

# Tutorial

## Bildverarbeitung - Verarbeitung von Bildern

### Elemente der industriellen Bildverarbeitung

Heinz-Georg Fehn  
Fachhochschule Münster, Fachbereich Elektrotechnik  
Stegerwaldstraße 39  
48565 Steinfurt  
Germany  
Tel: +49 - 2551 - 962 - 234  
Fax: +49 - 2551 - 962 - 169  
Email: fehn@fh-muenster.de

#### 1. Einleitung

Das Tutorial erläutert die Elemente von Bildverarbeitungssystemen. Es befaßt sich mit den Prinzipien der Beleuchtung, Optik, Kamerasystemen und Bilderfassungskarten (Framegrabber) als Komponenten der Bildgebung und -erfassung. Weiterhin stellt sich die Bildverarbeitung als ein Gebiet der zweidimensionalen digitalen Signalverarbeitung dar. Im Verlauf des Tutorials wird daher auch auf die Grundlagen der Bilddigitalisierung und Bilddarstellung im Rechner und ihr Einfluß auf die Bildauswertung eingegangen. So kann die Verarbeitung von Bildern durch den Rechner mittels ikonischer Bildverarbeitung, also die Handhabung Bilddaten als Repräsentation von Helligkeitsinformationen, durchgeführt werden. Die Verfahren basierend auf Punktoperationen, lokale Operationen und globale Operationen z.B. zur Kontrastverbesserung, zur Rauschbefreiung oder Strukturfindung sind Methoden der ikonischen Bildanalyse. Im Rahmen des Tutorials werden die Grundlagen und Methoden der ikonischen Bildverarbeitung am Beispiel industrieller Aufgabenstellungen und Anwendungen erläutert. Die symbolische Bildverarbeitung basiert hingegen auf extrahierten Bildmerkmalen, wie z.B. Umfang, Schwerpunkt, Form etc. Ein Merkmalsvektor, gebildet aus solchen Kenngrößen stellt eine symbolische Beschreibung von Bildinhalten dar und kann z.B. zur Objektklassifikation verwendet werden.

Ziel des Tutorials ist es, Bildverarbeitungssysteme und ihre Komponenten sowie Methoden und Verfahren zur Verarbeitung von Bildern kennenzulernen. So wird ein Werkzeug erläutert, das durch geschickte Verknüpfung der unterschiedlichsten technologischen Komponenten aus dem Hard- und Softwarebereich, den für den Menschen häufig recht einfachen Prozeß des Sehens und Erkennens auf einem technischen System abbildet. Damit wird das Werkzeug "Bildverarbeitung" überschaubar und ermöglicht eine sichere Einschätzung seiner Integration in den Produktionsablauf.

#### 1.1 Begriffsdefinition der Bildverarbeitung

Die Bildverarbeitung hat bereits in allen technischen und nichttechnischen Bereichen Einzug gehalten. Je nach Bereich werden mehr oder weniger komplexe Methoden zur Bearbeitung der Bilder angewendet. Zunächst soll daher der Begriff Bildverarbeitung näher spezifiziert werden: Bildverarbeitung läßt sich definieren als die Beschäftigung mit Bildern und deren Manipulation mit technischen Hilfsmitteln mit dem Ziel

- ! der Verbesserung der Bilddarstellung (image enhancement)  
z.B. Kontrastverbesserung, Farbgestaltung etc.
- ! der Bildrestaurierung (image restoration)  
z.B. Rauschbefreiung, geometrische Entzerrung etc.
- ! der Codierung von Bildern (image coding)  
z.B. Datenkompression
- ! des Bildverstehens und der Bildinterpretation (image understanding)  
z.B. die abstrakte Beschreibung des Bildes zur Steuerung eines technischen Prozesses (machine vision).

Ein klassisches Einsatzfeld für Bildverbesserungen findet sich u.a. in der Medizin. Ziel ist es hierbei spezielle Details von z.B. Röntgenbildern so aufzubereiten, daß sie der Interpretation durch den Arzt leichter zugänglich sind. Ein Beispiel dazu ist in dem Bild 1 und Bild 2 gegeben.



Bild 1 Röntgenbild einer Hand  
(aus [Softwaretool Optimas])



Bild 2 bearbeitetes Röntgenbild

Durch Verfahren der Kontrastmanipulation wird der Detailreichtum verdeutlicht und eine Kantenverstärkung führt zur Hervorhebung der Randstrukturen (Bild 2). Um die Verdeutlichung der Strukturen im Röntgenbild zu erreichen sind bereits Verfahren aus dem Bereich der Bildrestaurierung eingesetzt worden. Ein klassisches Beispiel der Bildrestaurierung stammt aus [Jaroslavskij] und ist im Bild 3 und Bild 4 dargestellt. Eine während der Bildaufnahme vorhandene Defokussierung des Bildaufnahmesystems führt zu einer unscharfen Abbildung der Vorlage, hier einer Textvorlage. Läßt sich die zur unscharfen Abbildung führende Verwaschungsfunktion systemtheoretisch erfassen, führt eine Bearbeitung des Bildes mit der inversen Verwaschungsfunktion (Korrekturfilter) zur Korrektur der Defokussierung (Bild 4).



Bild 3 defokussiertes Bild  
(aus [Jaroslavskij])

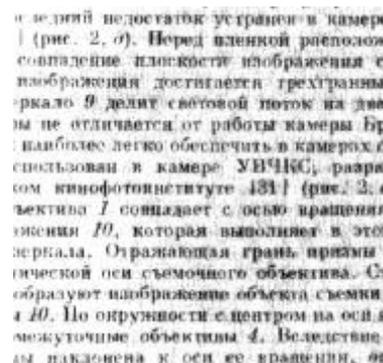


Bild 4 bearbeitetes Bild  
(aus [Jaroslavskij])

Ziel der Codierung von Bildern ist es, die bildbeschreibende Datenmenge, z.B. zu Datenübertragung oder Datenspeicherung so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig jedoch soll der Bildinhalt durch Verfahren der Datenkompression verändert werden, so daß nach der Dekompression der gesamte Bildumfang für den Betrachter oder zur Auswertung wieder zur Verfügung steht. Wesentlichstes Einsatzfeld der Datenkompression ist zur Zeit der Multimediabereich. Der Einfluß einer im Frequenzbereich arbeitenden Datenkompression (JPEG-Codierung) ist in den Bildern 5 bis 7 dargestellt.



Bild 5 Originalbild



Bild 6 JPEG-codiert



Bild 7 Differenzbild (kontrastverstärkt)

Während für das Originalbild (Bild 5) zur Datenspeicherung 64kByte aufgewendet werden müssen (Graubild 256\*256 Bildpunkte mit je 8 Bit zur Helligkeitscodierung) reichen für das JPEG-codierte Bild 6 etwa 4,3kByte aus (Kompressionsfaktor k=80). Subjektiv ergeben sich in der Druckwiedergabe nur geringe Unterschiede in Form von Rasterstörungen an Hell-Dunkelübergängen und in Bereichen gleicher Helligkeit. Wird jedoch die Differenz zwischen den Bildern gebildet, dann wird der Einfluß dieses Codierungsverfahrens wesentlich deutlicher hervorgehoben (Bild 7).

Bei dem Bildverstehen und der Bildinterpretation werden die Verfahren und Methoden aus Bildverbesserung, Bildrestauration und der Bildcodierung mit dem Ziel genutzt, eine vom Bildinhalt abhängige Aussage zu generieren. Dies kann ebenso das Lesen von Dokumenten zur Schrifterkennung wie auch die Kenngrößenermittlung eines Objektes zur Vermessung oder für Robotorapplikationen. Den Zusammenhang der Bereiche der Bildverarbeitung in der hier vorgenommenen Unterteilung für die industrielle Bildverarbeitung stellt das Bild 8 dar.

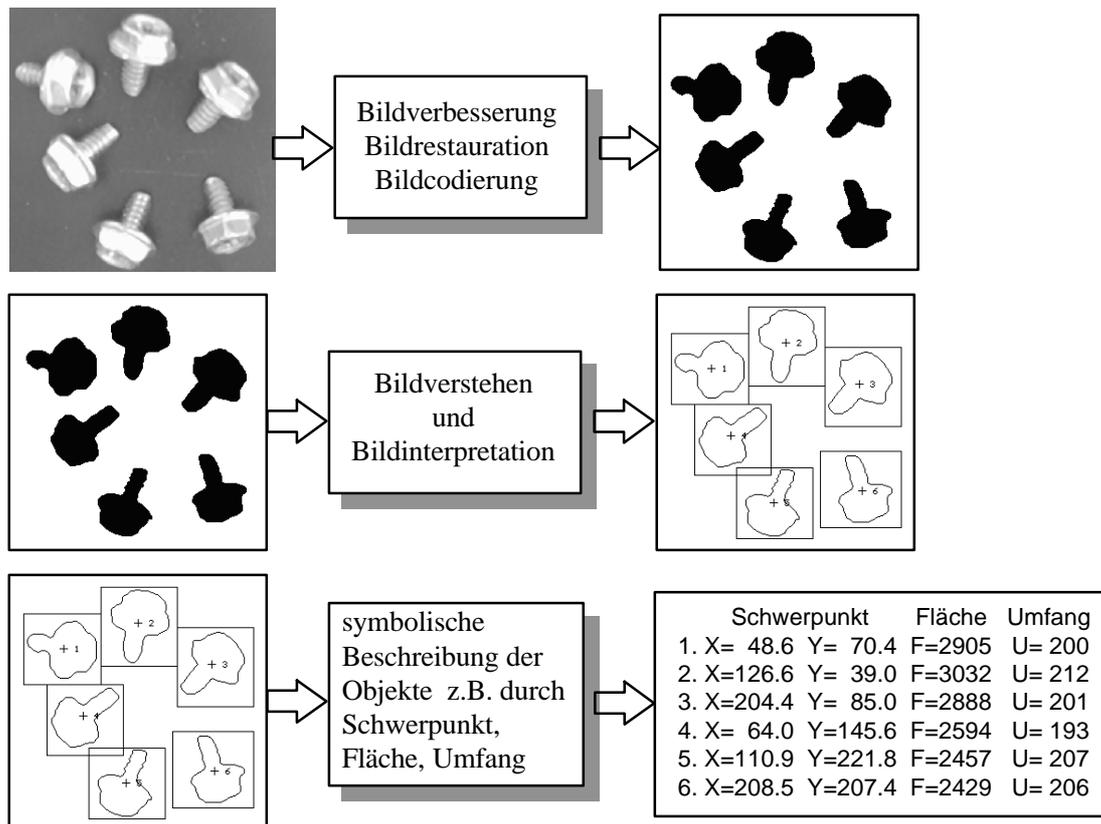


Bild 8 Zusammenhang der Bereiche in der industriellen Bildverarbeitung

Wie schwierig Bildverstehen und Bildinterpretation sein kann, verdeutlichen die folgenden Bilder. Im Bild 9 stellt eine Anzahl von scheinbar willkürlich angeordneten schwarzen Flecken einen schnüffelnden Dalmatiner in der Nähe eines Baumes dar. Das Bild 10 gehört zu der großen Gruppe der optischen Täuschungen und gibt ein real nicht existierendes Objekt wieder. Während der Mensch in der Lage ist, beide Bilder zu verstehen und zu interpretieren, ist ein Rechnersystem mit diesen Aufgaben im allgemeinen bei solchen Bildvorlagen überfordert.



Bild 9 Bildverstehen

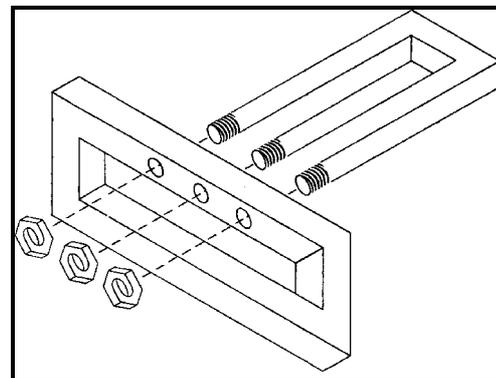


Bild 10 Bildinterpretation

## 1.2 Verallgemeinertes System zur Bildverarbeitung

Zur Bearbeitung von Bildern wird ein Bildverarbeitungssystem benötigt. Das Bild 11 stellt ein solches System in seiner Ganzheit dar. Es besteht aus der Beleuchtungseinheit, der Bilderfassungseinheit, dem Rechner mit Betriebssystem und Bildverarbeitungssoftware sowie Steuereinheiten mit Schnittstellen zu peripheren Systemen, z.B. zu Handhabungsautomaten.

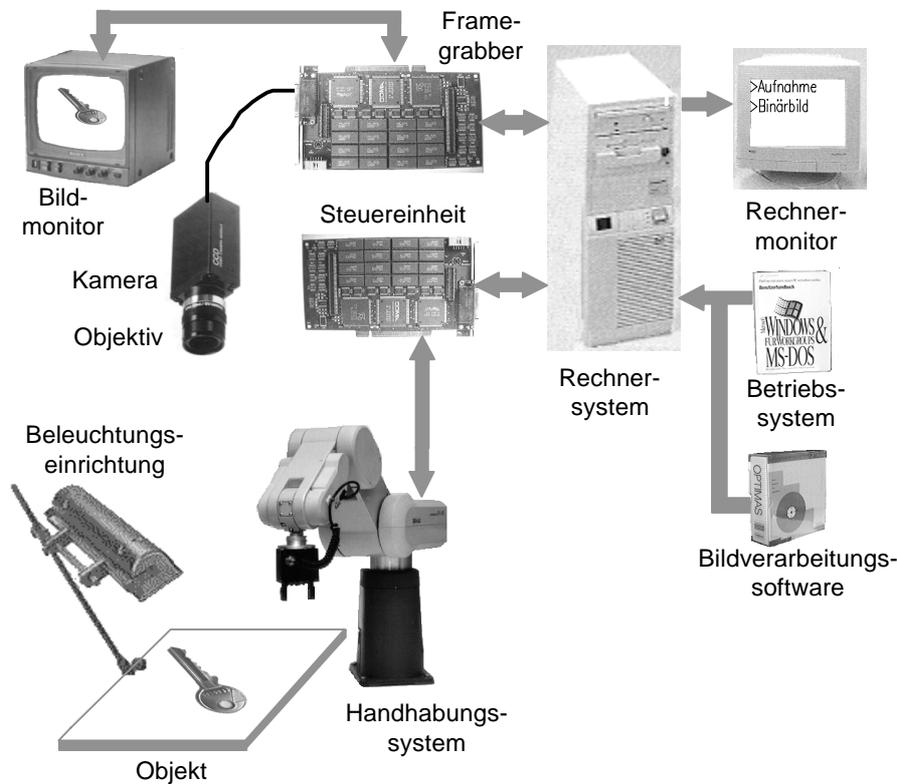


Bild 11 Komponenten eines Industrielles Bildverarbeitungssystem (schematisch)

Je nach Anforderung an die zu lösende Bildverarbeitungsaufgabe gestalten sich die Hardware- und Softwarekomponenten mehr oder weniger komplex. Grundsätzlich gilt jedoch, daß auf keine der hier dargestellten Komponenten für den Aufbau eines industriellen Bildverarbeitungssystems verzichtet werden kann, obwohl in einer realen Realisierung mehrere Komponenten eine zusammengehörige Einheit bilden können. Dies gilt z.B. für Komplettsysteme mit lokaler Intelligenz.

## 2. Komponenten von Bildverarbeitungssystemen

### 2.1 Beleuchtung

Eine wichtige Komponente eines BV-Systems ist die Beleuchtung. Zur Beleuchtung gehören alle Strahlungsquellen, z.B. aus dem Bereich des sichtbaren Lichtes das Neonlicht, Halogenlicht, polarisiertes Licht, etc., und im nicht sichtbaren Bereich z.B. Röntgenstrahlung, Ultraschall, radioaktive Strahlungsquellen etc. In dem folgenden Bild 12 sind verschiedene grundlegende Verfahren der Beleuchtung dargestellt. Die Anordnung von Strahlungsquelle und Bilderfassungseinheit bestimmt die Bezeichnung des Beleuchtungsverfahrens, wie Auflicht, Durchlicht, gerichtete Beleuchtung etc.

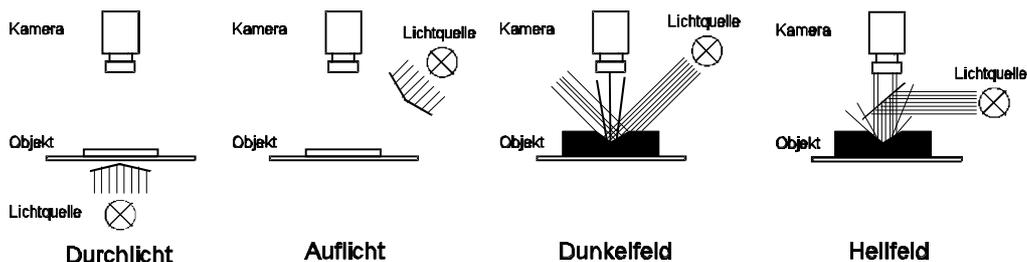


Bild 12 unterschiedliche Beleuchtungsverfahren

Je nach Ausleuchtung, Anzahl und Anordnung der Lichtquellen kann es zum Schattenwurf durch das Objekt selber kommen. Um dies zu vermeiden, kann diffuses Licht eingesetzt werden. Eine diffuse Beleuchtung ist eine ungerichtete Beleuchtung und liefert nahezu schattenfrei ausgeleuchtete Objekte. Dem gegenüber steht die gerichtete Beleuchtung, die gezielt zur Schattenbildung eingesetzt wird, um bestimmte Objektmerkmale darzustellen. So kann z.B. eine gerichtete Beleuchtung mit parallelem Licht unter einem gegebenen Winkel über den Schattenwurf die Höhe eines Objektes

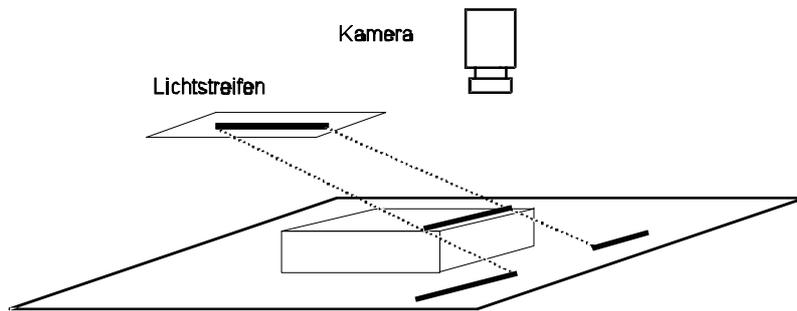
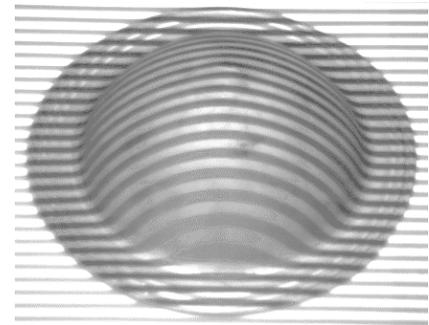


Bild 13 Prinzip des Triangulationsverfahren



Mit Streifenlicht beleuchtetes Objekt

abbilden. Ein bekanntes Verfahren zur Höhenbestimmung von Objekten ist das Triangulationsverfahren (Bild 13). Durch die gegebene Anordnung von Beleuchtungsquelle und der Kamera, kann über Winkelbeziehungen aus der Abweichung des Lichtstreifens auf dem Objekt vom Lichtstreifen neben dem Objekt auf die Objekthöhe geschlossen werden. Probleme beim Triangulationsverfahren treten dann auf, wenn durch die Objektoberfläche Abschattungsbereiche den Lichtstreifen verschwinden lassen oder durch zu starke Krümmungen eine Aufweitung des Lichtstreifens verursacht wird.

## 2.2 Bilderfassung

Zur Bilderfassung gehören zwei Komponenten. Da ist zum einen das Kamerasystem mit einer entsprechenden Optik und zum anderen die Bildeinzugskarte, der Framegrabber. Kamerasysteme unterscheiden sich im wesentlichen hinsichtlich des eigentlichen Sensorsystems, dem CCD-Sensor. Neben den unterschiedlichen Technologien des Übertragens der Sensorinformation in den Auslesebereich des Sensors (Frame-Transfer, Interline-Transfer), kommen Ein- und Dreichip-Kameras zum Einsatz. Einchip-Kameras stehen dabei sowohl als Schwarz-Weiß-Kameras als auch als Farbkameras mit entsprechend farbigen Streifenfiltern zu Verfügung. Dreichip-Kameras als Farbkameras besitzen Strahlteiler mit entsprechenden Farbfiltern und weisen dadurch die gleiche Auflösung wie Schwarz-Weiß-Kamera auf. Die Auflösung einer Kamera ist abhängig von den auf den Sensorflächen enthaltenen aktiven Sensorelementen, deren Anzahl sich zur Zeit bei etwa 768\*576 Elementen bei Standardkameras bei einer Chipdiagonalen von 1/3 bis 1 Zoll bewegt. Die für die Kameras notwendigen Objektive haben meist C-Mount, neuerdings CS-Mount, Anschlüsse und sollten auf die Sensordiagonale abgestimmt sein. Es stehen alle aus der Fotografie bekannten Brennweiten und Objektivtypen zur Verfügung.

Durch den Framegrabber wird das von der Kamera kommende Helligkeitssignal Analog-Digital gewandelt und dem Rechnersystem als Zahlenwerte zur Verfügung gestellt. Framegrabberkarten stehen für fast alle gängigen Bus- und Rechnersysteme zur Verfügung. Angefangen vom Standard-PC mit ISA, EISA, PCI-Bus über VME-Bussysteme bis hin zu Workstations und deren Bussysteme wie SBus, QBus und SCSI-Bus etc.. Neben Standardbussystemen bieten verschiedene Firmen leistungsfähige Bildverarbeitungssysteme oder Karten mit spezifisch für die Bildverarbeitung ausgelegten Bussystemen (Videobusse), z.B. der VISION-Bus (ITI), an. Im PC-Bereich hat sich der PCI-Standard für Framegrabberkarten durchgesetzt.

## 2.3 Software

Die Programmierung von Bildverarbeitungskarten (Framegrabber) geschieht in der Basis im wesentlichen aufgrund von Geschwindigkeitsgründen in Assembler. Allerdings stehen für den Entwickler für die Bildverarbeitung Programmbibliotheken in einer Hochsprache zur Verfügung. Neben den hardwareabhängigen Basisfunktionen sind leistungsfähige hardwareunabhängige Softwaretools zur Bildverarbeitung häufig mit entsprechenden Zusatzbibliotheken für Framegrabberkarten verfügbar. Zu diesen - meist allgemein anwendbaren Softwarepaketen - wird eine Fülle von problemorientierten Programmpaketen angeboten, so daß hier der Markt schnell unübersichtlich wird. Im Einsatz der Bildverarbeitung hat sich gezeigt, daß sowohl eine Anpassung der Software als auch die Entwicklung von neuen Algorithmen notwendig wird. Diesen Umstand tragen die Hersteller dadurch Rechnung, daß ihre Applikationssoftware durch eine Hochsprache, wie C, Visual C++, Visual Basic oder durch Makroprogrammierung erweiterbar ist.

### 3. Grundlegende Bildverarbeitungsmethoden

Die von der Kamera kommenden Signale werden durch den Framegrabber erfaßt und dem Rechner als Zahlenwerte zur Verfügung gestellt. Dabei ist das an sich analoge Ursprungsbild sowohl in der Amplitude als auch im Ort diskret. Die Amplitudendiskretisierung geschieht durch die Analog-Digitalwandlung des Sensorsignals mit 8 bis 12 Bit. Die Ortsdiskretisierung ist durch die Anzahl der Sensorelemente auf dem CCD-Sensor gegeben. Die Darstellung eines Bildes im Rechner ist im Bild 14 verdeutlicht.

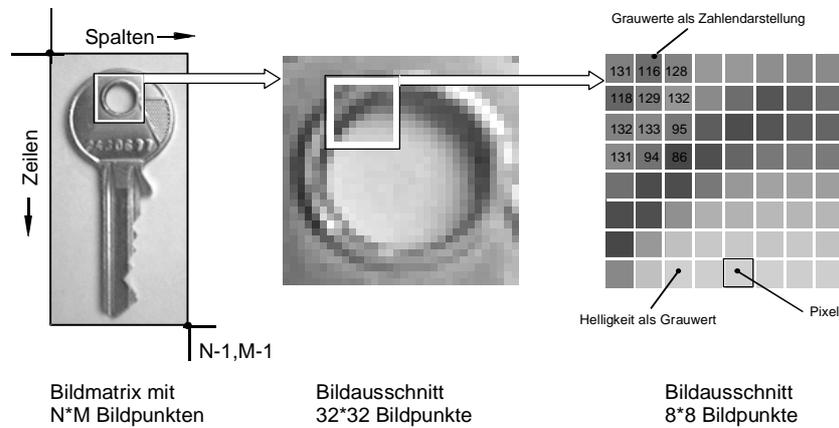


Bild 14 Ortsauflösung und Darstellung des Bildes im Rechner

Die ikonische Bildverarbeitung nutzt die Bildrepräsentation als Zahlenwerte als Grundlage. Verfahren, die nicht mehr die bildhaften Daten sondern aus dem Bild mit den Methoden der ikonischen Bildverarbeitung extrahierten Daten zu einer Aussage verknüpfen, führen auf die Verfahren der symbolische Bildverarbeitung. In der ikonischen Bildverarbeitung lassen sich drei grundlegende Bildoperatoren darstellen.

- Punktoperatoren**, die jeweils einen Bildpunkt unabhängig von seiner Nachbarschaft verändern,
- lokale Operatoren**, die die Nachbarschaft eines Bildpunktes mit in die Operation einbeziehen
- globale Operatoren**, die jeweils alle Bildpunkte zur Durchführung der Operation benötigen.

So gehören alle Verfahren der Grautransformationen z.B. Kontrastverbesserungen (image enhancement), zu den typischen Punktoperationen. Die Grauwerttransformation wird überwiegend über Look-up Tabellen (LUT) und in einer Hardwarerealisierung in der Framegrabberkarte durchgeführt. Bei den lokalen Bildoperationen bewegt sich ein  $K*L$  (meist  $K=L=3$ ) großes Operatorfenster zeilen- und spaltenweise über das Ursprungsbild und erzeugt aus allen sich im Operatorfenster befindlichen Bildpunkten einen neuen Bildpunkt. Die Verknüpfungsoperation kann linear sein z.B. Tiefpassfilterung zur Rauschbefeuerung oder nichtlinear wie z.B. das Medianfilter, dem ein Sortiervorgang zugrunde liegt (Rangordnungsfiler.). Als bekannteste globale Operation ist die zwei-dimensionale Fourier-Transformation (2-D-FFT) zu nennen. Hierbei wird das Bild aus dem Ortsbereich in den Ortsfrequenzbereich transformiert und (vergleichbar mit der ein-dimensionalen Fouriertransformation eines Zeitsignals) in periodische Grundfunktionen unterschiedlicher Ortsfrequenz (Frequenz) zerlegt. So zeigen sich nach der Transformation periodische Strukturen in der spektralen Darstellung als ausgeprägte Maxima.

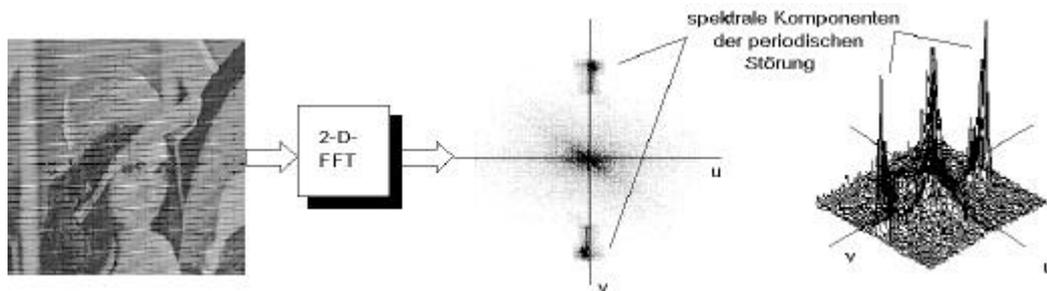


Bild 15 Bild mit Störung sowie zugehöriges Betragsspektrum der 2-D-FFT.

Das Bild 15 (links) ist mit einer waagerechten periodischen Struktur hoher Ortsfrequenz gestört. Im Betragsspektrum zeigt sich die Störung deutlich durch ausgeprägte Maxima ober- und unterhalb der Ortsfrequenz Null in der Bildmitte der Spektraldarstellung. Auf der Z-Achse der 3-D-Darstellung ist der Betrag der Intensität aufgetragen. Zur Entfernung der Bildstörung kann z.B. ein Filter im Ortsfrequenzbereich entworfen werden.

#### 4. Beispielhafte Anwendungen

In der industriellen Bildverarbeitung können die grundlegenden Verfahren und Methoden in der Bildverarbeitung nie als eine eigenständige Lösung eingesetzt werden. Vielmehr stellen die Methoden und Verfahren die Basis dar, die erst durch die ingenieurmäßige Leistung über mehrere Stufen zur Verfahrenslösung verbunden werden. Im Bild 16 ist eine Aufgabenstellung aus dem Bereich der Positionsbestimmung skizziert. In einer strukturierten Oberfläche wird die Verbindungsfuge zweier Teilflächen gesucht. Ein Lösungsansatz ist die Grauwertanalyse einer signifikanten Zeile des Bildes in der die Verbindungskante enthalten ist.

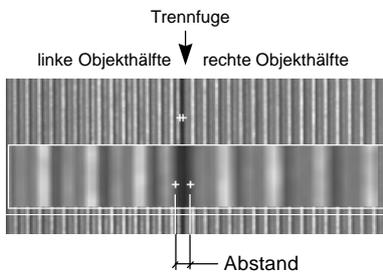


Bild 16 Objekte mit Trennfuge (unterer Teil gezoomt)

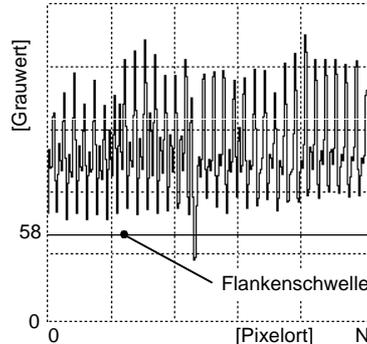


Bild 17 Grauwertverlauf einer Zeile durch das Objekt

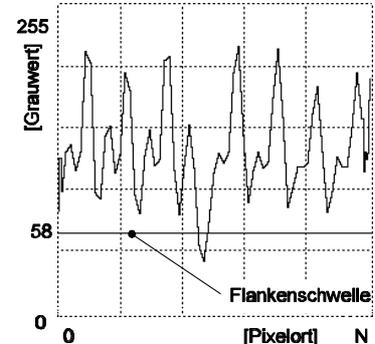


Bild 18 Grauwertverlauf einer Zeile (gezoomt)

Im Bild 16 ist das Graubild (mit gezoomtem Bereich) dargestellt. Die jeweiligen Grauwertprofile werden im Bild 17 bzw. für den gezoomten Bereich, im Bild 18 dargestellt. Ein deutlicher, dunkler Grauwertsprung charakterisiert die Verbindungsfuge, so daß z.B. über eine einfache Schwellwertoperation die Verbindungsfuge und deren Breite gefunden werden kann. Problemfelder in dieser Aufgabenstellung können sich z.B. durch die Ausrichtung des Objektes und durch einen festen Schwellwert ergeben. Ein weiteres Beispiel stammt aus der Qualitätskontrolle von Endlosdrucken. Hier sollen Druckfehler, Farbspritzer, Farbabweichungen etc. erkannt werden. Das Bild 19 zeigt einen typischen Druckfehler, einen sogenannten Rakelstreifen, der einen Farbwischer darstellt. Das Bild 20 zeigt den Grauwertverlauf einer ausgewählten Zeile in der sich auch der Rakelstreifen befindet. Ein Einbruch im Helligkeitsverlauf markiert hier den, bezüglich seiner Umgebung, dunkleren Rakelstreifen. Durch eine Umfeldbetrachtung (Bild 21) innerhalb eines lokalen Bereiches wird die Helligkeitsabweichung gefunden und über Merkmalsparameter, die das linke und rechte Umfeld sowie den Rakelstreifenbereich in Beziehung setzen, letztlich als Pixel zum Rakelstreifen und dann als Rakelstreifen klassifiziert.



Bild 19 Rakelstreifenfehler

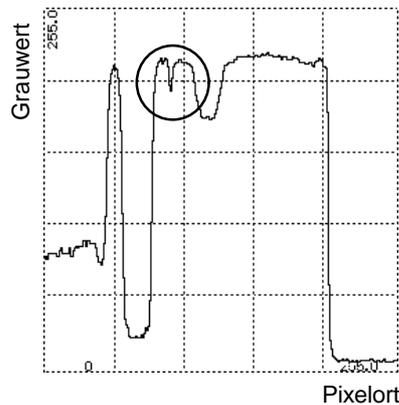


Bild 20 Grauwertverlauf einer Zeile

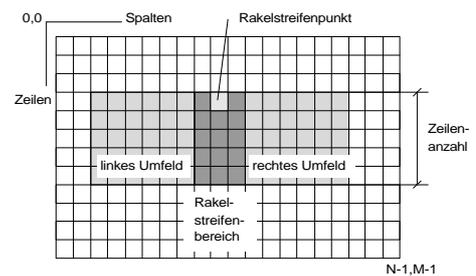


Bild 21 Umfeld des Rakelstreifens

#### 5. Ausblick

Die Bildverarbeitung gewinnt in zunehmenden Maße das Interesse der Industrie. Mit der heutigen Technologie der Hardwarekomponenten und der in den letzten Jahren enorm gesteigerten Rechenleistung sind die grundlegenden Methoden der Bildverarbeitung im Orts- und Ortsfrequenzbereich taktzeitfreundlich geworden. Damit wächst das Einsatzpotential der industriellen Bildverarbeitung als Querschnittstechnologie und wird für viele Branchen von großer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit.

## 6. Literatur (Auswahl)

- Abmayr, Wolfgang,  
Einführung in die digitale Bildverarbeitung,  
B.G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- Arnold, Lutz,  
Moderne Bildkommunikation,  
Telekommunikation Band 10,  
Hüthig-Verlag, 1992.
- Bässmann, H., Besslich, Ph.W.,  
Bildverarbeitung Ad Oculos,  
Springer-Verlag, 1991.
- Bräunl, T., Feyrer, S., Rapf, W.,  
Reinhardt, M.,  
Parallele Bildverarbeitung,  
Addison Wesley, 1995.
- Breuckmann, Bernd,  
Bildverarbeitung und optische Messtechnik in der industriellen Praxis,  
Franzsis-Verlag, 1993.
- Castleman, K.; R.,  
Digital Image Processing,  
Prentice-Hall Inc., 1996.
- Ernst, Hartmut,  
Einführung in die digitale Bildverarbeitung,  
Franzsis-Verlag, 1991.
- Fritsch, Klaus,  
Maschinelles Sehen,  
Akademie Verlag, 1991.
- Galbiati, Louis J. Jr.,  
Machine Vision and Image Processing Fundamentals,  
Prentice-Hall, 1990.
- Granger, Pierre Marie,  
Die Optik in der Bildgestaltung,  
Vogel Verlag, 1989.
- Haberäcker, Peter,  
Digitale Bildverarbeitung,  
Grundlagen und Anwendung,  
Hanser, 1987.
- Haberäcker, Peter,  
Praxis der digitalen Bildverarbeitung und  
Mustererkennung,  
Hanser, 1995.
- Hecht, E.,  
Optik,  
Addison Wesley, 1989.
- Hofmann, Christian,  
Die optische Abbildung,  
Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1980.
- Jähne, B; Massen, R; Nikolay, B; Scharfenberg, H.,  
Technische Bildverarbeitung - Maschinelles Sehen,  
Springer-Verlag, 1995.
- Jähne, Bernd,  
Digitale Bildverarbeitung,  
Springer-Verlag, 1991.
- Jaroslavskij, L.,P.,  
Einführung in die digitale Bildverarbeitung,  
Hüthig-Verlag, 1990.
- Küsters, Heiner,  
Bilddatenkomprimierung mit JPEG und MPEG,  
Franzsis-Verlag, 1995.
- Lim, Jae S.,  
Two-Dimensional Signal and Image Processing,  
Prentice-Hall, 1990.