

DIGITALE BILDVERARBEITUNG VON SEHR GROSSEN DATENMENGEN IN ASTRONOMIE, RAUMFAHRT, MEDIZIN UND INDUSTRIE



Arthur G. Sutsch
Institute for
Computer-assisted Research in Astronomy
CH-1715 Alterswil

© 1989, rev. Feb2004

Anmerkung: der Text wurde 2004 umformatiert, in seinem Inhalt jedoch belassen.

1. Einleitung

Die Bildverarbeitung hat in diesem Jahrzehnt grosse Bedeutung in verschiedenen Bereichen der Forschung und Industrie erlangt. Die verwendeten Rechner (in der Mehrzahl "Super-Mikros") und peripheren Geräte (Kameras, Scanner, Laserplatten Laufwerke, etc.) sind sehr leistungsfähig und haben Kostengrössen erreicht, die durchaus den industriellen Einsatz in grossen Stückzahlen rechtfertigen. In der Parlanze der Industrie "lässt sich der Einsatz rechnen".

An Hand von ausgewählten Beispielen wird hier auf die vielfältigen Anwendungen der Bildverarbeitung in der Astronomie, Raumfahrt, Medizin und Industrie eingegangen, die Grundlagen der Bildverarbeitung und der dazu gehörigen mathematischen Methoden werden erörtert.

2. Historischer Überblick

Bild 1 zeigt einen historischen Überblick der Trends in der digitalen Bildverarbeitung, nach Anwendungsgebieten sortiert. Es fällt auf, dass im militärischen und medizinischen Bereich bereits nach 1965 Aktivitäten entwickelt wurden mit den Sonden für die Erkundung der Mondlandeplätze. Wettersatelliten ESSA, SMS, TIROS, etc. begannen sehr früh ihre Arbeit. In der Medizin begann Ende der 1960er Jahre die digitale Radiographie.

Die damals verwendeten Rechanlagen waren sehr gross und im Vergleich zu heute nicht sehr leistungsfähig und besonders für die riesigen Datenmengen der Bildverarbeitung nicht ausgelegt. Erst mit dem Einsatz schneller Vektorrechner (Array Prozessoren) konnten annehmbare Verarbeitungszeiten erreicht werden.

Die Erderkundungsatelliten LANDSAT, etc., kamen in den 1970er Jahren zum Einsatz und dienen seither der Erkundung in der Ölbranche, Flächenbearbeitung von Agrarkulturen, Sedimentströmungen von Flussläufen, etc.

2.1 Medizin

In der Medizin war der Einsatz von CAT Scannern und Kernspin Tomographen nur mittels der Bildverarbeitung möglich (> 1975); auch Ultraschallanlagen sind heute meist mit digitalen Bildverarbeitungssystemen zur Kontrastverstärkung und Linienkonturanhebung ausgerüstet. Die digitale Radiographie hat heute den Stand erreicht, dass auch Kritiker unter den Ärzten die Qualität der digitalen Bilder als ebenbürtig mit den herkömmlichen Röntgenaufnahmen anerkennen müssen.

2.2 Astronomie

Der Einsatz der Bildverarbeitung in der Astronomie begann relativ spät mit dem Abscannen von Fotoplatten; erst die leistungsfähigen CCD Kamera-Sensoren brachten dann den online Durchbruch der Erfassung der Bilder am Teleskop mit direkter Auswertung durch leistungsstarke Rechner. Die Radioastronomie ist komplett auf die digitale Signalverarbeitung mit Bilddarstellung angewiesen und hat in den letzten Jahren besonders durch den Einsatz von sehr grossen Parabolantennen als Phasen-Array geschaltet (Very Long Base Line Interferometry) spektakuläre Ergebnisse geliefert, die zusammen mit den Erkenntnissen der optischen Astronomie im Moment sehr an den Grenzen des Verständnisses unseres Weltbildes rütteln. Zu diesem Thema wurden speziell Beispiele ausgewählt.

2.3 Industrie

Der Eintritt von bildverarbeitenden Systemen in die Industrie ist immer begleitet vom Kostenaspekt hinsichtlich Anschaffungskosten und Leistung in der Zeit. Wiederum sind es die modularen, kostengünstigen Lösungen auf Supermikro - Basis, die diesen Anforderungen heute gerecht werden. Die Akzeptanz dieser Systeme nimmt stetig zu, sobald das Verständnis für die Wirkungsweise und Anpassung an diese Technologie innerhalb eines Betriebes zunimmt. Wir stehen heute an der Schwelle der Einführung der bildverarbeitenden Technologien in die Wirtschaft im grossen Stil.

In der Industrie teilt sich die Anwendung von bildverarbeitenden Systemen in zwei grundsätzliche Richtungen:

(a) der Einsatz im erweiterten Bürobetrieb für dokumentarische, archivische Zwecke mit der Speicherung von grossen Mengen an Papiermaterial digital auf Laserplatten mittels Scannern und deren Be- und Verarbeitung auf Arbeitsplatzrechnern. Die Anforderungen an Systeme liegen hier im Besonderen an der Benutzerführung, dem guten deutschen Begriff des "Human-Computer Interface" oder der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Effiziente Suchsprachen zum Wiederfinden des gespeicherten Materials und schnell arbeitende Datenbankzugriffe auf Laserplatten sind hier eine absolute Notwendigkeit gepaart mit dem Systemdenken und der bestehenden Organisation eines Betriebes;

(b) die optischen Inspektionssysteme für Prüfung auf Masshaltigkeit und Toleranzen von Werkstücken in der Qualitätssicherung mit nachgeschalteter Auswertung der Signale "gut"

und "schlecht"; ein weiterer Anwendungsteil erweist in der Führung von Robotern durch Sichtsysteme mit Kameras grosse Dienste.

2.4 Zukunft der Rechnertechnologien

Die heutigen Rechnertechnologien werden bereits in wenigen Jahren als veraltet betrachtet werden müssen: wir befinden uns an der Schwelle der Einführung der Gallium Arsenid Technologie, die der Siliziumtechnologie den Rang in punkto Geschwindigkeit ablauft: in den kommenden Jahren werden unsere Personal Computer und Arbeitsplatzrechner mit der 100fachen Geschwindigkeit rechnen (bei gleichen Ausmassen und Kosten) !

Es scheint sehr schwer, eine Aussage über die Zukunft der Rechnertechnologien machen zu können, da nicht nur immer schnellere und leistungsfähigere Chips entwickelt werden, sondern auch komplett andere Technologien ins Feld rücken; man sieht diese Entwicklung am besten in der externen Speichertechnologie: wer hätte 1975 geahnt, dass man heute eine beschreibbare Laserplatte im 5.25 " Format zu ca. \$ 3000 kaufen kann, die 400 Mbyte speichert und dies mit der Geschwindigkeit einer sehr schnellen Festplatte!

Eine ähnlich rasante Entwicklung ist auf dem Gebiet der internen Speicherbausteine zu verzeichnen: kostete ein Modul zur Speicherung von 4000 Worten (16 Bit Worte) 1973 noch DM 20'000 auf einer Fläche von 25 x 10 x 2 cm, so erhält man heute 1 Million Worte (16 Bit) in 16 Bausteinen von je 2 x 0.8 x 0.3 cm zu ca. DM 5'000. DRAM Speicher Bausteine mit der 16-fachen Kapazität sind vorgestellt worden und in USA wird eine interne Speicher Technologie erprobt, die auf einer Fläche von 2 x 2 x 2 cm ca. 40 Millionen Computerworte speichert - bei ähnlichen Kosten wie dies heute erhältlich ist auf Festplattenlaufwerken, jedoch nun ohne Mechanik !

Die neuen von INTEL angekündigten Mikro-Prozessoren gehen bereits mit dem Anspruch einer "Cray-1 on a Chip" - die nächste Familie der 80860 CPU wird diese spektakulären Leistungen in einem PC in wenigen Jahren ermöglichen; um dem Ganzen noch einen Trumpf aufzusetzen, wurden erste Laborversuche mit dem Quantum-Effekt Transistor bestätigt, der den gesamten Leistungsbereich nochmals um den Faktor 100 bis 1000 erhöht!

3. Digitale Bilder

Der Unterschied "analog" und "digital" in Bezug auf Bilder wird selten vom Nicht-Fachmann verstanden, deshalb eine kurze Erklärung hierzu: im Gegensatz zu der kontinuierlichen Farbe in einem Gemälde ist ein digitales Bild immer in ein "Raster" aufgebrochen. Die Struktur des digitalen Bildes ist vergleichbar mit der eines Zeitungsbildes: beim näheren Hinsehen löst sich das digitale Bild in feine Punkte auf, die die individuellen Grundelemente des Bildes darstellen.

Der Begriff "digital" birgt die Numerik in sich: ein digitales Bild ist in seinen Rasterelementen (im Englischen als "Pixel" oder "Pel" - "Picture Element" bezeichnet) ein numerischer Wert. Im Bild 2 sind zwei digitale Bilder ein und desselben Objektes dargestellt.

Bild 2a zeigt ein "binäres" Bild, d.h. das Bild wird im Rechner nur durch die zwei Grundwerte 0 und 1 dargestellt, also Schwarz und Weiss. Die Rasterauflösung des Bildes ist 8 x 6 Pixel (horizontal mal vertikal); das Bild besteht aus 48 diskreten Elementen. Dabei wird willkürlich gewählt, dass Weiss mit 1 und Schwarz mit 0 dargestellt (es könnte genauso gut umgekehrt sein) ist.

Bild 2b hat die gleiche Pixelauflösung (6 x 8), assoziiert jedoch den einzelnen Pixels einen Wert zwischen 2 und 255 zu. Hier ist es nun möglich, jedes Pixel mit 255 Graustufen oder 8 Bit ($2^8 = 256$) darzustellen (die sogenannte 8-Bit Tiefendarstellung), die jedoch in der Reproduktion des Bildes hier auch wieder als Schwarz / Weiss ausfällt: man setzt alle Pixel mit Wertigkeit unter 100 (Beispiel) zu schwarz, alle von 101 bis 255 zu weiss in der Darstellung. Intern im Rechner jedoch arbeitet man mit den echten Zwischenwerten und kann damit verblüffende Informationen aus einem weniger kontrastreichen Bild ziehen, wie in den nachfolgenden MARINER 9 Aufnahmen ersichtlich ist (Bild 8 a und b).

Anstatt der Graustufen kann auch ein beliebiger Farbwert gesetzt werden, z.B. von 255 bis 230 weiss, von 229 bis 184 gelb, von 183 bis 155 grün, etc. Diese reine willkürliche Zuordnung nennt man auch "Pseudo-Farben", da sie mit der ursprünglichen Farbe des Objektes nichts gemeinsam haben. Man greift immer dann zu dieser Darstellung, wenn besondere Übergänge, Kontraste, Kanten, etc. sichtbar gemacht werden sollen; die folgenden Anwendungen zeigen dies sehr deutlich (leider in der Reproduktion hier nur in Schwarz / Weiss). Farbtabelle werden erstellt und zu dem jeweiligen Bild geladen (sog. "LUT's - Look Up Tables"); sie dienen zum besseren Verständnis des bearbeiteten Bildes und erlangen ihre tiefe Bedeutung erst durch die mathematischen Behandlungsmethoden des digitalen Bildes durch den Fachmann.

Bild 3 zeigt ein solches digitales Bild sehr stark vergrößert von der Ringstruktur des Saturn, aufgenommen durch VOYAGER. Jeder Bildpunkt ist mit 8 Bit Tiefe dargestellt (255 Graustufen). Das Bild enthält 240'000 Bits (150 Linien mal 200 Bildpunkte zu je 8 Bit per Pixel); die schwarzen Pixel sind Reseau Marken für die Entzerrung und können per Programm aus dem Bild entfernt werden.

Wird ein solches Bild in 8-Bit Worten (Bytes) in einem Computer dargestellt, so sind 240'000 / 8 bits oder 30'000 Byte oder 30 Kilobyte Speicher für das reine Bild (ohne Zusatzinformation) nötig. Voyager hat Tausende dieser Bilder übermittelt (Technologiestand 1978); daraus ersieht man den hohen Speicherbedarf der digitalen Bildverarbeitung.

Heutige Sensoren übermitteln 2048 x 2048 x 12 bit pro Bild - oder 48 Megabit (ca. 8 Megabyte) in ca. 1/10 Sekunde; man versteht nun, weshalb auch Laserplatten von 10 Gigabyte sehr schnell gefüllt sind und auch schnellste Bussysteme zum Transfer der Bilder nicht oder nur bedingt ausreichen.

4. Digitales Bildverarbeitungssystem

Das Konzept eines modularen Bildverarbeitungssystems ist in Bild 4 dargestellt. Die Elemente sind:

4.1 die Umgebung:

- die Beleuchtung der Szene oder des Messplatzes; dies kann eine natürliche (Sonne, etc.) oder gewählte Beleuchtung sein, je nach Aufgabe (Fotolampen, Laser, etc.);
- der Messplatz oder die Szene als solche;
- der Transport oder die Handhabung eines Stückes (Papier);
- der Bildwandler, zumeist eine Kameras, aber auch ein Laser.

4.2 das digitale Bildverarbeitungssystem:

- die Bildaufbereitung von der Kamera/Laser;
- die Bildspeicherung im Rechner / auf einer Platte, Band, etc.;

- die Bildverarbeitung entweder mit Spezialhardware oder mittels der CPU des Rechners;
- meist ein Mikroprozessor als CPU, der sowohl die Berechnungen als auch die Ablaufsteuerung des Gesamtsystems regelt.

Durch die Verwendung von sehr leistungsfähigen Mikroprozessoren erreicht man heute Verarbeitungszeiten zu Kosten, die vor 3 Jahren noch nicht denkbar waren. Wenn der Entwickler von Maschinensoftware oder Spezialhardware die Struktur eines modernen Mikroprozessors (Intel 80386/80486 oder Motorola 68030, Transputer, etc. als Beispiele für 1988) und seiner Peripheriebausteine berücksichtigt können Ersparnisse in der Verarbeitungszeit von 1:10 gegenüber konventionellen Lösungen auftreten (ohne Vergrößerung der Kosten) und somit zwischen Erfolg und Nicht-Erfolg in einer Industrieanwendung entscheiden.

5. Bildwandler

Als Bildwandler für ein digitales Bildverarbeitungssystem können verschiedene Elemente eingesetzt werden, die von der Videokamera bis hin zum gepulsten Laser reichen; wir beschränken uns hier auf den Einsatz von Kameras mit der modernen CCD (Charge Coupled Device) Technologie, die sehr hohe Auflösungen zulassen und universell zum Einsatz kommen (FAX, Scanner, Industrielle Prüfungen, etc.). CCD Sensoren haben nur niedrige Betriebsspannungen, sind absolut verzerrungsfrei, da plan, können nicht einbrennen, wie dies Röhrenkameras als Übel besitzen und sind rauschfrei, d.h. besitzen keine Grundspannung als Signalverfälschung. Zudem sind CCD Sensoren sehr robust und unempfindlich gegen Überbelichtung und haben kein Nachziehen im Bild.

Der CCD Sensor arbeitet als Hybridbauteil zwischen Analogem und Digitalem Bildelement: das Bild wird gerastert je nach Auflösung (s. unten) des Sensors aufgenommen, das einzelne Bildelement (Pixel) jedoch muss man sich wie einen Eimer für Photonenladung vorstellen: das Licht (die Photonen) werden in dem Eimer (der einzelnen Bildzelle) gesammelt und als Spannung seriell hintereinander ausgelesen.

In Bild 5 ist ein solcher Entladevorgang verdeutlicht: Die Intensitätskurve (INTENSITY) des zu messenden Signals wird an den Punkten mit den Knoten "gesampelt" (Neu-Deutsch), d.h. selektiv erfasst; hier wird bereits die Rasterung der digitalen Werte sichtbar: man kann in dem digitalen Bild die weichen Übergänge der zu erfassenden Kurve nur durch sehr grosse Auflösung des Sensorelementes darstellen. Ein "Treppe" bleibt ein digitales Bild jedoch immer.

Die POTENTIAL WELLS, d.h. die Photonen-Eimer werden entsprechend der obigen Intensität gefüllt. Danach wird der erste POTENTIAL WELL (Eimer) nach rechts im Bild geschoben und ausgelesen, d.h. durch einen sehr schnellen Analog / Digital Wandler in ein numerisches Signal je nach seiner Füllung in eine Zahl im Rechner (und je nach Bit-Tiefe des A/D Wandlers in Werte zwischen 0 und der 2^x Zahl) umgeformt; die anderen Eimer rücken nach und es wird der nun folgende Eimer durch den A/D Wandler digitalisiert und der Wert des Eimers in einen numerischen Wert umgewandelt. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange bis das gesamte Bild ausgelesen ist. Bei den heutigen Taktzeiten kann man mit 20'000'000 Pixel (=Eimer) pro Sekunde auf diese Weise auslesen und in den Rechner bringen (Industrie); in der Militärtechnik hat man heute Bausteine, die mit 240 Millionen Pixel pro Sekunde digitalisieren.

Bild 6 zeigt die Bauform der CCD Bausteine, die in den unterschiedlichen Varianten eingesetzt werden: Der obere Teil des Bildes zeigt die Zeilensensor Anordnung, das untere Bild zeigt einen Flächensensor, beide auf dem Hintergrund einer extrem grossen Vergrößerung ihr einzelnen

Elemente. Die Grössen der einzelnen Bildelemente sind von Hersteller und Verfahren zu Verfahren unterschiedlich und können Grössen von 7 x 7 Mikrometer bis 13 x 20 Mikrometer annehmen.

5.1 CCD Flächensensor

Die CCD Flächensensoren sind heute sehr verbreitet (neuestes Einsatzgebiet: Videokameras) und haben unterschiedlichste Auflösungen: von 256 x 256 Elementen bis zu 1200 x 1100 Elemente (kommerziell) und 4096 x 4096 (auch: 16000 x 16000) für militärische Einsätze. Sie können je nach Ausführung 25 mal oder mehr pro Sekunde ausgelesen und einem Speicher oder Rechner zugeführt werden, sodass ein Bild erzeugt werden kann. Die Bauform der Elemente ist meist in DIL zur Montage auf Leiterplatten ausgeführt.

5.2 CCD Zeilensensor

Die Zeilensensoren bestehen aus einem linearen Array von lichtempfindlichen Zellen, die Kante an Kante angeordnet sind und ein "Bild" somit einer Zeile entspricht. Will man aus der gewonnenen Zeileninformation ein zweidimensionales Bild aufbauen, so muss das Objekt oder der Sensor in wiederholten Auslesevorgängen über dem Objekt / Sensor gefahren werden.

Das bekannteste, wenn auch nicht gerade beste Beispiel für gute Bildverarbeitung ist die FAX Maschine: das Papier wird durch einen Sensor mit z.B. 1728 Elementen pro Zeile zeilenmässig abgetastet, das Papier nachgerückt und der Abtastvorgang beginnt von Neuem. In der CCITT Norm (Recommendation T.4) wird nach Gruppe 3 (der heutige Maschinenstandard der FAX Geräte) für ein DIN A4 Format heute 1728 Pixel pro Zeile vorgeschrieben mit einer (ungleichen) Auflösung in der Vertikalen, d.h. dem Vorschub von 3.85 bzw. 7.7 Linien / mm. Diese Informationsmenge wird nach einem speziellen Verfahren (s.unten) kodiert und übermittelt. Die teilweise schlechte Darstellung auf der Empfängerseite hat hauptsächlich mit Übertragungsfehlern zu tun und ist kein Fehler in der Art des verwendeten Algorithmus.

6. Mathematische Behandlung von Digitalen Bildern

6.1 Datenkompression

Aufgrund der grossen Datenmengen in digitalisierten Bildern speichert und transferiert man heute Bilder fast ausschliesslich in komprimierter Form. Die Verfahren hierzu sind sehr unterschiedlich, teilen sich jedoch grundsätzlich in Verfahren mit absolut rekonstruierbaren Algorithmen für den Originalinhalt und solchen, bei denen durch die Kompression und Wiederaufbau des Bildes Information verloren gehen kann. Algorithmen mit nicht-hundertprozentigem Bildaufbau haben zumeist die Fähigkeit zur grösseren Kompression (statistische Verfahren). Es stört auch nicht, wenn in einem Bild eines Fax jedes 1000. Bildelement 0 statt 1 an Information trägt (schwarz / weiss).

Als Beispiel sei wieder das Fax genannt; man geht davon aus, dass einzelne Bildelemente Schwarz oder Weiss sehr selten auftreten, d.h. immer Gruppierungen von Bildelementen stärker vorkommen. Dies ist auch der Fall, wenn man den vielen weissen Raum auf einem Blatt Papier sieht; auch die Buchstaben der Schrift bestehen aus mehr als einem Pixel Information, sodass man durch Darstellung der Pixel in Codes sehr viel Platz sparen kann. Dieses Verfahren wird allgemein Run Length oder modifiziertes Huffman Verfahren genannt. Es versagt natürlich, wenn man eine

sehr häufig alternierende 0,1 Kombination antrifft - dann benötigt man mehr Speicher als wenn man das Original senden würde.

Bild 7 zeigt die CCITT Tabelle für die Run Length Codes im Fax Betrieb: sobald man grosse Zusammenhänge an weissen und schwarzen Pixel überträgt, kommt der Kompressionsfaktor zur Anwendung.

Ein Verfahren, welches von uns zur Hardware in einem sehr schnell arbeitenden Gate Array Chip entwickelt wurde ist der binäre Symbolersatz sortiert nach der Frequenz des Vorkommens von Bitmustern. Die Kompression erzeugt eine absolut 100 prozentige Abbildung des Original-Datensatzes und kann sogar im Rechner anstelle der Originaldaten verarbeitet werden.

Als Beispiel soll das Wort "Verarbeitung" in diesem Text genannt werden: normalerweise bedarf die Darstellung dieses Wortes (ein Binärmuster spezieller Art) $12 \times 8 \text{ Bit} = 96 \text{ Bit}$ für die Übertragung oder Speicherung. Da das Wort "Verarbeitung" jedoch in diesem Text mit einer Frequenz von ca. 200 vorkommt, d.h. jedes 200. Wort "Verarbeitung" heisst, kann es durch ein Binärsymbol von 2^8 (damit lassen sich Kombinationen von Frequenzhäufigkeiten 128 bis 255 darstellen, also auch die Zahl 200) oder 8 Bit dargestellt werden; diese Kombination von 8 Bit ist eindeutig und kann nun anstelle der 96 Bit verwendet werden. Es ergibt sich also ein Kompressionsfaktor der Daten von 96 zu 8 oder 1:12.

6.2 Filterfunktionen und Bearbeitung von digitalen Bildern

Aufgabe der Bildverarbeitung ist es, relevante Information, die im Bild verborgen ist und nicht dem Benutzer direkt ersichtlich ist, hervorzuheben.

Dazu bedient man sich diverser mathematischer Algorithmen (Funktionen), die eine Kontrastverstärkung hervorrufen können, das Rauschen in einem Bild, die Unschärfe eliminieren oder man setzt Linienverfolgungsalgorithmen ein, Kantendetektionen zum Abgrenzen verschiedener Interessengebiete im Bild, etc. Die Namen der Filter Laplace-, Sobel-Operator, etc. sind öfters zu hören.

Diese Funktionen sind nur in der Hand eines Fachmannes mit dem mathematischen Hintergrund sinnvoll verwendbar; der Benutzer einer Maschine sollte von diesen Methoden nichts wissen müssen, da durch die teilweise sehr komplexe Mathematik auch sehr viele Artefakte in einem Bild erzeugt werden können, die mit der Realität nichts zu tun haben.

Als einfaches Beispiel zeigen die Diapositive des Hauses das Originalbild mit seiner 3-D Zuordnung im Rechner, einen Kantendetektionsfilter zur Abgrenzung der einzelnen Gebiete und eine Interpretation der Gebiete für den Rechner. Bearbeitet man viele dieser Bilder, so will man durch automatisches Erkennen von Merkmalen eine rechnermässige Erkennung so weit als möglich einführen (Luftbildauswertung). Dazu ist es nötig, die Kenngrössen von solchen gewünschten Merkmalen fest zu legen, damit der Rechner diese interpretieren kann.

7. Beispiel aus der Raumfahrt

Die Übermittlung und Auswertung von Bildern aus der Raumfahrt und Sondentechnik ist besonders schwierig, da man keinen direkten Vergleich auf der Erde hat; man ist auf Bekanntes angewiesen und muss die Algorithmen sehr genau kennen, um relevante Information aus dem

Datenmaterial zu ziehen. Erschwerend kommt hinzu, dass die Bilder meist nur einmal übermittelt werden können, da sich die Sonde mit grosser Geschwindigkeit an dem Objekt vorbei bewegt und allein die Übertragung des Signals von der Sonde zur Erde wie im Fall Uranus vor zwei Jahren 2 Stunden beträgt auf Grund der enormen Entfernung.

Das hier gezeigte Beispiel ist eine Aufnahme der MARINER 9 Sonde (Jet Propulsion Laboratory) eines Oberflächendetails auf dem Planeten Mars. Die beiden Bilder (Bild 8 a und b) zeigen sehr anschaulich, welche Leistungen durch die Bildverarbeitung erreicht werden können: das obere mit dem scheinbar grauen Bildhintergrund beinhaltet die Information von Bild 8 unten nach erfolgter Verarbeitung und zeigt die Kontraste an der Oberfläche neben und in dem Krater nach einem weiteren Bearbeitungsschritt.

8. Beispiel Astronomie

Bewusst wurde das Beispiel Astronomie aus der öffentlichen Diskussion um das grundsätzliche Verständnis unseres Weltbildes gewählt, nicht nur weil Herr Halton Arp jetzt in München am Max Planck Institut tätig ist: es war erst durch die Bildverarbeitung möglich, den Beweis zu liefern, dass unser Verständnis von Raum und Zeit revidiert werden muss. Das Bildmaterial, auf dem diese Bildverarbeitung beruht ist z.T schon 20 Jahre alt.

Eine kurze Erläuterung zu den Einzelbildern des Bildes 9: Quasare beschäftigen uns seit ihrer Entdeckung 1963 als Objekte, die nicht in unser Weltbild ohne weiteres eingegliedert werden können: sie stehen - wenn mit herkömmlichen Masstäben der Rotverschiebung des Lichtes gemessen - am Rande unserer Welt als riesige leuchtende Gebilde ohne richtige Erklärung für den inneren Mechanismus, weit jenseits der bekannten Galaxien; zwischen den meisten Galaxien und den Quasaren besteht ein "leerer" Raum von Milliarden von Lichtjahren (nach herkömmlichem Verständnis). Die Verschiebung der Spektrallinien des Lichtes hin zum Roten werden als direkter Masstab für die Entweichgeschwindigkeit und damit Entfernung eines Objektes gewertet (der optische Doppler - Effekt).

Halton Arp ist als einer der besten Forscher auf dem Gebiet der "peculiar galaxies" (entarteter Galaxien) und Quasare seit langen Jahren bekannt. Auf einigen seiner Aufnahmen mit den grössten Teleskopen der Erde schien er optische Verbindungen zwischen einer solchen Galaxis in - herkömmlich- normalen Abständen und einem Quasar zu erkennen. Die Veröffentlichung solcher Erkenntnisse brachten ihm neben viel Erstaunen vor allem Diffamierung ein (unmöglich ist was nicht sein darf). Durch schon fast besessene Arbeitsleistung und Methodik konnte er diese Effekte an vielen Galaxien nachweisen: eine optische Massenverbindung zwischen einer normal entfernten Galaxis und (mehreren) Quasaren, die in einer weitaus grösseren Entfernung stehen "müssen" nach unserem Denkmodell.

Die Aufnahmen 9 a bis d basieren sowohl auf Auswertung von Photoplaten als auch auf direkten CCD Aufnahmen am 4 Meter Teleskop am Kitt Peak/ Arizona und zeigen eindeutig, dass nicht nur eine Massen-Verbindung zwischen der Galaxis NGC 4319 (Bildmitte) und dem Quasar Markarian 205 ("Anhängsel" in der unteren Bildhälfte) besteht, sondern auch eine Orientierung von Materie bzw. Strahlung im Innern der Galaxis in die Richtung des Quasars deutlich ist. Die Bildverarbeitung zeigt diese Phänomene sehr deutlich und lässt auch die Überlagerungen der einzelnen Phänomene zu.

Das Sensationelle an dieser jetzt erst (September 1988) veröffentlichten Erkenntnis ist, dass damit der Beweis geliefert wurde, dass Quasare mit "normalen entarteten" Galaxien in direkter Verbindung stehen können; dies bedeutet jedoch, dass wir unser Verständnis vom Universum neu

überdenken müssen, da eine einfache Auslotung nach dem Masstab der Rotverschiebung nicht mehr haltbar ist. Die Auswirkungen dieser Aussage sind enorm und können noch nicht abgesehen werden.

Das Beschämende an dieser Entdeckung ist, dass Halton Arp schon Anfangs der 1980er Jahre dieses Postulat aufstellte, das Bildmaterial schon seit Jahren analysiert wurde und die Veröffentlichungen absichtlich seit Jahren zurück gehalten wurden, ihm die Arbeit an den grossen Instrumenten z. T. untersagt wurde. Weltbildkorrektur wie im Mittelalter?

9. Medizin

Ähnliche Bildverarbeitungstechniken wie in der Astronomie haben zu dem hier angeführten Beispiel für die Bildverarbeitung in der Medizin geführt: mit diesen Bildern ist es uns gelungen, den Brustkrebs in seiner sehr frühen Form (als Ablagerungen von Mikro-Kalzium Partikeln von ca. 0.07 mm Grösse) in Mammografien auf Röntgenfilmen nachzuweisen. Mit dem Nachweis solcher frühen Stadien kann es möglich sein, lokale Therapie statt einer Totaloperation später anzuwenden. Durch den enormen Zuwachs an Brustkrebs bei uns (> 10 % per annum) ist die Arbeit auf allen Gebieten angebracht, die zur Ursache des Übels vordringen kann.

Die Aufnahmen wurden hochauflösend mit 12 Bit Tiefe (4096 Graustufen) digitalisiert und mit verschiedenen Operatoren beaufschlagt mit dem Ziel, die kleinen Kalzium Körner zu isolieren; sie sind in Pseudo-Farben für die einfachere Erkennung durch den Menschen dargestellt. Die Körner in der oberen Bildhälfte haben ca. 0.1 mm - 0.2 mm Durchmesser und dienen uns als Referenzteile. Unsere Aufgabe war es, weitere noch kleinere Kalzium Ablagerungen im Brustgewebe zu finden.

Zum Erstaunen aller Beteiligten ergeben sich folgende Resultate: Mikro Kalzium Körner sind anscheinend immer in einem Kokoon-artigen Gewebe eingesponnen, dessen Struktur vom Gynäkologen nicht erklärt werden kann. Der Hinweis auf starke Kokoon - Struktur lässt auf den Verdacht von eingebettetem Mikro-Kalzium schliessen (Bild 10).

Die Arbeiten wurden in unserem Institut unter Anleitung eines Spezialisten auf dem Gebiet der Brustkrebs - Früherkennung durchgeführt.

Ziel einer zu bauenden "Maschine" wird es sein, die Vorauswertung für den Arzt durchzuführen, d.h. ihn auf solche Anomalien hinzuweisen und Anzeigen für offensichtliches Vorkommen von Mikro-Kalzium zu erbringen. Als weiterführende Analyse dieser Arbeiten ist daran gedacht, eine Interpretation dieser Phänomene mittels künstlicher Intelligenz vorzunehmen.

Die Notwendigkeit der Benutzerfreundlichkeit eines solchen Gerätes kann nicht deutlich genug unterstrichen werden, da man keinem Arzt zumuten kann, auch noch Bildverarbeitung zu lernen. Diese Entwicklungen erfordern meist ähnlich hohen Zeit- und Kostenaufwand wie der Auswertungsteil.

10. Dokumentations- Archivierungsanlage ARCHDOC

Für den Einsatz der Dokumentation und Archivierung von sehr grossen Datenmengen in Verwaltung, Dienstleistungsgewerbe und Industrie wurde das System ARCHDOC konzipiert. Als

modulares Konzept verwendet es weitgehend Standard Hardware, basiert auf der INTEL Rechner - Familie und kann in die DOS Umgebung von Arbeitsplatz - Rechnern eingebunden werden. Scanner, Kameras, etc. können als Eingabemedium dienen; die Speicherung geschieht auf kleinen (5.25") Laserplatten zu je 2x 400 Mbyte oder auf grossen Laufwerken mit > 2 Gigabyte Kapazität. Die Ausgabe der Bilder erfolgt je nach Anforderung auf sehr schnellen Displays mit 200 dpi Auflösung für eine DIN A4 Seite oder 150 dpi Monitoren mit Einzel - oder Mehrfachbild Darstellung. Eine Software für die Bearbeitung der Bilder ist vorhanden.

Kernstück der Anlage in der Software ist eine sehr benutzerfreundliche Suchsprache mittels derer eine Volltextsuche in grossen Datenbanken sehr schnell möglich ist; durch künstliche Intelligenz Algorithmen ist es auch möglich, nach umliegenden Begriffen zu suchen, wenn der gesuchte Begriff nicht direkt bekannt ist. Diese Funktion liefert in den meisten Fällen die Lösung für den Benutzer nach der ersten Benutzung der "Erweiterungs - Funktion".

Die Verbindung der Volltextsuche in der Datenbank zusammen mit einem Aufruf des dazu gehörigen Bildes auf dem hochauflösenden Monitor erschliesst ein sehr breites Anwendungsfeld (Publikationen, Handbücher, etc.). Das Einbringen der Textdaten kann von aussen (Host-Rechner, Datenbank, etc.) oder mittels OCR (optischer Charakter Erkennung) des Textes geschehen.

Obwohl ein Indexieren im herkömmlichen Sinne mit dieser SQL nicht erforderlich ist, besteht die Möglichkeit, eine umfangreiche Indexierung zusätzlich zu der Volltextsuche zu vergeben (Beispiel: in einem Zeitungsartikel, der im Volltext aufgenommen wird, steht meist nicht der Name der Zeitung und deren Erscheinungsdatum).

Die Grafik in Bild 11 gibt Aufschluss über die Funktionen der ARCHDOC Anlage mit ihren Einzelkomponenten beim Einlesen eines Dokumentes.

11. Referenzen:

"Sky and Telescope", September 1988, pg 234, Jack Sulentic, University of Arizona, USA

"Quasars, Redshifts and Controversies", by Halton Arp, 1987, Interstellar Media, Berkeley, USA

EG&G Reticon, Sunnyvale, CA. USA 055-0014 / 58163

Advanced Micro Devices, Sunnyvale, CA. USA, IH-Mu-5M-1/86-0

"Digital Image Processing", by William Green, 1983, Van Nostrand Reinhold Electrical/Computer Science and Engineering Series, New York, USA.