003	39,2	13,4	2400	20,0
2004	44,1	12,6	2800	16,6
2005	49,2	11,7	3300	17,8
2006	54,6	10,8	3700	12,1

Quelle . Frost & Sullivan

Tabelle 4.4: Marktentwicklung Kennzeichnungsidentifikation (Umsatz und Stückzahlen)

Barcodes waren lange Zeit das etablierte Verfahren zur Kodierung von Schrift zum Zwecke der einfacheren, automatischen Lesbarkeit im Vergleich zu Klarschrift. Heute nimmt die Bedeutung von Matrixcodes stark zu. Sie haben gegenüber Barcodes den Vorteil, daß pro Flächeneinheit mehr Informationen

untergebracht werden können und die Matrixcodes unter einem größeren Winkelbereich gelesen und geschrieben werden können.

Systeme zur Kennzeichnungsidentifikation werden z. B. von der Firma Bosch [A-22] unter den Namen BIK und LIMES hergestellt und vertrieben.

Die Entwicklung des Marktsegmentes Systeme zur Kennzeichnungsidentifikation in Deutschland wird umsatzmäßig und stückzahlmäßig wie in Tabelle 4.4 festgehalten eingeschätzt. Bild 4.4 gibt den Sachverhalt graphisch wieder.

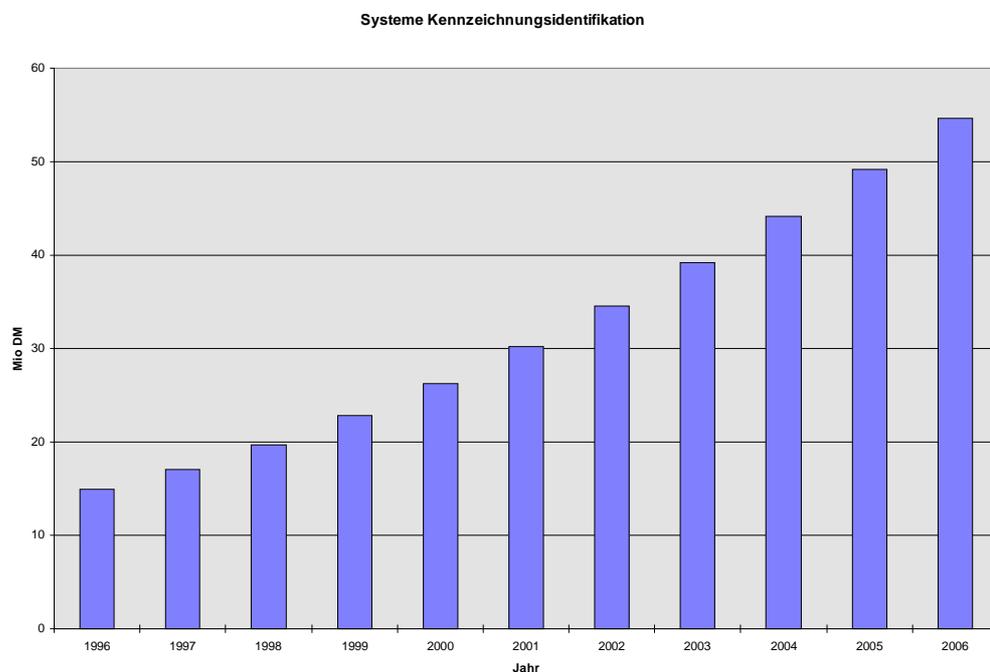


Bild 4.4: Umsatzentwicklung Kennzeichnungsidentifikation

Der Markt für Systeme zur Kennzeichnungsidentifikation wächst in der Vorhersageperiode, da der Bedarf in den Branchen Elektronik, Halbleiter, Automobilbau und Maschinenbau ansteigt und durch die Pharmazie sogar erweitert wird. Allerdings reduzieren Marktsättigungseffekte die jährliche prozentuale Wachstumsrate. Über die gesamte Periode ergibt sich ein mittleres Wachstum von 13,3%. Es wird erwartet, daß der mittlere Preis eines Systems von ca. 60 TDM (1996) auf ca. 30 TDM im Jahre 2006 sinkt.

4.2.2 Positionserkennung (Robot Vision)

Systeme zur Positionserkennung können als sehende Sensoren für einen Roboter, ein Handling- oder ein Zuführ-System betrachtet werden. Sie identifizieren ein Objekt anhand seiner Geometrie, ermitteln seine Position, einen für die Aufgabe des Roboters charakteristischen Objektpunkt, z. B. den Greifpunkt, und führen den Roboterarm kollisionsfrei zu diesem. Sie ermöglichen damit dem Roboter eine Funktion auszuüben, zu der er ohne Sensor nicht in der Lage gewesen wäre. Anwendungen hierfür sind:

- die Schweißnahtverfolgung beim Bogenschweißen,
- das kontrollierte Aufbringen von Kleberaupen,
- das Palettieren oder Entpalettieren von Materialien und Produkten, so z. B. bei der Motorenfertigung und Montage in der Automobilindustrie
- das translatorische und rotatorische Alignment von IC-Kontakten für den Bond-Roboter.

Für Anwendungen, die einen hohen Durchsatz erfordern, werden Systeme zur Positionserkennung mit Bildprozessoren eingesetzt, da die Verarbeitungszeiten der PC-Prozessoren von rein framegrabberbasierten Systemen nicht ausreichen. Der amerikanische Hersteller Cognex [A-6] und der belgische Hersteller ICOS [A-23] sind die Marktführer für Systeme zur Positionserkennung. Als deutsche Hersteller sind die Firma QuISS [A-5] mit ihren Produkten 2DiVision und 3DiVision und ISRA [A-24] mit der ROVIS Produktreihe zu nennen.

Jahr	Umsatz (Mio. DM)	% Änderung	Anzahl Einheiten	% Änderung
1996	24,1	---	700	---
1997	28,3	17,2	900	28,5
1998	33,4	17,9	1200	33,3
1999	39,6	18,7	1600	33,3
2000	47,3	19,4	2100	31,2
2001	56,7	20,0	2700	28,5
2002	68,3	20,4	3500	29,6
2003	82,5	20,7	4500	28,6
2004	99,7	20,9	5700	26,6
2005	120,6	21,0	7200	26,3
2006	145,8	20,9	9000	25,0

Quelle : Frost & Sullivan

Tabelle 4.5: Marktentwicklung Robot Vision (Umsatz und Stückzahlen)

Das Marktsegment Positionserkennung in Deutschland wird umsatzmäßig und stückzahlmäßig für die Jahre 2000 bis 2006 wie in Tabelle 4.5 angegeben eingeschätzt. Bild 4.6 zeigt die Entwicklung des Marktsegmentes graphisch.

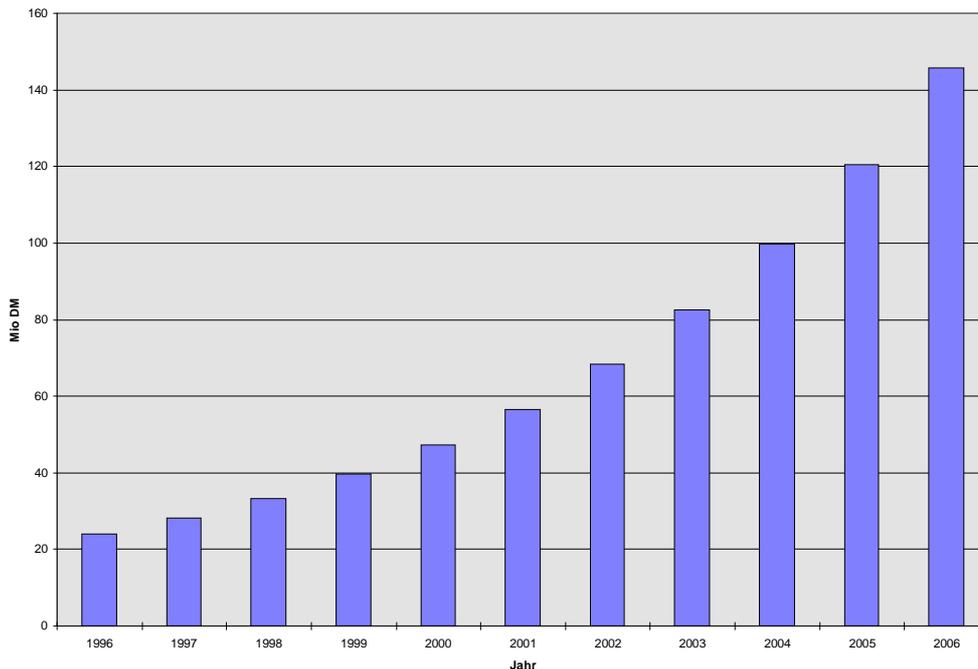


Bild 4.5: Umsatzentwicklung Segment Positionserkennung

Das Wachstum des Umsatzes in der Vorhersageperiode wird mit dem ständig steigenden Rationalisierungsbedarf in der Elektronik-, Halbleiter- und Automobilindustrie und der Zunahme der Leistungsfähigkeit (Intelligenz und Durchsatz) der Systeme zur Positionserkennung begründet.

Für die Vorhersageperiode ergibt sich ein mittleres Wachstum von 20,5%. Der mittlere Systempreis (ohne Roboter) wird von ca. 66 TDM in 1996 auf ca. 32 TDM in 2006 fallen.

4.2.3 Dimensionelles Messen

Bis heute überwiegen Systeme zur 1- und 2-dimensionalen Vermessung von geometrischen Merkmalen wie Längen, Durchmessern, Steigungen, Flächen oder daraus abgeleiteten Größen auf Teilen und Produkten. Die Anwendungsfälle reichen von der Prüfung der Leiterbahnbreiten integrierter Schaltkreise im Mikrometer- und Submikrometerbereich über die Messung der Gewindesteigung

von Schneckenantrieben im Millimeter- und Zentimeterbereich bis zur Breitenmessung von Blechen im Dezimeter- und Meterbereich.

Systeme zur 1- und 2d Vermessung werden zur Qualitätskontrolle in Produktionslinien und offline in Labors eingesetzt. Systeme zum berührungslosen Messen sind bezüglich der Leistungsparameter Meßgenauigkeit, Durchsatz und Flexibilität den mechanischen Meßsystemen überlegen.

Eine optimierte Beleuchtung, eine hochwertige telezentrische Optik, hochauflösende CCD-Kameras und sichere Korrekturalgorithmen lassen Meßunsicherheiten im Submikrometerbereich erreichen.

Die Systeme werden mit abnehmenden Umsatzanteil in den folgenden Industriebranchen eingesetzt :

- * Maschinenbauindustrie
- * Elektronik- und Halbleiterindustrie
- * Automobil- und Automobilzuliefer-Industrie
- * Lebensmittelindustrie

Die 3D Vermessung wird heute noch durch Systeme mit taktile Sensoren dominiert. Die Bedeutung der optischen 3D Vermessung hat allerdings in letzter Zeit erheblich zugenommen.

Zur berührungslosen Gewinnung von dreidimensionalen Meßdaten wird die Freiformfläche eines Objektes mit hochauflösenden CCD-Matrix-Kameras (eine Kamera oder ein Stereopaar) erfaßt. Zur 3D Konturberechnung werden photogrammetrische Verfahren, Lichtschnittverfahren oder Moireeverfahren eingesetzt. In [6] sind die einzelnen Verfahren beschrieben.

Der Markt für die optische 3D Vermessung wird stark wachsen, da die zu vermessenden Objekte immer kleiner werden und damit taktile Verfahren ausscheiden.

Der Umsatz mit optischen Systemen zur 3D Vermessung hat sich 1999 zu über 90% auf die folgenden Branchen verteilt :

- * Elektronikindustrie
- * Automobil- und Automobilzuliefer-Industrie
- * Maschinenbauindustrie
- * Luft- und Raumfahrt-Industrie.

Speziell für die Automobilzulieferindustrie wird ein wachsender Bedarf an optischen 3D-Systemen prognostiziert. Begründet wird die Aussage damit, daß individuelle Kundenwünsche in der Automobilausstattung zu einer hohen Teilediversifikation und einer ständig wechselnden Produktpalette führen werden und daß die Qualitätsanforderungen der Automobilhersteller an die Zulieferer weiter zunehmen werden. Heute werden bereits 83% der Teile vermessen, allerdings nur stichprobenhaft. Der Trend geht zu einer 100% online Vermessung, beginnend mit den Sicherheitsteilen. Die Anwender der berührungslos arbeitenden 3D Meßsysteme erwarten mehr Bedienerkomfort in der Software und im Maschinenhandling der Systeme [6].

Es wird geschätzt, daß der mittlere Systempreis von ca. 150 TDM im Jahre 1996 auf ca.93 TDM im Jahre 2006 fallen wird.

Die umsatzmäßige und stückzahlmäßige Entwicklung des deutschen Marktes für Systeme zum Dimensionellen Messen gibt die Tabelle 4.6 wieder. Bild 4.6 zeigt den Verlauf der Umsatzentwicklung graphisch.

Jahr	Anzahl Einheiten	Umsätze (Mio. DM)	% Änderung	% 1- u. 2 D Messen	% 3 D Messen
1996	1400	59,9	---	60,7	39,3
1997	1600	67,9	13,3	60,4	39,6
1998	2000	77,3	14,1	59,6	40,4
1999	2600	88,7	14,7	58,7	41,3
2000	3300	102,3	15,3	57,7	42,3
2001	4100	118,4	15,7	56,5	43,5
2002	5000	137,6	16,2	55,3	44,7
2003	6100	160,5	16,6	54,0	46,0
2004	7400	187,5	16,8	52,7	47,3
2005	8900	219,4	17,0	51,4	48,6
2006	10600	256,8	17,0	50,0	50,0

Quelle: Frost & Sullivan

Tabelle 4.6: Marktentwicklung Segment Dimensionelles Messen

Für die Jahre 1999 bis 2006 ergibt sich ein mittleres Umsatzwachstum von 15,4%, für 1D- und 2D-Systeme von 13,8% und für 3D-Systeme von 19,6%. Die prozentuale Verteilung des Umsatzes mit 1D-u.2D-Systemen und 3D-Systemen über die Jahre 1996 bis 2006 zeigt Bild 4.7.

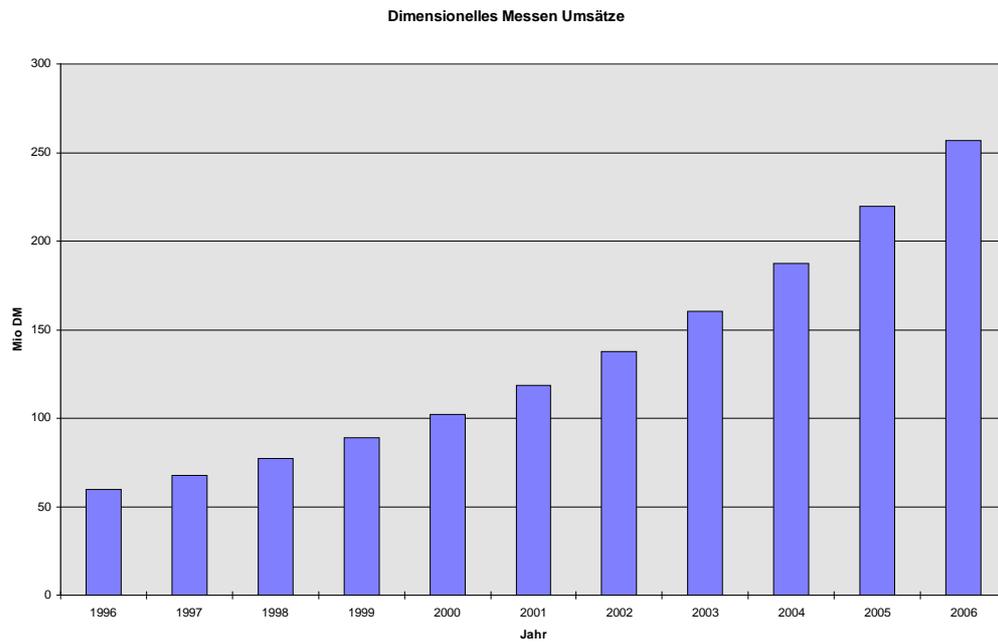


Bild 4.6: Umsatzentwicklung Segment Dimensionelles Messen

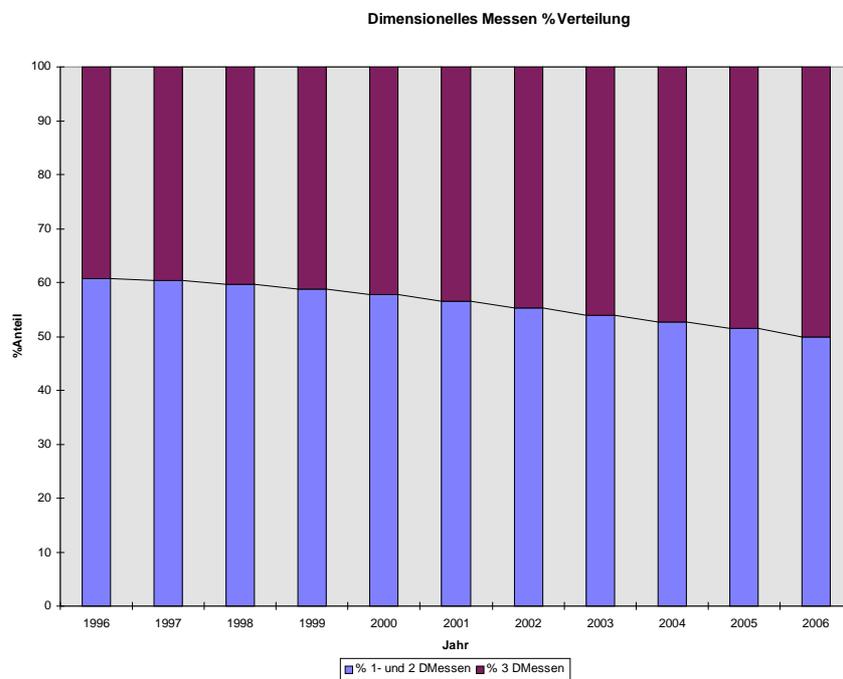


Bild 4.7: Prozentuale Umsatzverteilung 1.u.2.D Messen zu 3D Messen

Der mittlere Systempreis für 1D- und 2D-Systeme wird von 67 TDM im Jahre 1996 auf 33 TDM im Jahre 2006 sinken. Für 3D-Systeme wird der Preis im gleichen Zeitraum von 164 TDM auf 95 TDM sinken.

4.2.4 Vollständigkeitsprüfung

Die Vollständigkeitsprüfung wird in überwiegendem Maße zur Produktkontrolle eingesetzt. Es werden Module und Produkte inspiziert, ob sie aus allen erforderlichen Bauteilen bestehen oder ob Bauteile richtig montiert sind.

Typische Anwendungen sind:

- die Inspektion von Leiterplatten auf Korrektheit und Vollständigkeit der Leiterbahnen (Bahnbreiten, Bahnabstände, Bahnunterbrechungen, etc.) und Lötkontakte in der Elektronikindustrie,
- die Überprüfung von Innengewinden an Hauptbremszylindern auf die Steigung des Gewindes und auf Ausbrüche oder Unterbrechungen in der Automobilindustrie,
- die Überprüfung von Blister Packungen auf korrekten Tabletteninhalt (Farbe der Tabletten) in der Pharmaindustrie.

Systeme zur Vollständigkeitsprüfung werden, geordnet nach Umsatz, in den folgenden Branchen eingesetzt:

- * Automobil- und Automobil-Zulieferindustrie
- * Elektro-, Elektronik- und Halbleiterindustrie
- * Maschinenbauindustrie
- * Pharmazeutische Industrie
- * Lebensmittelindustrie.

Jahr	Umsatz (Mio. DM)	% Änderung	Anzahl Einheiten	% Änderung
1996	23,4	---	400	---
1997	26,2	11,5	500	25,0
1998	29,6	13,2	600	20,0
1999	34,0	15,0	800	33,3
2000	39,8	16,7	1000	25,0
2001	47,0	18,3	1300	30,0
2002	56,4	19,7	1700	30,7
2003	68,2	21,0	2200	29,4
2004	83,2	22,2	2800	27,2
2005	102,6	23,3	3700	32,1
2006	127,6	24,2	4800	29,7

Quelle : Frost & Sullivan

Tabelle 4.7: Marktentwicklung Vollständigkeitsprüfung (Umsatz und Stückzahlen)

In Tabelle 4.7 sind die Umsatz- und Stückzahl-Entwicklungen mit Systemen zur Vollständigkeitsprüfung für die Jahre 1996 bis 2006 festgehalten. Bild 4.8 zeigt die Umsatzenwicklung graphisch.

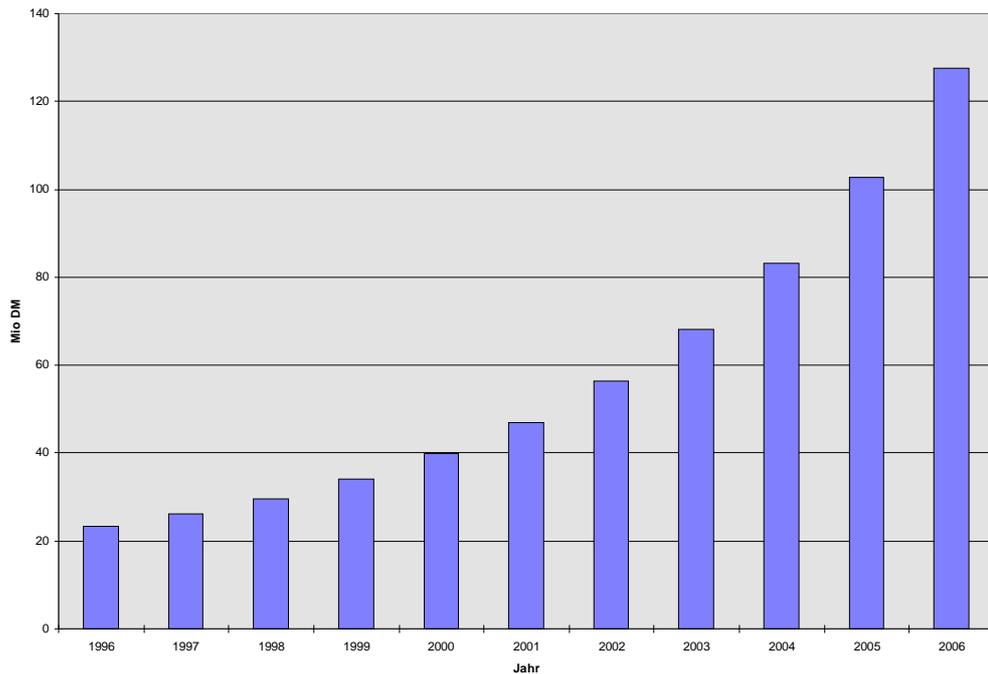


Bild 4.8: Umsatzentwicklung Segment Vollständigkeitsprüfung

Die mittlere Wachstumsrate im Zeitraum 1999 bis 2006 ergibt sich zu 20,7%.

Der mittlere Systempreis ist von 60 TDM im Jahre 1996 auf 45,2 TDM im Jahre 1999 gefallen und wird sich bis 2006 auf 26,8 TDM reduzieren.

4.2.5 Oberflächeninspektion

Es lassen sich zwei verschiedene Prüfverfahren unterscheiden :

- die Überprüfung von gleichförmig strukturierten Oberflächen anhand einer Fehlerbeschreibung oder anhand von Schlechtbeispielen auf Kratzer, Flecken, Löcher, etc.
- die Fehlersuche in beliebig strukturierten Oberflächen (geometrisch konstant angeordnete Muster) durch Vergleich mit einem eingelernten Gutbeispiel.

Oberflächeninspektionen werden auch nach den zu überprüfenden Produkten unterschieden :

- Endlosmaterialien (Bahnware), wie z. B. Papier, Holz, Textilien oder Bleche, die auf Fördereinrichtungen translatorisch bewegt werden. Zur Inspektion wird ihre Oberfläche mit Laserscannern oder heute in stark steigendem Maße mit Zeilenkameras als optoelektronischem Wandler erfaßt.
- Diskrete Produkte, Werkstücke und Materialien, d.h. durch getaktete Produktion entstehend. Zur Erfassung der Oberfläche werden überwiegend Matrix-Kameras als optoelektronische Wandler eingesetzt, teilweise mit Blitzbeleuchtung zur Vermeidung von Bewegungsunschärfen.

Die Umsatz- und Stückzahl-Entwicklung des Marktsegmentes Oberflächeninspektion für die Jahre 1996 bis 2006 gibt Tabelle 4.8 wieder. Dort ist auch die prozentuale Aufteilung des Marktes in Oberflächeninspektion von "diskreten Produkten" und von Endlosmaterial zu finden.

Jahr	Anzahl Einheiten	Umsatz (Mio. DM)	% Änderung	% diskrete Produkte	% Endlos- material
1996	400	46,0	---	46,0	54,0
1997	500	56,0	21,7	45,3	54,7
1998	600	68,6	22,5	44,6	55,4
1999	900	85,0	23,9	43,7	56,3
2000	1200	105,6	24,2	42,9	57,1
2001	1600	131,8	24,8	42,0	58,0
2002	2200	164,4	24,7	41,1	58,9
2003	2900	205,2	24,8	40,3	59,7
2004	3800	256,0	24,7	39,5	60,5
2005	4800	319,0	24,6	38,7	61,3
2006	6200	397,2	24,5	37,9	62,1

Quelle : Frost & Sullivan

Tabelle 4.8: Marktentwicklung Oberflächeninspektion (Umsatz und Stückzahl)

Die Umsatzentwicklung von Systemen zur Oberflächeninspektion ist in Bild 4.9 graphisch wiedergegeben. Bild 4.10 zeigt graphisch die prozentuale Umsatzverteilung auf "diskrete Produkte" und Endlosmaterial. Das Bild zeigt, daß der Umsatzanteil Endlosmaterial von 55% auf 60% zunimmt.

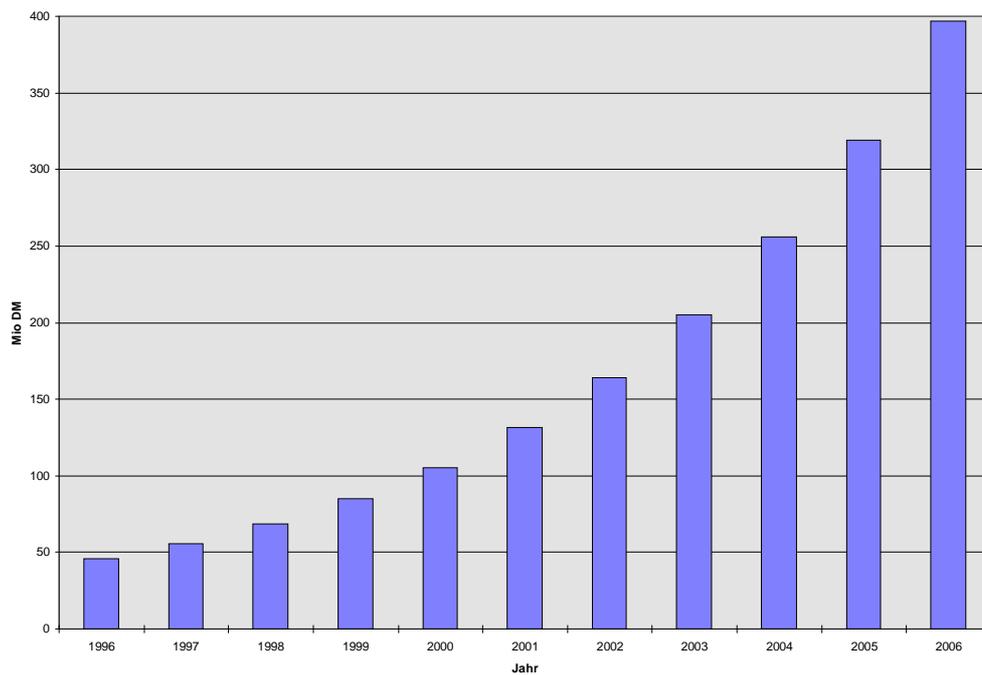


Bild 4.9: Umsatzentwicklung Segment Oberflächeninspektion

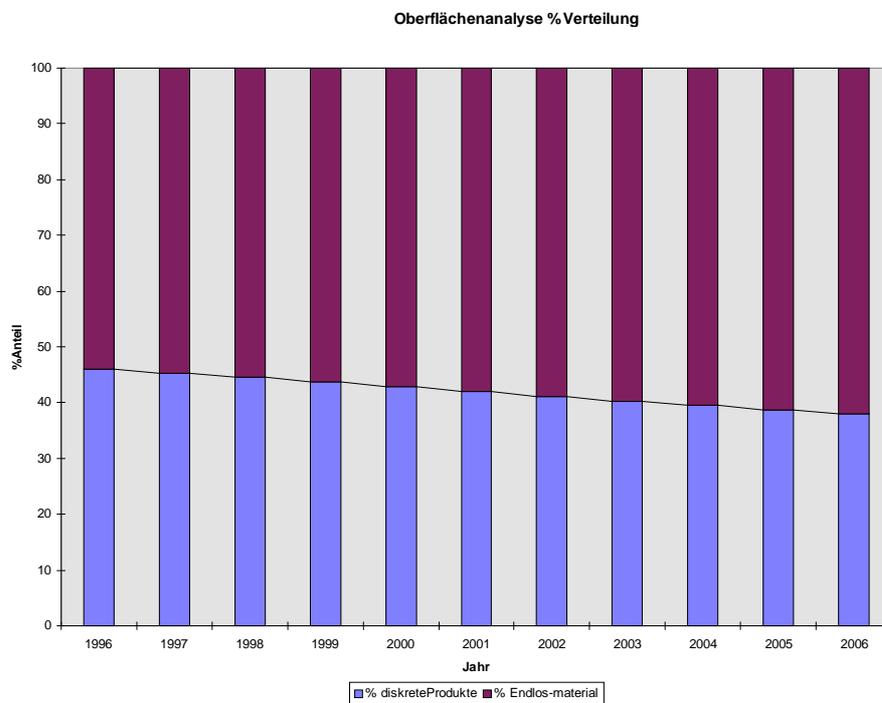


Bild 4.10: Prozentuale Aufteilung des Segmentes auf "diskrete Produkte" und Endlosmaterial

Hauptabnehmer für Systeme zur Oberflächeninspektion diskreter Produkte sind die Automobil- und Automobilzuliefer-Industrie und die Maschinenbauindustrie.

Der mittlere Systempreis ist von 72 TDM im Jahre 1996 auf 54,2 TDM heute gesunken und wird für das Jahr 2006 auf 35,2 TDM geschätzt.

Hauptabnehmer für Systeme zur Oberflächeninspektion von Endlosprodukten sind in Deutschland die Papier-, die Plastik- und die Blechindustrie.

Es wird geschätzt, daß der mittlere Systempreis von 360,8 TDM im Jahre 1996 auf voraussichtlich 126,8 TDM im Jahre 2006 sinken wird.

4.3 Hersteller für den Markt Maschinensehen in Schleswig Holstein

Die Anzahl der deutschen Anbieter von Systemen für die Anwendungsgebiete des Maschinensehens sind in Tabelle 4.9 zusammengestellt. Ein Anbieter wurde dann in einem Segment gezählt, wenn er mindestens ein Produkt primär für das Segment vermarktet.

Teil Marktsegment	Anbieter in Deutschland	Hersteller in S-H
Kennzeichnungsidentifikation	>25	1
Positionserkennung	>25	-
Dimensionelles Messen	>50	1
Vollständigkeitsprüfung	>50	2
Oberflächeninspektion	>25	1

Tabelle 4.9: Anzahl Anbieter in Deutschland und Schleswig-Holstein nach Teilsegmenten

Der große Anteil der Anbieter ist selbst Hersteller, den kleinen und mittleren Unternehmen zuzuordnen und teilweise nur lokal tätig.

In Tabelle 4.9 ebenfalls aufgeführt sind die Hersteller von Systemen zum Maschinensehen in Schleswig-Holstein. Für die Zählung und die Art der Unternehmen gilt das oben gesagte. Die Hersteller sind gleichzeitig Anbieter und werden nun vorgestellt. Nicht mitaufgenommen sind Unternehmen, die Bildverarbeitungssysteme ausschließlich für Inhouse Zwecke entwickeln, wie z.B. die Firma BC-Components [SH-6] in Heide.

a) Basler AG [SH-1], Ahrensburg

Die Firma Basler AG, die 1988 gegründet wurde, betreibt die Entwicklung, Herstellung und den Vertrieb von Komponenten von Bildanalyse-Systemen und von anwendungsspezifischen Bildanalyse-Systemen im Segment Maschinensehen.

Sie hat sich im ersten Jahrzehnt nach der Entstehung so erfolgreich entwickelt, daß sie 1999 an die Börse gehen konnte. Der Umsatz des Unternehmens wuchs von 47,5 Mio. DM im Jahre 1998 auf ca. 75 Mio. DM im Jahre 2000. Der Erfolg des Unternehmens ist begründet in einer konsequent umgesetzten Strategie: Konzentration auf ausgesuchte Teilmärkte des Marktsegmentes Maschinensehen; Marktführerschaft durch technologische Spitzenprodukte; Konsequente Markt- und Anwenderorientierung.

Produktbereich Komponenten: CCD Matrix- und CCD Zeilenkameras mit höchsten Leistungsdaten, wie Auflösung, Datenrate, Belichtungszeitsteuerung, Vollbildmodus, asynchroner Betrieb, Signal-Rausch-Verhältnis, digitaler Ausgang (IEEE 1394 Interface) und Bildwiederholrate. Im September 1999 schloß Basler mit der Photobit Corp., einem führenden US-Hersteller von CMOS-Bildsensoren, einen Kooperationsvertrag und beteiligte sich mit ca. 16% an Photobit. Damit erhielt das Unternehmen unmittelbaren Zugriff auf die der CCD-Technologie überlegenen CMOS-Technologie, siehe Kap.3.3.2..

Basler Systeme zum Maschinensehen: Die Systeme zur Oberflächeninspektion sind Problemlösungen, d.h. sie beinhalten neben der Bildverarbeitung alle

Handling-Systeme zum Inline- bzw. Offline-Betrieb der zu inspizierenden Produkte. Sie werden in den folgenden Branchen eingesetzt:

Computerindustrie: Inspektion von optischen Datenträgern wie CD's, CD-ROM's oder DVD's

Elektronikindustrie: Inspektion von Flachbildschirmen

Gummi-/Elastomerindustrie: Inspektion (Oberflächeninspektion und Dimensionelles Messen) von Dichtungsringen (O-Ringen)

Kunststoffindustrie: Inspektion von Kunststoffbahnen.

b) ISW GmbH [SH-2], Köln-Reisiek

Das Leistungsangebot der 1992 gegründeten Firma umfaßt die technische Planung und Realisierung von Bildanalyse-Systemen für industrielle Anwendungen und den Vertrieb optoelektronischer Komponenten.

Im Vertriebsprogramm sind u.a. zu finden: LED-Beleuchtungsfelder, CCD-Matrix-Kameras, Lesegeräte für Barcodes und Matrixcodes (Hersteller: RVSI CiMatrix (USA)), Framegrabber, Bildsoftware und Bildanalyse-Systeme (Hersteller: RVSI Acuity (USA))

ISW versteht sich als Systemhaus, das auf Basis verfügbarer Hard- und Softwarekomponenten anwenderspezifische Problemlösungen konzipiert und die Problemlösungssoftware selbst entwickelt. Hauptanwendungsgebiete sind Kennzeichnungsidentifikationssysteme (speziell Data-Matrix-Code) für die Automobilindustrie und Nahrungsmittelindustrie, Systeme zur Vollständigkeitskontrolle von Verpackungen sowie Systeme zum Dimensionellen Messen in der Elektronik- und Pharmazubehör-Industrie.

Das Potential der Firma liegt heute in dem Know-how und den Erfahrungen des Geschäftsführers.

c) m.u.t. GmbH [SH-3], Wedel

Die 1995 gegründete Firma entwickelt, stellt her und vertreibt Systeme zur Identifikation und Messung physikalischer Größen. Ein Kernbereich des Unternehmens ist die Optosensorik.

Für industrielle Anwendungen ist die intelligente Zeilenkamera ILS-CAM entwickelt worden. Sie besteht aus CCD-Zeilensensoren (monochrom, RGB) mit bis zu 10000 Bildpunkten, einem 12 bit Analog-Digital-Umsetzer, einem Bildspeicher, einem 32 bit digitalen Signalprozessor, in dem die Bildsoftware abläuft und einem Mikrocontroller, der das System steuert und der als Programmierschnittstelle für den Signalprozessor fungiert.

Ein erstes Anwendungsgebiet ist die Vollständigkeitsprüfung. Bei der Verpackung von zylindrischen Körpern (z.B. Bleistifte) wird geprüft, ob die Schachtel komplett gefüllt ist. Ein Algorithmus zählt dabei die Anzahl der Stifte der obersten Lage und steuert die Verpackungsmaschine (" vollständig "/" Ausschuß ") ohne einen zusätzlichen PC.

Eine zweite Anwendung ist das Dimensionelle Messen. Der Abstand der Außendurchmesser zweier rotierender Druckwalzen wird gemessen und ggf. nachgestellt, um die Druckqualität konstant zu halten. Die Firma m.u.t. zählte im Jahr 2000 zu den TOP 100 innovativen mittelständischen Unternehmen in Deutschland [21].

5 Industrielle Bildverarbeitung: Sortieranlagen

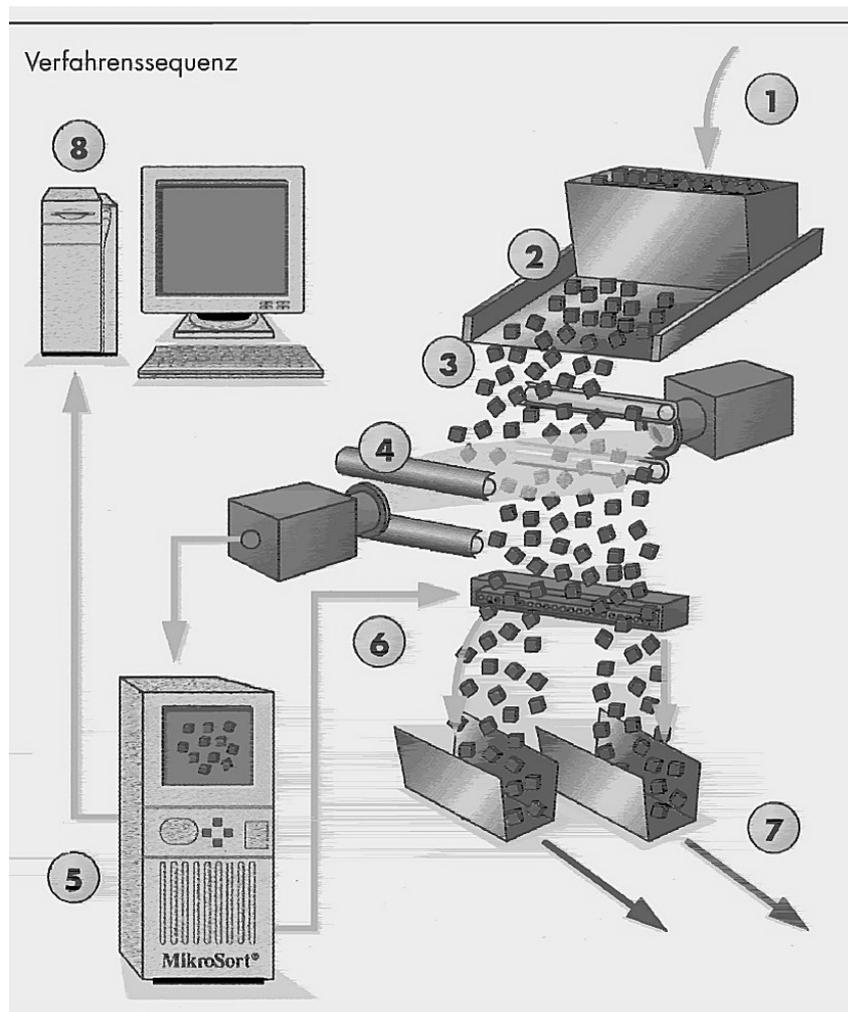
5.1 Das Anwendungsgebiet Sortieranlagen

Obwohl Sortieranlagen als Systeme zur Oberflächeninspektion betrachtet werden können, wird ihnen von Marktforschungsunternehmen ein separates Marktsegment zugeordnet. Eventuell liegt es daran, daß bei Marktuntersuchungen Systeme zur Oberflächeninspektion als Inspektionssysteme nur für die Stückgutfertigung (Einzelobjekte) oder für Endlosmaterial betrachtet werden.

Automatische Sortieranlagen haben die Aufgabe, stoffliche Ströme, d.h. Schüttgüter, wie Erze, Getreide, geschredderter Kunststoff, in ihre Bestandteile zu zerlegen. Häufig sind es Fremdkörper, die aussortiert werden müssen, es können aber auch schlechte Produkte oder Teile sein. Die in den Systemen ermittelten Sortiermerkmale können unterschiedlich in Abhängigkeit von der Art des Schüttgutes sein.

Bei einem Gemisch aus geschredderten braunen und grünen Glas, welches beim Recyclen entsteht, wird allein die Farbe als Sortiermerkmal ausreichen. Variiert das Schüttgut in der Farbe, wie z.B. Tabak-Rippenstengel und nehmen Fremdkörper einzelne dieser Farbtöne an, dann reicht der Farbton allein nicht als Sortiermerkmal aus. In diesem Fall müssen Formmerkmale zusätzlich herangezogen werden.

Soll ein Schüttgut wie Steinsalz in reiner Form gewonnen werden, d.h. von Steinsalz mit Fremdkörpereinschlüssen getrennt werden, dann müssen Vor- und Rückseite der Objekte geprüft werden, um möglichst alle Salzkristalle mit Einschlüssen aussortieren zu können.



Quelle: Mogensen

Bild 5.1: Optoelektronische Sortieranlage (1-3. Vereinzelung der Bestandteile des Produktstroms, 4. Beleuchtung und Bilderfassung mit Farb-Zeilenkameras, 5. Bildanalyserechner, 6. Ausblaseinrichtung, 7. Abführung der getrennten Bestandteile.)

Die Funktionsweise einer Sortieranlage sei an Bild 5.1 erläutert. Das auf einem ersten Förderband herantransportierte Schüttgut wird auf einem integrierten Schwingförderer vereinzelt, so daß keine Objekte mehr übereinander liegen. Am Ende des Bandes fällt das Produkt in einer Wurfparabel nach unten und würde vollständig über ein entsprechend positioniertes zweites Förderband

abtransportiert werden. Während des Fluges wird mit Hilfe einer Farb- CCD-Zeilenkamera ein Bild aufgenommen. Müssen die Objekt Vorder- und Rückseite analysiert werden, dann werden über zwei auf entgegengesetzten Seiten des Produktstromes angebrachten Zeilenkameras zwei Bilder aufgenommen werden. Bis die gerade erfaßten Objekte die an einem tiefer gelegenen Punkt der Wurfparabel angeordnete Ausblaseinrichtung erreichen, hat der Bildrechner die Segmentierung und Klassifikation aller erfaßten Objekte durchgeführt. Die Segmentierung und damit die Sortierung erfolgt nach Farben der Komponenten, ggf. wird die Form oder Größe als weiteres Segmentierungsmerkmal genutzt. Der Bildrechner steuert zeitgenau die Düsen der Ausblaseinrichtung an, die aktivierten Düsen entsprechen den Positionen der Schwerpunkte der Fremdkörper. Die ausgeblasenen Fremdkörper landen auf einem dritten Förderband, das sie abtransportiert.

Die Fehlerrate in der Sortierung, die geometrische Auflösung (kleinste detektierbare Objekte) und der Durchsatz (Laufgeschwindigkeit des ersten Förderbandes) sind entscheidende System-Leistungs-Parameter.

5.2 Hersteller von Sortieranlagen in Schleswig Holstein

In Schleswig-Holstein haben sich in den letzten zehn Jahren zwei Firmen erfolgreich etabliert, die komplette optoelektronische Sortieranlagen bzw. Bildanalyse-Systeme für Sortieranlagen entwickeln, herstellen und vertreiben.

a) CommoDaS [SH-4], Wedel

Die Firma CommoDaS wurde 1988 gegründet. Sie entwickelte, fertigte und vertrieb zuerst Bildanalyse-Systeme zur Kennzeichnungsidentifikation, speziell OCR (Klarschrift)- und Barcode Identifikationssysteme. Heute ist der Kernbereich die Entwicklung und Fertigung von Bildanalyse-Systemen und Ausblaseinrichtungen für optoelektronische Sortieranlagen. Als OEM-Lieferant

arbeitet sie mit der Firma Mogensen GmbH & Co KG aus Wedel in der Recyclingindustrie und mit der Firma Hermann Stock Maschinenfabrik GmbH in der Lebensmittelindustrie zusammen.

1996 wurde die Firma CommoDaS mit dem Technologiepreis des Landes Schleswig-Holstein ausgezeichnet.

Das Potential der Firma liegt in der Qualifikation der Mitarbeiter und dem Know-how, welches auf den Gebieten Beleuchtungsanordnungen, Farbsegmentierung der digitalen Bilder von Zeilenkameras (Algorithmen und Programmierung) und Ventiltechnik incl. deren elektronischen Ansteuerungen. Optoelektronische Sortieranlagen mit Bildanalyse-Systemen von CommoDaS werden eingesetzt:

Recyclingindustrie: Sortieren von geschredderten Pet-Flaschen nach Fremdstoffen und Farben; Sortieren von geschreddertem Glas, in einer ersten Stufe nach Fremdstoffen wie Keramik und Porzellan und in einer zweiten Stufe nach den Glasfarben grün und braun; Sortieren von Metallen nach Buntmetallen (z.B. Kupfer und Messing) und Graumetallen

Lebensmittelindustrie: Trennen nicht genießbarer Bestandteile aus Nahrungsmitteln wie Kaffee oder Getreide.

b) OptoSort Sommer GmbH [SH-5], Schenefeld

Seit 1990 bietet OptoSort Sommer die Planung, Realisierung und den Service für Sortieranlagen an. Die Firma hat das integrierte Bildanalyse-System und die Analyse-Software vom Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Karlsruhe übernommen und arbeitet auch weiterhin mit dem Institut zusammen.

Optoelektronische Sortieranlagen von OptoSort Sommer werden u.a. eingesetzt:
Rohstoffindustrie (Bergwerke) : Trennung von Mineralien und Fremdgestein oder die Sortierung von Mineralien nach Farbe und Helligkeit;

Pharmaindustrie: Erkennen der Farbe von Tabletten, die in 64 parallelen Spuren unter der Sensoranordnung hindurch transportiert werden. Falsch herum liegende Tabletten werden gedreht, Schlecht-Material ausgeschleust.

Die Entwicklung von Förder- (Handling-) Systemen und Ventilbanksystemen mit elektronischer Ansteuerungen sind beherrschte Inhouse Technologien.

6 Anwendungsgebiete außerhalb der Industriellen Bildverarbeitung

6.1 Sicherheitstechnik

Die ersten Sicherheits- oder Überwachungsanlagen mit optoelektronischen Mitteln waren TV-Kameras, deren Bilder in einen Überwachungsraum per Kabel übertragen und dort von eingewiesenem Personal auf Monitoren verfolgt wurden. Die TV-Kameras, die teilweise geschwenkt wurden, erfaßten Bilder von Räumen, Hallen Gebäudeeingangsbereichen oder Geländeausschnitten. Mit der Kontrolle sollten unberechtigte Personen oder Fahrzeuge, die in den überwachten Bereich eindringen, erfaßt werden, um entsprechende Maßnahmen ableiten zu können. Heute lassen sich folgende Einsatzbereiche automatischer oder halbautomatischer optoelektronischer Überwachungssysteme unterscheiden:

- Geländeüberwachung (Grenzen, Gelände innerhalb der Umzäunungen von Industrieanlagen sowie öffentlichen und privaten Gebäuden)
Bildverarbeitungsaufgaben: Erkennen von auffälligen Objekten im Bild (modellgestützte Segmentierung und Klassifikation), Verfolgen der Objekte im Bild durch Korrelationstracking oder die Auswertung von Bewegungstrajektorien.
Die zuvor für militärische Aufgabenstellungen (Objektverfolgung) entwickelten Algorithmen und Verfahren konnten hier teilweise übernommen werden. Forschungs- und anwendungstechnisch aktiv in diesem Bereich ist u.a. das Fraunhofer IITB [A-35].
- Zutrittskontrolle
Ein Zutrittskontrollsystem wird immer dann installiert, wenn nur berechtigte (bekannte) Personen Zugang haben sollen und zwar zu Gebäuden, Räumen, Wertgegenständen aber auch zu immateriellen Gütern im Sinne von

Informationen oder Wissen.

Die Aufgabe der Kontrolle wird durch Kennzeichnungs- oder in diesem Fall besser Personen-Identifikationssysteme gelöst. In diesen werden personenspezifische Merkmale der bekannten Personen gespeichert und zur Klassifikation, d.h. Identifikation genutzt. Bekannt geworden sind:

- a) Gesichtserkennung, wie von der Firma ZN [A-37] entwickelte System ZN Face, welches von KABA [A-36] vertrieben wird. Die aus dem Kamerabild extrahierten Merkmale werden in einem neuronalen Netz klassifiziert, wobei mit den von den zugangsberechtigten Personen gespeicherten Daten verglichen wird.
 - b) Fingerabdruckerkennung, wie von der Siemens Information and Communication Products Group [A-38] in der ID-Mouse implementiert.
 - c) Identifikationssysteme für weitere biometrische Merkmale, wie sie Bilder der Retina oder Iris [14] hergeben, werden untersucht.
- Überwachung technischer Anlagen auf Funktionalität
Mit Kameras werden Stofftransporte quantitativ überwacht und Veränderungen gegenüber dem Normalzustand automatisch detektiert. Eine Erweiterung des Systems mit akustischen und gassensitiven Sensoren läßt eine weitgehend automatische Überwachung zu wie mit dem System HISS für eine Erdgas Förderstation gezeigt wird [15].

- Automatische optoelektronische Zufahrtskontrolle
Kennzeichen von Pkws und/oder Lkws werden in Bildern gesucht und identifiziert. Die Firma Graphikon [A-39] hat basierend auf einer Softwarelösung des Fraunhofer Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin [A-40] das System G/Plate entwickelt, welches von KABA [A-36] vertrieben wird.

6.2 Autonome mobile Systeme

Bei den autonomen mobilen Systemen sollen zwei Anwendungsgebiete unterschieden werden.

a) Autonome Fahrzeuge

Hier werden Kraftfahrzeuge betrachtet, es könnten aber auch schienengebundene Fahrzeuge, Schiffe oder Flugzeuge sein. Ein autonomes Kraftfahrzeug soll seine Insassen durch inner- und außerstädtischen Verkehr sicher zu einem vorgegebenen Zielort bringen. Hierzu muß das implementierte Bildverarbeitungssystem Fahrspuren, Verkehrszeichen, weitere Verkehrsteilnehmer und Hindernisse/Gefahren erkennen. Die Automatisierung soll helfen, Verkehrsflüsse zu verbessern, den Fahrzeuglenker zu entlasten und Unfallrisiken zu reduzieren. Eine Zwischenlösung auf dem Weg zum autonomen Kraftfahrzeug könnten Fahrerassistenzsysteme sein.

Arbeiten auf diesem Anwendungsgebiet werden beim Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung durchgeführt, mit beträchtlich höherem Aufwand allerdings in den Entwicklungsabteilungen der Automobilhersteller.

b) Autonome-mobile-Roboter

Autonome mobile Roboter sind elektronische Geschöpfe, die sich in natürlicher Umgebung (Landschaft und von Menschen geschaffenen Objekten (Gebäuden

und Infrastruktur)) herumbewegen können, sich gelegentlich an einer Ladestation regenerieren, etwas Sinnvolles tun können und bei dieser Tätigkeit auch in unvorhergesehenen Situationen irgendwie zurechtkommen. Heute sind die ersten dieser auch Serviceroboter genannten Systeme zumindest als Muster funktionsfähig. Bekannte Anwendungen sind die Inspektion von Kanalrohren, der Hoteldiener (Koffer, Zeitungen im Hotel transportieren) oder Museumsführer. Serviceroboter werden an verschiedenen Universitäten, z.B. am Institut für Prozeßrechentechik und Robotik in Karlsruhe, entwickelt.

Autonome Systeme sollen die dem Menschen leicht fallende Aufgabe erfüllen können, nämlich eine sichtbare Szene inhaltlich zu verstehen. Dazu müssen sie in der Lage sein, aus einer Bildfolge, die die Realität unserer Erfahrungswelt und ihre zeitlichen Veränderungen widerspiegelt, die Objekte, ihre Relationen zueinander und ihr zeitliches Verhalten zu extrahieren. Aus der Interpretation der Szene muß es dann die im Sinne der Aufgabenstellung des Systems richtigen Handlungen (Steuerbefehle) ableiten. Die wissensbasierte Interpretation ist eine Methode, welche zur Lösung der Aufgabenstellung erfolgreich eingesetzt wird. Neben visuell sichtbaren Bildern werden auch Radar-, Infrarot- und Ultraschall-Bilder zur Lösung der Aufgabenstellung genutzt.

6.3 Qualitätsverbesserung von Produkten im Druckgewerbe

Die Firma Heidelberger Druckmaschinen [SH-7] nutzt die Bildrestaurierung und die Bildverbesserung zur Erhöhung der Qualität ihrer Produkte.

Zur Bildabtastung setzt sie Trommelscanner mit Photomultipliern (PMT's) oder Flachbettscanner mit Grauwert-CCD-Zeilen (12000 Bildpunkte) bzw. Farb-CCD-Zeilen mit 3x8000 Bildpunkten ein. Die Ausgangssignale der bildgebenden Systeme werden korrigiert auf Maßstabsfehler (zweidimensional), Zeilenversatz und Aperturfehler (Schärfe). Die entwickelten Algorithmen sind in Signalprozessoren, die im Scanner integriert sind, als Firmware implementiert.

Anschließend werden, jetzt aber bildspezifisch, Gradations- und Farbstich-Fehler softwaremäßig, teils automatisch, teils manuell minimiert. Nach weiteren Verbesserungen mit dem kommerziellen Software Produkt Photoshop 6 der Firma Adobe [A-33] stehen die Bilddaten im RGB- und CIELAB-Format zur Verfügung.

Die letzten Maßnahmen zur Bildverbesserung werden zur Druckprozeßanpassung durchgeführt. Hierzu gehören die Farbumfangsanpassung, der Farbaufbau und die Druckkalibrierung.

Nicht zuletzt die Bildverarbeitung hat die Systeme und Anlagen der Firma zu Spitzenprodukten werden lassen. Heidelberger Druckmaschinen hat ein großes Know-how für leistungsfähige Algorithmen zur Bildverbesserung und deren effiziente Software oder firmwaremäßige Implementierung entwickelt. Bisher wird es nur intern genutzt und steht nicht als kommerzielles Produkt zur Verfügung.

7 Anwendungen Bildkodierung und Computergraphik/ Computeranimation

7.1 Bildkodierung

7.1.1 Anwendungen

Wie in Kap. 2.2 beschrieben, wird die Bildkodierung, auch Bilddatenkompression genannt, zur Reduzierung der Informationsvolumina von Bildern und Bildfolgen eingesetzt. Damit wird es zum einen möglich, Massenspeicher ökonomischer zu nutzen. Zum anderen ermöglicht die Bildkodierung erst die Übertragung von TV-Bildern auf existierenden niederfrequenten Übertragungssystemen, wie z.B. ISDN-Netzen. Um eine weltweite Standardisierung der eingesetzten Kodierverfahren zu gewährleisten, haben im Markt der Übertragungssysteme tätige Unternehmen, wie in Deutschland u.a. Siemens und Bosch, und einzelne Forschungsinstitute, in Deutschland z.B. das Heinrich Hertz-Institut für Nachrichtentechnik, sich in der MPEG (Moving Picture Experts Group) zusammengeschlossen.

7.1.2 Situation Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein ist kein Unternehmen und auch kein Hochschul-oder Forschungs-Institut auf dem Gebiet der Bildkodierung intensiv tätig.

7.2 Computergraphik/Computeranimation: Multimedia

Computergraphik- und Computeranimations-Aufgaben sind technischer Inhalt von Problemlösungen vieler Anwendungsgebiete. Hier wird nur das Anwendungsgebiet Multimedia angeführt, da in diesem Unternehmen in Schleswig-Holstein tätig sind. Ausführliche Informationen über das Gebiet und die darin aktiven Unternehmen und Hochschulen finden sich in der Studie "Multi-

Media-Landschaft Schleswig-Holstein“ der TSH [22].

7.2.1 Anwendungsgebiet Multimedia

Unter Multimedia Anwendungen der Bildverarbeitung wird hier verstanden die Aufbereitung von Bildern, Sprache und Daten mit dem Ziel

- einer qualitativ hochwertigen Darstellung für den Anwender
- der Erzielung von speziellen - häufig werbewirksamen - Effekten durch Farbgestaltung und Trickeinblendungen.

Das Ergebnis der Aufbereitung kann sein eine Webseite, eine Werbegraphik aber auch eine Animation, unabhängig davon ob sie der Unterhaltung, der Produktpräsentation oder als Servicedokumentation dient [9].

Für das Anwendungsgebiet sind Lösungen der Aufgaben Bildbearbeitung, Bildkodierung und Bilddatenbanken erforderlich. Bisher gibt es Produkte, die Bildbearbeitung (Bildmanipulation) und die Speicherung von Bildern in kodierter Form zulassen. Als nahezu Standardprodukt hat sich in Multimediaagenturen das Programmpaket Photoshop von der Firma Adobe [A-33] herausgebildet.

7.2.2 Situation Schleswig-Holstein

Gemäß der Studie “MultiMedia-Landschaft Schleswig-Holstein“ gibt es in dem Bundesland ca. 900 Unternehmen, die sich häufig als Multimediaagenturen bezeichnen. Die überwiegende Anzahl dieser Unternehmen weist weniger als 8 Mitarbeiter auf. Gibt man in der im Rahmen der Studie entwickelten “MM-Kompetenz-Datenbank“ (www.tsh.de/multimedia) die Suchbegriffe “Bild Animation“ ein, so erhält man nur 31 Unternehmen, für die Suchbegriffe “Bild Simulation/Virtual Reality“ sogar nur 5 Unternehmen. Ein großes Unternehmen (fluxx.com) und ein kleineres (3D Factory) werden zur Erläuterung der Multimedia-Aktivitäten etwas ausführlicher dargestellt.

a) fluxx.com [SH-8], Kiel

Das in den neunziger Jahre gegründete Unternehmen, welches auch Niederlassungen in Hamburg und Frankfurt unterhält, will bis 2004 Marktführer in Deutschland mit den Produkten E-Commerce, E-Production und Communication werden.

E-Commerce: Das bekannteste Produkt für den Endverbraucher ist der JAXX Lottokiosk, welcher im Internet die Abgabe von Lottoscheinen regelt. Weitere Glücksspiele sind RUBBEL JAXX und JAXX Casino.

E-Production: Dienstleistungsangebot für Online- und Offline Medien und zwar Beratung und Konzept, Design und Redaktion, Programmierung und Support von Internet und CD-ROM, POS und POI Anwendungen.

b) 3D Factory [SH-9], Kiel

3D ist ein Ende der neunziger Jahre gegründetes Startup- Unternehmen. Es versteht sich als Entwicklungs- und Dienstleistungsunternehmen zur Erstellung von 3D Animationen von Anlagen und Fabrikationsanlagen des Maschinenbaus. Die Animationen sind als Werbematerial von Vertriebsabteilungen gedacht.

8 Hochschulen und Forschungseinrichtungen

In Deutschland beschäftigen sich über 60 Hochschulen und Forschungsinstitute mit der Bildverarbeitung. Eine Übersicht der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten mit Stand 1997 hat der VDMA herausgegeben [5].

Durch den Besuch einiger ausgewählter Institute in verschiedenen Bundesländern ergab sich folgendes Bild:

- Institute an Universitäten und Technischen Hochschulen.

Sie, d.h. der Institutsleiter und seine Assistenten, beschäftigen sich überwiegend mit der Erarbeitung von Grundlagen bildverarbeitungsspezifischer Themen im Rahmen von Doktor- und daraus abgeleiteten Diplomarbeiten. Die Ergebnisse werden teilweise in anwendungsstabile Lösungen für industrielle Rahmenbedingungen umgesetzt. Längerfristige Kooperationen mit Industrieunternehmen sind eine Seltenheit, Technologietransfer zu kleinen Unternehmen oder sogar Handwerksbetrieben selten.

Kommunikationsebene der Institute sind wissenschaftliche Fachtagungen und Veröffentlichungen in wissenschaftlich eingestufteten Zeitschriften. Kontakte der universitäten Einrichtungen zu Fachhochschulprofessoren gibt es praktisch nicht. Es sind den Universitätsprofessoren häufig nicht einmal die Namen der Fachhochschulprofessoren im gleichen Bundesland bekannt, was allerdings auch umgekehrt gilt.

- Fachhochschulen

An ihnen betreiben einzelne Professoren eine Lehrveranstaltung und teilweise unterstützt durch einen Laboringenieur, zusätzlich ein Studierendenpraktikum zur Bildverarbeitung. Kontakte zur regionalen Wirtschaft werden von einigen der Professoren genutzt, um sporadisch ein Projekt mit einer anwendungsbezogenen Fragestellung der Bildverarbeitung durchzuführen.

Häufig verhindert die im Gegensatz zur Universität fehlende Infrastruktur die Übernahme eines termingebundenen Industrieauftrags. Als Folge davon entfernt sich der betroffene Professor immer mehr aus aktuellen Anwendungsproblemen. Eine Kooperation mehrerer Professoren einer Fachhochschule in einem gemeinsamen Anwendungsschwerpunkt war nicht anzutreffen. Ebenso ist eine für Industrieaufträge funktionierende Kooperation zwischen Professoren regional benachbarter Fachhochschulen nicht üblich, es sei denn zum Erlangen landesspezifischer Fördermittel, die dies voraussetzen. Häufig ist es sogar so, daß die Professoren die Aktivitäten ihrer Kollegen an anderen Fachhochschulen nicht oder nur vage kennen.

- Öffentliche Forschungseinrichtungen

Die Institute der Fraunhofer Gesellschaft haben die Bedeutung der Bildverarbeitung als Schlüsseltechnologie früh erkannt. Sie haben Aktivitäten in der Bildverarbeitung in mehreren ihrer Institute verstärkt, vor allem haben sie sich nicht auf Grundlagenarbeiten beschränkt, sondern industriell nutzbare Problemlösungen in verschiedenen Anwendungsgebieten erarbeitet. Als Ansprechpartner für Unternehmen haben sie eine Zentralstelle, die Fraunhofer-Vision in Erlangen, geschaffen. Sie nimmt Anfragen entgegen und leitet das anfragende Unternehmen an den oder die Experten der kompetenten Institute weiter. Heute verstehen sich die Fraunhofer Institute nicht mehr allein als Forschungsinstitute, sondern gleichermaßen auch als Systemhäuser. Als diese bieten sie einem Anwender die Entwicklung, die Herstellung, die Einführung und die Betreuung einer kompletten Problemlösung an. Ferner treten sie als Dienstleister und auch als Lizenzgeber auf.

Die Fraunhofer Institute sind Kompetenzzentren geworden für u.a. die folgenden Anwendungen der Bildverarbeitung [10], siehe Tabelle 7.1.

	IGD	IITB	IIS	IMS	IPK	IPA	IWU	IOF	IFF
Kennzeichnungs-identifikation					X	X	X		
Positionserkennung							X		
Dimensionelles Messen	X				X	X	X	X	X
Vollständigkeitsprüfung			X		X	X	X		
Oberflächeninspektion		X	X		X	X	X		
Sortieranlagen		X							
Sicherheitstechnik	X		X		X		X		
Virtuelle Realität	X					X			
Bildsynthese CAD	X								
Bildkodierung	X								
Hardware Komponenten		X	X	X					

Tabelle 8.1: Fraunhofer Institute und Bildverarbeitung

In der Tabelle werden diese Abkürzungen für die Fraunhofer Institute benutzt:

IGD : Institut für Graphische Datenverarbeitung, D-64283 Darmstadt

IITB : Institut für Informations- und Datenverarbeitung, D-76131 Karlsruhe
IIS : Institut für Integrierte Schaltungen, D-91058 Erlangen
IMS : Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, D-47057 Duisburg
IPK : Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, D-10587 Berlin
IPA : Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, D-70569 Stuttgart
IWU : Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, D-09126 Chemnitz
IOF : Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, D-07745 Jena
IFF : Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung, D-39106 Magdeburg

8.1 Deutsche Hochschul- und Forschungseinrichtungen

a) Universität Karlsruhe

Institut für Prozeßrechentechnik und Robotik (IPR), Prof. Wörn,
Gesprächspartner: Dr. Längle

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Industrieroboter, autonome mobile Roboter, Serviceroboter, Mikro- und Tele-
Roboter)

Projekte:

Konzeption eines Baukastensystems von Modulen für Serviceroboter (Sensormodule, Navigationsmodule, Antriebsmodule, u.a.), die z.B. für den Zimmerservice in Hotels eingesetzt werden können;

Konzeption eines modularen Handhabungsroboters für die automatische Lagerung von Rückläufern, z.B. in einem Versandhaus. Aufgaben des Bildanalyse-Systems: Positionserkennung, Verpackungsarterkennung und Greifpositionserkennung, um den Greifertyp zu wählen, Kennzeichnungsidentifikation zur Klärung des Verpackungsinhaltes, der den Lagerort bestimmt;

Arbeitsraumüberwachung in Mensch und Roboter gemeinsamen Bereichen;

Mikroroboter mit Positionserkennungssystem zur Montage von Mikrokomponenten oder dem automatischen Testen von Chips.

Sehender Operationsroboter für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.

Sehender Teleroboter, der in unzugänglichen oder gefährlichen Umgebungen eingesetzt werden soll.

b) Universität Paderborn

Heinz Nixdorf Institut , Prof. Dr. G. Hartmann

Gesprächspartner: Prof. Hartmann

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Theoretische Untersuchungen und Simulationen zum Verstehen des biologischen Erkennungsprozesses, Umsetzung in technische Lösungen (Algorithmen); Konzept und Entwicklung eines Robot Vision Systems, welches die aus einer oder wenigen Ansichten gelernten Objekte aus beliebiger Entfernung und in beliebiger Lage wiedererkennt.

Projekte:

Roboter, der selbständig die Räder eines vorpositionierten Kraftfahrzeugs in natürlicher Umgebung , z.B. Schrottplatz, demontieren kann. (3D Information durch eine Bilderfassung mit zwei CCD Kameras.)

c) Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Karlsruhe

Gesprächspartner: Dr. Link , Dr. Paul

Das IITB hat drei Abteilungen, in denen Bildverarbeitungsaufgaben bearbeitet werden:

- Echtzeit-Bildauswertung

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Oberflächeninspektion von texturierten Objekten (Fliesen, Linoleum);
Vollständigkeitsprüfung von Blistern (Durchdrückpackungen von Tabletten);
Automatische Sortierung von Schüttgut (Sortieranlagen).

•Erkennungs- und Diagnosesysteme

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Luft- und Satellitenbilddauswertung (Muster- (Objekt-) Erkennung);
Sicherheitstechnik; Bildverbesserung von Porträts; Trackingsysteme.

•Multimodale Verkehrssysteme

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Autonome mobile Systeme (Kraftfahrzeuge); Verkehrsleitsysteme.

Projekte (alle Abteilungen):

Realzeitauswertung von Bildfolgen, die aus Fahrzeugen gewonnen werden
(Fahrspurerkennung, Hinderniserkennung);

Erkennen und Verfolgen von Objekten in Luftbilddaufnahmen bei Nutzung
multispektraler Bilddaten (Synthetic Aperture-Radar, Sensoren für sichtbares
Licht, Sensoren für den Infrarotbereich);

Auswertung modellgestützter Bildfolgen zum Andocken von Flugzeugen
(Flugzeug-Typ- und Flugzeug-Positionserkennung);

Kennzeichnungsidentifikation (Position und Qualität des Aufdrucks) auf Blistern
und deren Oberflächeninspektion (Erkennen von Schmutz, Falten,
Einschlüssen).

- d) Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK),
Berlin
Abteilung Mustererkennung, Prof. Dr. W. Adam
Gesprächspartner: Dr. B. Nickolay

Die Abteilung umfaßt 22 wissenschaftliche Mitarbeiter. Sie erwirtschaftet einen Umsatz von 4.8 Mio. DM mit dem Leistungsspektrum: Machbarkeits- und Konzeptstudien, Entwicklung und Fertigung von Prototypen (Software und Systeme), Systemintegration in der Prozeßumgebung. Erste Beratungen des Anwenders werden nicht berechnet.

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Maschinensehen (Kennzeichnungsidentifikation, Positionserkennung, Dimensionelles Messen, Vollständigkeitsprüfung, Oberflächeninspektion);
Sicherheitstechnik (Überwachung von Räumen oder Geländeausschnitten, Biometrie, Gesichtserkennung);
Verkehrssysteme (Verkehrsflußmessung, Fahrzeugklassifikation, KfZ-Kennzeichenidentifikation)

Projekte:

Erkennen der Bewegungsrichtung und Zählen von Personen und Fahrzeugen (z.B. Zählen von Personen in Warteschlangen; Zählen von Fahrzeugen an Kreuzungen);
Identifizieren von Fahrzeugen anhand ihrer Kennzeichen, Symbole oder Logos (Parkhausautomatisierung; Erkennen von Containern oder Waggons; Zufahrtskontrolle);
Inspektion der Oberfläche von Tassen und Tellern auf Fabrikationsfehler, wie Kratzer, fehlende oder ungleichmäßige Glasur und Fremdkörpereinschlüsse)
Überwachung von Gefahrenräumen innerhalb von Produktionssystemen, z.B. an Pressen;

Vermessung von Radgeometrien wie Raddurchmesser und Radlaufprofil der Räder von Hochgeschwindigkeitszügen im Überfahrbetrieb (30 km/h);

Abteilung: Produktentwicklung und Industrielle Informationstechnik (Dr. F.-L. Krause)

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Virtuelle Realität, 3D Animation

Projekte:

Bereitstellung optischer Informationen, die die Gestalt und das Verhalten der zu entwickelnden Produkte und die Wirkungsweise der zugehörigen Produktionsprozesse möglichst realitätsnah widerspiegeln;

e) Heinrich Hertz Institut, Berlin

Abteilungen: Bildsignalverarbeitung, Interaktive Medien

Gesprächspartner: Dr. Sikora

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Entwicklung von Algorithmen zur Datenkompression von Bildern verschiedener Auflösungen und Anwendungen; Mitwirkung in der MPEG zur Standardisierung von Bildkodierverfahren; Entwurf und Simulation von integrierten Schaltungen für die Bildsignalverarbeitung, auf der Basis von FPGA's, Asic's, Risc-Prozessoren und DSP's. Entwicklung interaktiver 3D-Benutzerschnittstellen; Entwicklung von Displaytechnologien zur Bildwiedergabe.

Projekte:

Bildkodierung für die Multimediakommunikation auf integrierten Netzen und Terminals mit dem Ziel der Mobilkommunikation;

Entwicklung von Verfahren zur kombinierten Bewegungs- und Disparitätsschätzung sowie zur Bewegungskompensation in 3D -Sequenzen;

Verfahren zur interaktiven Suche und Auswahl von Bild- und Audioinformationen (Film, TV, PC) für zukünftige Multimediadienste (für den MPEG-7-Standard geplant);

3D-Anwendungen mit multimodaler Interaktion (manuelle Manipulation von Objekten in 3D-Displays, Anwendung: Augmented Reality);

Virtuelles Büro (Nachbildung einer gemeinsamen Arbeitsumgebung für räumlich getrennte Personen, die an einem Projekt arbeiten);

Entwicklung eines autostereoskopischen Displays

8.2 Hochschulsituation Schleswig-Holstein

a) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Institut für Informatik und Praktische Mathematik, Prof. Dr. G. Sommer

Gesprächspartner: Prof. Sommer

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Grundlagenforschung Autonome mobile Systeme, Serviceroboter

Themen: Verhaltensbasierte Roboter und technische visuelle Systeme;

Lernbasierte Modellierung nicht deterministischer Objekte, Umgebungen und

Aufnahmetechniken; Einsatz von minimalem a priori Wissen, um sich in

natürlicher Umgebung zurechtzufinden; Neue Entwicklungen zur

Repräsentation und Verarbeitung höherdimensionaler Signale;

Anwendungsgebiete: Autonome Manipulatoren (Hand - Auge - Koordination),

Fahrzeugnavigation und Kartenerstellung.

Projekte:

Farbbildanalyse (Fa. Heidelberger Druck, Kiel), Bildklassifikation (Fa. Cobion,

Kassel), Elektroschrottdemontage.

b) Medizinische Universität Lübeck

Institut für Signalverarbeitung und Prozessrechentechnik,

Prof. Dr. T. Aach

Gesprächspartner: Prof. Aach, Dipl.-Phys. D. Toth, Dr. E. Barth

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

a.) Industrielle Bildverarbeitung: Klassifikationsalgorithmen, Bewegungsdetektion

b.) Medizinische Bildverarbeitung: Bildvorverarbeitung, Bildverbesserung von Röntgen- und Ultraschallbildern

c.) Natürliche Bilder: Bildsequenzenanalyse, beleuchtungsinvariante Bewegungserfassung

Projekte:

Verbesserte Fehleranalyse in der Inspektion optischer Datenträger (Fa. Basler, Ahrensburg). Entwicklung eines Stereo - Head - Tracking -Systems.

Multiskalenfilterung und Segmentierung von medizinischen Bilddaten.

Bildvorverarbeitung für Radiographie-Flachdetektoren. Local Adaptive Estimation of Complex Motion and Estimation Patterns (LOCOMOTOR)

c.) Medizinische Universität Lübeck

Institut für Medizinische Informatik, Prof. Dr. S. J. Pöppel

Gesprächspartner: Dr. H. Handels

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Bildanalyse und Mustererkennung: Tumorerkennung; Matching multimodaler Bilddaten (Registrierung); Entwicklung eines Teleradiologiesystems.

Virtuelle Realität und CAD: Visualisierung der 3D-Interaktion in virtuellen Körpern; 3D-Interaktion von medizinischen Geräten mit Organen in virtuellen Körpern.

Computergestützte Operationsplanung und Konstruktion von Endoprothesen
Telemedizin: Entwicklung und Evaluation von Teleradiologiesystemen sowie
Systemen für die verteilte 3D-Operationsplanung

Projekte:

Analyse und Erkennung von Hirntumoren in dreidimensionalen MR-Bildfolgen;
Segmentierung und Visualisierung neuronaler Erregungsmuster in MR-Bildern;
Netzbasierte Übertragung von medizinischen Bildern und deren kooperative
Besprechung;

Analyse von Augenhintergrundbildern zur quantitativen Beschreibung des
Operationserfolges bei Macula Pucker; Virtuelle 3D-Planung von
Hüftoperationen und computergestützte Konstruktion von Endoprothesen
(PROTIS-Projekt, u.a. mit der Fa. ESKA Implants, Lübeck). Entwicklung eines
Telekooperationssystems für die kooperative 3D-Visualisierung von medi-
zinischen Bildobjekten in Telekonferenzen. Dynamische 3D-Visualisierung von
anatomischen und pathologischen Organen, Geweben, Tumoren und die
Durchführung von 3D-Interaktionen in den virtuell dargestellten Körpern.

d.) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Klinik für Diagnostische Radiologie, Medizinische Physik, Prof. Dr. C.-C. Glüer
Gesprächspartner: Prof. Glüer, Dipl.-Inf. W. Timm

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

3D Rekonstruktion und Visualisierung von spongiösen Knochen,
Strukturparameter basierte Klassifizierung osteoporotischer Knochen aus 3D
Darstellungen;

Ermittlung der quantitativen Gehirnperfusion aus Parameterbildern und
Berechnung des Blutvolumens und Blutflusses pro Bildpunkt,

Bestimmung des Blutflusses im Hirn ohne den Einsatz von Kontrastmitteln;

Erstellung von Parameterbildern aus Patellaknorpel(T_2) Bildern zur Ermittlung
der Integrität.

Als bildgebende Systeme werden Computer-Tomographen von den Firmen Siemens und Philips, ein Mikro Computer -Tomograph von der Firma Stratec (Pixelgröße ca. 20 μm) und ein Magnetresonanz-Tomograph (Pixelgröße ca. 150 μm) eingesetzt.

Projekte:

Anwendertests von Computer Tomographen; Kooperation mit der Fa. Stratec zur Softwareentwicklung (3D Visualisierung und 3D Strukturparameterberechnung) für den Mikro Computer Tomographen.

e.) Medizinische Universität Lübeck

Institut für Multimediale und Interaktive Systeme, Prof. Dr. M. Herczeg (nicht vom Autor besucht)

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Computergestützte Kooperation; Computergestütztes Lehren und Lernen; E-Business; Visualisierung und Virtuelle Realität

Projekte:

Virtueller Körper, Virtueller Druck- und Medienverbund; Prozeßführung durch multidimensionale virtuelle Welten

f.) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Institut für Informatik und Praktische Mathematik, Prof. Dr. R. Koch (telefonischer Kontakt)

Forschungs- und Arbeitsgebiete:

Computer-Bildverarbeitung im Hinblick auf visuell-geometrische 3D-Szenenrekonstruktion; Modellierung von 3D-Objekten aus Bildfolgen; Erweiterte Realität und Mensch-Computer Interaktion; Multimedia Systemtechnologie.

Projekte:

3D-Aussenraumbbeobachtung von Fahrzeugen (BMBF-Projekt INVENT);
Special Effects-Verarbeitung in VR und AR (ORIGAMI); Einsatz von wearable
Computern zur automatisierten Aufnahme von Bildfolgen und Bildpanoramen
(Fa. Xybernaut Computers,USA)

g.) Fachhochschule Kiel, Fachbereich Elektrotechnik

Institut für Nachrichtentechnik und Elektronik, Prof. Dr. E. Dettmann

Gesprächspartner: Prof. Dettmann, Dipl.-Ing. M. Fränz

Lehrveranstaltungen Bildverarbeitung: nicht ausgewiesen, Algorithmenbehandlung im Rahmen der Lehrveranstaltung Digitale Signalverarbeitung.
Ausbildungsziel: Programmierkenntnisse, z.B. Zeitoptimierung von bekannten Algorithmen zur Bildverarbeitung

Ausstattung Bildverarbeitung: PC mit Framegrabber der Firma Eltec.

Industriekontakte (überwiegend bis 1998): Hard- und Software zur Bearbeitung digitaler Videodaten, u.a. ein Risc-Prozessor Einsteckmodul für PC`s (mit der Firma COMC Computer&Motion GmbH, Raisdorf , gefördert von der TSH); Näpfchenvermessung auf Druckwalzen (mit der Firma Heidelberger Druckmaschinen AG, Kiel).

h.) Fachhochschule Kiel, Fachbereich Maschinenbau

Institut für Feinwerktechnik, Prof. Dr. E. Fichtner

Gesprächspartner: Prof. Fichtner

Lehrveranstaltungen: Anwendungen der Industriellen Bildverarbeitung.

Ausstattung Bildverarbeitung: Systeme verschiedener Hersteller werden für die Praktikumsversuche eingesetzt, allerdings kein System jünger als 10 Jahre.

Industriekontakte: z.Z. keine mehr (Prof. Fichtner emeritiert).

i.) Fachhochschule Wedel, Fachbereich Technische Informatik u. Medieninformatik

Gesprächspartner: Prof. Dr. W. Ülzmann

Lehrveranstaltungen Bildverarbeitung (bis 1998/99): Vorlesung und Praktikum für Studierende der Technischen Informatik. Ausbildungsinhalt: Grundlagen der Industriellen Bildverarbeitung, Neuronale Netze, Fuzzy-Logik, Anwendungen der Bildverarbeitung in der Fertigungsautomatisierung (z.B. Positionserkennung für Roboter).

Ausstattung: CIM-Labor mit Fertigungsstraße, Scara-Robotern und Multiprozessor Bildverarbeitungssystem

Industriekontakte: Aninstitut zur Abwicklung diverser Projekte (bis 1998/99)

Lehrveranstaltungen Medieninformatik (seit 1998/99): Aufbau des neuen Studienganges und der Labore zu den Themen Computer Graphik, Motion Tracking, Virtuelle Realität.

j.) Fachhochschule Westküste, Fachbereich Elektrotechnik

Prof. Dr. R. Nawrath

Lehrveranstaltungen: Grundlagen der Industriellen Bildverarbeitung, Algorithmen und Anwendungen, mit Praktikum. Klausur als Projektarbeit (Bilderfassung, Bildauswertung und Dokumentation) nach Lastenheftvorgabe.

Ausstattung: Unterrichtslizenz für die Matlab Software mit der Image Processing Toolbox; drei PC-Bildverarbeitungsplätze mit Beleuchtungseinrichtungen, Abbildungsoptiken, CCD Kameras, Framegrabbern (Meteor, Genesis LC und DFG / BW1) und den Bildsoftwares MIL/Inspector, AD OCULUS und Micromorph (Centre de Morphologie Mathematique, Fontainebleau, Frankreich).

Industriekontakte: Inspektion von Kontaktreihen auf Keramiksubstraten (mit der Firma BC-Components, Heide); Teilchengrößenanalyse von Aluminiumoxid-

Extrudaten (mit der Firma Condea, Brunsbüttel); Zählung von Personen (mit der Firma m.u.t., Wedel).

9 Empfehlungen

Die Empfehlungen, die unten aufgeführt werden, basieren auf den folgenden Fakten. Der Markt für Maschinensehen ist und bleibt ein Wachstumsmarkt mit Wachstumsraten von mehr als 20%, wie aus Kap. 4 zu entnehmen ist. Gleichzeitig nehmen die Anwendungsgebiete Industrieller Bildverarbeitung ständig zu. Über ähnlich hohe Wachstumsraten wie im Maschinensehen wird in der Presse bzw. in Fachzeitschriften für weitere Anwendungsgebiete der Bildverarbeitung, wie die Medizintechnik oder Sicherheitstechnik berichtet. Marktstudien, wie im Fall des Maschinensehens, waren allerdings nicht verfügbar. Die Unternehmen, die sich in Schleswig-Holstein mit Bildverarbeitung beschäftigen, siehe Kap. 4.3 , Kap. 5.2 , Kap. 6.3 und Kap 7.2.2 sind technologisch führend in ihren Märkten. Die Überreichung von je ca. 1 Mio. DM Fördermitteln des Landes Schleswig-Holstein an die Unternehmen Basler und m.u.t. Ende Oktober des Jahres 2000 belegt dies.

Die Gründung von Unternehmen, die sich mit Bildverarbeitung beschäftigen, schafft in einem relativ kurzen Zeitraum qualifizierte Arbeitsplätze, wie die schleswig-holsteinischen Unternehmen Basler (über 300 Mitarbeiter), CommoDaS (über 30 Mitarbeiter), m.u.t. (über 50 Mitarbeiter) und fluxx.com (über 50 Mitarbeiter) beweisen.

Ferner gibt es in Schleswig-Holstein auch Unternehmen und Institute, die Bildverarbeitungssysteme zur Prozessautomatisierung und Produktqualitätsüberwachung ausschließlich für Inhouse Zwecke entwickeln, wie z.B. die Firma BC-Components [SH-6] oder das Fraunhofer Institut für Siliziumtechnologie (ISIT) [SH-10].

Wie aus Kap. 8 hervorgeht, existiert an keiner Hochschule in Schleswig-Holstein und auch nicht in Deutschland - soweit dies in Erfahrung zu bringen war - eine Schwerpunktausbildung für das Fachgebiet Industrielle Bildverarbeitung. Die am Markt tätigen Firmen müssen als Konsequenz der fehlenden Ausbildung ihre

neuen Mitarbeiter, wenn sie nicht von einem Mitbewerber kommen, erst selbst grundlegend einarbeiten.

Empfehlung 1:

Ausbildung an Fachhochschulen. Etablieren eines Schwerpunktes " Industrielle Bildverarbeitung " im Fachbereich Elektrotechnik/Informatik einer Fachhochschule in Schleswig Holstein.

Es wird eine Fachhochschule und nicht eine Universität vorgeschlagen, da die Ausbildung stark anwendungsorientiert und weniger grundlagenorientiert sein soll. Die Absolventen werden in einem Unternehmen überwiegend in den Bereichen Systementwurf, Entwicklung von Systemkomponenten, wie z.B. Kameras, Entwicklung von Anwendersoftware, Applikationsengineering, Systeminbetriebnahme, Projektmanagement, Marketing / Vertrieb, Technischer Service und Fertigung tätig werden und deutlich seltener im Bereich Forschung oder Grundlagenentwicklung.

Es ist zu überlegen, ob neben der " Industriellen Bildverarbeitung " auch das Anwendungsgebiet " Sicherheitstechnik " berücksichtigt wird, um Nachwuchskräfte für zumindest große Handwerksbetriebe, die in diesem Segment tätig sind, bereitzustellen.

Der Studienplan sollte neben elektrotechnischen und bildverarbeitungs-spezifischen Fächern folgende Fächer beinhalten :

- technische Fächer: Optik inkl. Beleuchtung, Lasertechnik, Konstruktionswesen, Fertigungsautomatisierung, Sensortechnik;
- betriebswirtschaftliche Fächer: Investitionsgütermarketing, Projektkostenrechnung, Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionsgüter;
- methodische Fächer: Projektmanagement, Systems Engineering, Qualitätsmanagement;
- praxisorientierte Fächer: Projektarbeit (Zwei Projekte sollten neben der Diplomarbeit durchgeführt werden, mindestens eins davon in einem Unternehmen oder Betrieb, eins sollte mehr als drei Projektmitarbeiter erforderlich machen.).

Die im Schwerpunkt hauptamtlichen Professoren und Laboringenieure sollten alle drei Jahre für ein Semester in einem der schleswig-holsteinischen Bildverarbeitungs-Unternehmen tätig werden. Es ist die Frage, ob diese periodische Beschäftigungen durch eine permanente Teilzeit-Beschäftigung in Form einer Beratertätigkeit oder ähnlich ersetzbar sein sollen.

Empfehlung 2:

Technologietransfer / Weiterbildung. Gründung eines Aninstitutes in Form einer Firma an obiger Fachhochschule.

Diese Firma führt Entwicklungen durch, die von den schleswig-holsteinischen Bildverarbeitungs-Unternehmen formuliert werden. Mögliche weitere Aufgaben sind die Übernahme von Fertigungs-Unteraufträgen, der Test von Prototypen, die Analyse von Konkurrenzprodukten, die Erstellung von Marktanalysen oder Messeberichten, die Erschließung neuer Anwendungen und die Durchführung von Weiterbildungsveranstaltungen.

Die Beteiligung eines auf den gleichen Anwendungsgebieten tätigen Fraunhofer Institutes, wie z. B. des Fraunhofer Institutes für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik in Berlin oder des Fraunhofer Institutes für Informations- und Datenverarbeitung erscheint wegen des dort verfügbaren Know-hows empfehlenswert.

Diplom- und Doktor-Arbeiten sollen im Aninstitut durchgeführt werden können.

Die Finanzierung sollte aus drei Komponenten bestehen, einer relativ geringen Grundfinanzierung durch das Land, ca. 30% durch öffentliche Fördermittel und der Restbetrag durch die Unternehmen.

Empfehlung 3:

Wissenschaftlicher Beirat für den Ausbildungsschwerpunkt und Kontrollgremium für das Aninstitut / die Firma.

Ein Gremium soll beide Aufgaben wahrnehmen. Die Mitglieder sind 3-6 Unternehmensvertreter, ein Universitätsprofessor, ein Fachhochschulprofessor (im Aninstitut tätig) und ein Vertreter des Ministeriums/der Technologiestiftung.

Empfehlung 4:

Förderprogramm Bedienersoftware für Bildverarbeitungssysteme.

Viele Anwender von Bildverarbeitungssystemen beklagen sich über die Komplexität der Bedienung und Umprogrammierung der Systeme, unabhängig vom Hersteller des Systems. In diesem vom Land oder Bund zu finanzierendem Förderprogramm sollten unternehmensübergreifend, einfache Programmierertools entwickelt werden, die es dem Anwender, speziell dem weniger geübtem Anwender, ermöglichen, Prozessanpassungen oder sogar neue Prozesse selbst programmieren zu können.

10 Zusammenfassung

Die Bildverarbeitung, d. h. die Bildkodierung, die Bildsynthese (Computergraphik/Computeranimation) und die Bildanalyse/Mustererkennung, mit ihren kontinuierlich zunehmenden Anwendungsgebieten sind für die bedeutenden Branchen eine aus wirtschaftlichen Gründen unverzichtbare Technologie geworden. Dies äußert sich zum einen in den für alle Anwendungsgebiete, sprich Märkten, deutlich steigenden Umsatzzahlen, zum anderen in der Zahl der Unternehmen, die Bildverarbeitungssysteme oder deren Komponenten entwickeln, herstellen, oder in Anlagen integrieren. Die Bildverarbeitung ist noch keine reife Technologie, wie die Forschungsaktivitäten an Hochschulen und Forschungsinstituten belegen.

Die Verfahren zur Bildkodierung ermöglichen z.B. die ökonomische Nutzung von Übertragungssystemen und Speichersystemen in der drahtgebundenen und drahtlosen Telekommunikationstechnik und bewirken die Entwicklung und Herstellung neuer Endgeräte, wie Handy's oder Kameras.

Die Verfahren zur Bildsynthese werden z.B. genutzt zur Darstellung von Simulationsergebnissen bei der Produkt- und von Prozessentwicklung. Bei multimedialen Anwendungen wird die Bildsynthese, häufig ergänzt durch die Bildkodierung, genutzt zur Darstellung und Speicherung von Produkt- und Prozess-Animationen für Service-, Schulungs- und Werbezwecke (Virtuelle Realität).

Die Industrielle Bildverarbeitung als Teilgebiet der Bildanalyse/Mustererkennung, d.h. die Verfahren zur berührungslosen Qualitätsüberwachung von Produkten im Produktions- oder Recyclings-Prozess und zur Automatisierung von Produktionsprozessen, hat generell und für den Standort Deutschland eine besondere wirtschaftliche Bedeutung. Für diesen Markt mit den Anwendungsgebieten Kennzeichnungsidentifikation, Positionserkennung (Robot Vision), Dimensionelles Messen, Vollständigkeitsprüfung, Oberflächeninspektion und Sortierung weisen die Marktforschungsberichte und Markterhebungen von

Frost&Sullivan, der Automated Imaging Association (AIA) und des Verbandes deutscher Maschinen- und Anlagenhersteller (VDMA) Wachstumsraten größer 20% für die kommenden Jahre voraus.

Im Vergleich zu anderen Bundesländern, speziell zu Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Thüringen oder Hessen, haben sich in Schleswig-Holstein nur sehr wenige Unternehmen etabliert, die sich mit der Entwicklung, Herstellung und dem Vertrieb von Bildverarbeitungssystemen für den Markt der Industriellen Bildverarbeitung beschäftigen (nur eines mit einem Umsatz größer als 20 Mio. DM).

Allen in diesem Markt tätigen Unternehmen, unabhängig davon ob in Schleswig-Holstein oder im restlichen Deutschland, mangelt es an Mitarbeitern, speziell Berufsanfängern, die eine Hochschulausbildung mit einem Schwerpunkt Bildverarbeitung oder genauer anwendungsorientierter Bildverarbeitung besitzen. Ein Besuch des Autors an mehreren Hochschulen hat ergeben, daß an mehreren universitären Hochschulen Forschung auf dem Gebiet der Bildverarbeitung betrieben wird, die angebotenen Lehrveranstaltungen wenige und theoretischer Natur sind. An Fachhochschulen werden, bis auf sehr wenige Ausnahmen, nur einzelne Lehrveranstaltungen angeboten, eine praxisbezogene, interdisziplinäre Ausbildung allerdings fehlt.

Um diesen Mangel zu beseitigen, wird die Einrichtung eines Schwerpunktes Bildverarbeitung im Fachbereich Elektrotechnik einer Fachhochschule in Schleswig-Holstein empfohlen. An derselben Fachhochschule soll ein Aninstitut gegründet werden, in dem industrierelevante Projekte betrieben werden. Schwerpunkt und Aninstitut sollen von einem Beirat mit starker Beteiligung von Unternehmensvertretern überwacht und gesteuert werden.

11 Anhang: Anbieter von Bildverarbeitungssystemen und Komponenten

11.1 Anbieter außerhalb Schleswig-Holsteins

- [A-1] Roper Scientific, Inc., San Diego, USA
www.masdropperscientific.com

- [A-2] Matrix Vision GmbH, D-71570 Oppenweiler, Talstr. 16
www.matrix-vision.de

- [A-3] Baumer Optronic GmbH, D-01454 Radeberg, Badstr. 30
www.baumeroptronic.com

- [A-4] Leutron Vision GmbH, D-78467 Konstanz, Macairestr. 3
www.leutron.com

- [A-5] QuISS GmbH, D-82178-Puchheim, Lilienthalstr. 5
www.quiss.com

- [A-6] Cognex Germany Inc., D-76131 Karlsruhe, Emmy Noether Str. 11
www.cognex.com

- [A-7] Vision&Control GmbH (V & C), D-98527 Suhl, Pfütschbergstr. 14
www.vision-control.com

- [A-8] COSYCO GmbH
www.cosyco-gmbh.de

- [A-9] ds (Datenverarbeitung und Sensortechnik GmbH), D-71686 Remseck
Neckarstr. 76/1
www.ds-gmbh.com
- [A-10] Visicontrol, D-88250 Weingarten, Ettishofer Str. 8
www.visicontrol.com
- [A-11] Eltec GmbH, D-55129-Mainz, Galileo Galilei Str. 11
www.eltec.com
- [A-12] The Imaging Source, D-28215 Bremen, Sommerstr. 36
www.theimagingsource.com
- [A-13] Matrox, München
www.matrox.com
- [A-14] Data Translation Inc., Marlboro, MA, USA
www.datx.de
- [A-15] ITI (Imaging Technology Inc.), Bedford, MA, USA
www.imaging.com
- [A-16] Volpi AG, CH-89532 Schlieren-Zürich, Wiesenstr. 33
www.volpi.ch
- [A-17] Coreco Inc., St.-Laurent, Qc, Kanada
www.coreco.com

- [A-18] Strampe Systemelektronik, D-61169 Friedberg, Biegenweg 18
www.strampe.de
- [A-19] Vision Experts, D-76149 Karlsruhe, Am Sandfeld 6
www.vision-experts.de
- [A-20] Stemmer Imaging GmbH, D-82178 Puchheim, Gutenbergstr. 11
www.stemmer-imaging.de
- [A-21] Vision Components GmbH, D-76275 Ettlingen, Ottostr. 2
www.vision-components.de
- [A-22] Robert Bosch GmbH, D-70049 Stuttgart, Postfach 106050
www.bosch.com
- [A-23] ICOS Vision Systems NV, B-3001 Heverlee
www.icos.com
- [A-24] ISRA Vision Systems GmbH, D-64297-Darmstadt, Industriestr. 14
www.isra.de
- [A-25] Jenoptik, Laser, Optik, Systeme GmbH, D-07745-Jena,
Göschwitzer Str. 25
www.jenoptik-los.de
- [A-26] Siemens AG, Automation and Drives Group, Karlsruhe
email: horst.horvath@khe.siemens.de
- [A-27] RMV Machine Vision GmbH, D-76185 Karlsruhe, Schoemperlenstr. 12a
www.rvmachinevision.de

- [A-28] Vitronic Dr. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH, D-65189 Wiesbaden,
Hasengartenstr. 14a
www.vitronic.de
- [A-29] Opdix GmbH, D-82538 Geretsried, Wöhlerweg 9
www.opdix.de
- [A-30] Leuze electronic GmbH, D-73277 Owen/Teck, In der Braike 1
www.leuze.de
- [A-31] iCompression, 95051 Santa Clara, CA, USA
www.icompression.com
- [A-32] TAN Projektionstechnologie, D-40472 Düsseldorf, Tiefenbroicher Weg 35
www.tan-online.com
- [A-33] Adobe Systems Inc., 95110-2704 San Jose, Ca., USA
www.adobe.com
- [A-34] Jaso Software Inc., 55344 Eden Prairie, Mn, USA
www.jaso.com
- [A-35] Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung, D-76131
Karlsruhe, Fraunhoferstr. 1
www.iitb.fhg.de
- [A-36] Kaba Systems GmbH, D-63303 Dreieich, Frankfurter Str. 151 c
www.kaba-systems.de

- [A-37] ZN Gesellschaft für intelligente Informationsverarbeitung mbH, D-44801
Bochum, Universitätsstr. 160
www.zn-gmbh.com
- [A-38] Siemens Information and Communications, D-80333 München,
Wittelsbacherplatz 2
www.siemens.com/telefone
- [A-39] Graphikon GmbH, D-10409-Berlin, Mandelstr. 16
www.graphikon.de
- [A-40] Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, D-
10587-Berlin, Pascalstr. 8-9
www.ipk.fhg.de
- [A-41] Rauscher GmbH, D-82140 Olching, Johann G. Gutenberg Str. 20
www.rauscher.de
- [A-42] The Math Works, Inc., 01760 Natick, MA, USA
www.mathworks.com

11.2 Anbieter in Schleswig-Holstein

- [SH-1] Basler Vision Technologies AG, D-22926 Ahrensburg, An der Strusbek
60-62
www.baslerweb.com
- [SH-2] ISW, D-25337 Kölln-Reisiek, Farmersring 1
email: [isw @ gmx.de](mailto:isw@gmx.de)

- [SH-3] m.u.t. GmbH, D-22880 Wedel, Am Marienhof 2
www.mut-gmbh.de
- [SH-4] CommoDaS GmbH, D-22880 Wedel, Rosengarten 10
www.commodas.de
- [SH-5] OptoSort Sommer GmbH, D-25560 Schenefeld, Holstenstraße 57-61
www.OptoSort.com
- [SH-6] BC Components, D-25746 Heide, Rungholtstr. 8-10
www.beyschlag.de
- [SH-7] Heidelberger Druckmaschinen AG, D-24107 Kiel, Siemenswall
www.heidelberg.com
- [SH-8] fluxx.com AG, D-24103 Kiel, Eggerstedtstr. 1
www.fluxx.com
- [SH-9] 3D Factory, D-24118 Kiel, Schauenburgerstr. 116
www.3dfactory.de
- [SH-10] Fraunhofer Institut für Siliziumtechnologie, D-25524 Itzehoe, Fraunhofer
Str. 1
www.isit.fhg.de

12 Literaturverzeichnis

- [1] Stand und Trends der Bildverarbeitung in Nordrhein-Westfalen;
Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des
Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1995

- [2] Produkte und Dienstleistungen für die Bildverarbeitung;
Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des
Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1996

- [3] The Machine Vision Market, 1998 Results and Forecasts through 2003;
Automated Imaging Association

- [4] European Industrial Vision System Markets; 2000
Frost & Sullivan, Studie Nr. 3779-10

- [5] Übersicht: Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet Industrielle Bildverar-
beitung/Machine Vision, Stand 1997; VDMA, Frankfurt

- [6] Marktstudie 3D Messtechnik in der Automobilzulieferindustrie
Herausgeber: Fraunhofer-Allianz Vision, Erlangen 1999

- [7] G. Sommer, J. Pauli, K. Daniilidis, J. Bruske: Visuell basierte Robotik,
Stand und Perspektiven einer Technologie CAU-Kiel, 1996

- [8] C. Demant, B. Streicher-Abel, P. Waszkewitz: Industrielle Bildverarbeitung
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1998

- [9] R. Steinmetz: Multimedia Technologie
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1999

-
- [10] Vision Lösungen für maschinelles Sehen.
Fraunhofer Gesellschaft, 1998
- [11] M. Meyer: Kommunikationstechnik
Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1999
- [12] R. Schäfer: Entwicklungstendenzen bei der digitalen Bildcodierung:
MPEG-4 und danach
Informationstechnik und Technische Informatik 41 (1999), S. 7-11;
R.Oldenbourg Verlag
- [13] A. Gupta: Realer als die Wirklichkeit
Forschung und Innovation II/99, S. 6-11, Siemens AG
- [14] A. Wilson: Wavelet analysis ensures accurate recognition of iris pattern
Image Processing Europe, December 1999, S. 16-21
- [15] K. Michels: HISS-Das menschliche Überwachungssystem
Sicherheit, Sonderteil Chemie 2000, S. 4-6
- [16] J. Serra: Image Analysis and Mathematical Morphology
Academic Press, 1984
- [17] W. Pratt: Digital Image Processing
John Wiley, 1991
- [18] R. M. Haralick et al. : Textural Features for Image Classification
IEEE Trans. on Systems Man Cybernetics, 3, S. 610-623, 1973

-
- [19] H. Handels : Medizinische Bildverarbeitung
B. G. Teubner Verlag, Stuttgart/Leipzig, 2000
- [20] P. Soille: Morphologische Bildverarbeitung
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1998
- [21] TOP 100, der innovative Mittelstand / Deutschland 2000.
Herausg.: Prof. Dr. H. J. Warnecke, Schlaumeier Medien GmbH, Stuttgart,
2000
- [22] MultiMedia-Landschaft Schleswig-Holstein; Technologie Dialog,
Ausgabe31.
Herausg.: Technologiestiftung Schleswig-Holstein, Kiel, Juli 2000