

20 Jahre Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse – 10 Jahre Bildverarbeitung am ZKI

Herrn Prof. Dr. sc. nat. V. Kempe zum 50. Geburtstag gewidmet

Mitteilung aus dem Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR

Das Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR begeht in diesem Monat sein 20jähriges Jubiläum. Aus dem gegebenen Anlaß stellt der folgende Beitrag wichtige Aktivitäten dieses Institutes auf dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung vor, ein Thema, das international wie national auf Grund seiner Bedeutung für die Automatisierung von Produktionsprozessen mit höchstem Interesse bedacht wird.

Ende der siebziger Jahre gab es in der DDR eine Reihe von Arbeiten zur rechnergestützten Bildverarbeitung, die in mehr oder weniger enger Zusammenarbeit mit der Industrie weiteren Anwendern durchgeführt wurden. Diese machten deutlich, daß sich hier eine bedeutsame Disziplin sowohl im Hinblick auf neuartige Ansprüche an die Theorie als auch extreme Anforderungen an die Gerätetechnik entwickelte. Hervorzuheben sind hier vor allem die an der Medizinischen Akademie Dresden „C. G. Carus“ in Zusammenarbeit mit dem Kombinat VEB Carl Zeiss JENA und am Institut für Züchtungsforschung der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR in Quedlinburg gemeinsam mit dem VEB Kombinat Robotron durchgeführten Entwicklungen. Parallel dazu arbeiteten Forschungsgruppen der Akademie der Wissenschaften der DDR an ähnlichen Problemen für die Erdfernerkundung, Astronomie und Elektronenmikroskopie. In der Wissenschaftskooperation mit der UdSSR und anderen RGW-Ländern auf den Gebieten der Erdfernerkundung und der Robotertechnik trat zunehmend der Wunsch, daß sich die DDR dem Problemkreis der Bildverarbeitung in stärkerem Maße zuwenden sollte.

Diesem Erfordernis entsprechend, wurde am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR eine Forschungsgruppe

aufgebaut, deren erste Aufgabe in der Schaffung eines experimentellen Bildverarbeitungssystems (BVS) auf der Basis des sowjetischen Rechners SM4 und einer intelligenten Farbdisplaystation des ZfK Rossendorf bestand, wobei auf Kooperationsleistungen des Instituts für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR, des Zentralinstitutes für Molekularbiologie der Akademie der Wissenschaften der DDR und des Zentralinstituts für Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR zurückgegriffen werden konnte.

Ein bedeutsamer Fortschritt im Entwicklungstempo wurde erreicht, als mit dem Staatlichen Hydrometeorologischen Dienst der UdSSR ein aktiver Bedarfsträger und mit dem VEB Kombinat Robotron ein leistungsfähiges Überführungskombinat auf den Plan traten.

Mit dem Beginn der vollen Serienfertigung des Bildverarbeitungssystems BVS Robotron A 6470 (Bild 1) und seiner breiten Einführung in der UdSSR fand die Schlüsselaktivität des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse im Zeitraum 1979–83 ihren erfolgreichen Abschluß. Erstmals gelang mit dieser ZKI-Entwicklung die exportrelevante Produktion spezialisierter Rechentechnik dieser Leistungsklasse. Sie brachte die DDR auf dem Gebiet der Bildverarbeitung in die eindeutige Spitzenposition innerhalb des RGW, und das VEB Kombinat Robotron zählt seitdem bezüglich des Produktionsvolumens zu den größten Herstellern von Bildverarbeitungstechnik in der Welt. Neben der beachtlichen internationalen Anerkennung in der Fachwelt, die die mit diesem System nachfolgend geschaffenen Anwendungslösungen und theoretischen Ergebnisse zur parallelen Bildverarbeitung gefunden haben, wird die Bedeutung dieser Leistung auch belegt durch ein bis 1988 insgesamt erzielt Exportvolumen von etwa 303 Mio Mark, darunter zum erheblichen Anteil für volkswirt-

schaftlich bedeutsame Anwendungen in der UdSSR.

Die nachfolgend beschriebenen Leistungen vermitteln einen Überblick über jene Forschungsergebnisse des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse, die insbesondere durch die Einführung des BVS A 6470 und durch die Konzentration auf Probleme der visuellen Inspektion im Zeitraum 1983–1988 erzielt wurden. Zur Lösung von Aufgaben der visuellen Inspektion wurde gemeinsam mit dem VEB Studioteknik Berlin ein Bilderkennungssystem (BES) konzipiert und 1986 in die Produktion überführt. Dieser Entwicklung war die Schaffung eines modular aufgebauten visuellen Systems unter Verwendung von Mikrorechner-Baugruppen (MAVIS) vorangegangen.

Systemsoftware für das Bildverarbeitungssystem A 6470

Die Systemsoftware besteht aus drei Teilen:

- der Sprache DSR mit dem dazugehörigen Compiler und Laufzeitsystem,
- einem grafischen Editor zum Erstellen von DSR-Quellen,
- einer Bibliothek von Grafik- und Statistikroutinen.

Das System stellte einen gelungenen Kompromiß zwischen Laufzeiteffektivität, Nutzerfreundlichkeit und Compilerzeiteffektivität dar. Es entsprach in der äußeren Gestaltung zu seiner Zeit den internationalen Trends und spiegelte die verwendete Spezialhardware sehr gut wieder. Seiner Einführung ist es vor allem zu verdanken, daß innerhalb von kurzer Zeit zahlreiche anspruchsvolle Anwendungslösungen auf dem BVS A 6470 realisiert werden konnten.

Softwarepaket IPU (Image-Processing-Utilities)

IPU ist ein Programmpaket zur interaktiven Bildverarbeitung mit etwa 120 Basisfunktionen, das den gesamten Bereich der Bildverarbeitung überstreicht, mit den Schwerpunkten Multispektralverarbeitung, Statistik, geometrische und radiometrische Korrektur, Filter und Klassifikation. Hauptmerkmal ist das flexible Bildformat und seine Transparenz bezüglich der Anwendungsprogramme. Hauptanwendung war die Fernerkundung. Die Entwicklung erfolgte in Kooperation mit dem IKI Moskau, dem Kombinat Karthographie und Geodäsie, dem Zentralinstitut für Physik der Erde sowie dem Zentralinstitut für Molekularbiologie der Akademie der Wissenschaften der DDR. Es fand breite Anwendung in der DDR und gehörte zum Vertriebsprogramm vom VEB Robotron-Vertrieb Berlin. Das Softwarepaket IPU bildete die Basis für die Entwicklung der verschiedensten Bildverarbeitungsfunktionen für unter-



1 Bildverarbeitungssystem BVS Robotron A 6470 im Einsatzfall der Mikroskopbildanalyse

schiedliche neuere Systeme. Internationale Anerkennung konnte insbesondere durch den Einsatz im Rahmen des Umweltprogramms der UNO erzielt werden.

Leiterplattenkonstruktionsarbeitsplatz LKA

Die Nutzung der Grafiksteuerung des BVS A 6471 als Rasterdisplay für den Einsatz in CAD-Arbeitsplätzen erreichte mit der Schaffung der leistungsfähigen Software für den interaktiven Entwurf von Leiterplattenlayouts (siehe 2. Umschlagseite) einen entscheidenden Durchbruch. Die Integration dieser Leistungen im LKA war die Voraussetzung für ihre weitere Verbreitung innerhalb der DDR.

Der LKA wird effektiv von mindestens 25 Betrieben, insbesondere in Berlin, zur Umsetzung von Leiterbildentwürfen eingesetzt. Er ermöglicht das interaktive Verarbeiten von Skizzen, die Ableitung TGL-gerechter Leiterbilder bei gleichzeitiger geometrischer Korrektur und Fehlertestung sowie die Ausgabe von Datenträgern für die Herstellung der Fertigungsunterlagen für die Leiterplatten. Wegen seiner Nutzerfreundlichkeit und seines Komforts hat der LKA in vielen Betrieben ein Beispiel für die Einführung von CAD-Technik gesetzt.

Automatische Auswertung von Interferogrammen für die holografische Reifentestung mittels digitaler Bildverarbeitung

Das Zertifikat „holografisch getestet“ ist heute das dominierende Gütesiegel für Reifen auf dem Sektor der zivilen und militärischen Luftfahrt. Ähnliche Entwicklungen zeichnen sich bei Straßenfahrzeugen ab, wo die holografische Reifentestung sowohl in der Konstruktions- und Erprobungsphase neuer Reifen als auch bei der Qualitätskontrolle von Karkassen mehr und mehr an Bedeutung gewinnt. Ihre Ursachen hat diese Entwicklung in der durch die holografische Interferometrie gegebenen Möglichkeiten des sicheren und zerstörungsfreien Nachweises von Materialfehlern unter der Reifenoberfläche. Die Auswertung des Interferogramms hinsichtlich vorhandener Materialfehler erfolgt dabei im allgemeinen durch das subjektive Urteil eines erfahrenen Interpreters. Zur Objektivierung und Verifizierbarkeit dieses Prozesses wurde für einen führenden Hersteller holografischer Reifentestsysteme in der BRD ein automatisches Verfahren entwickelt, das auf der Erkennung und Markierung charakteristischer Interferenzmuster unterhalb der Minutengrenze mittels digitaler Bildverarbeitung beruht. Die Praxiserprobung erfolgte bei Dunlop (Birmingham), wo die prinzipielle Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden konnte. Im internationalen Maßstab sind keine vergleichbaren Lösungen bekannt, die mit ähnlicher Sicherheit und Schnelligkeit dieses Problem bewältigen.

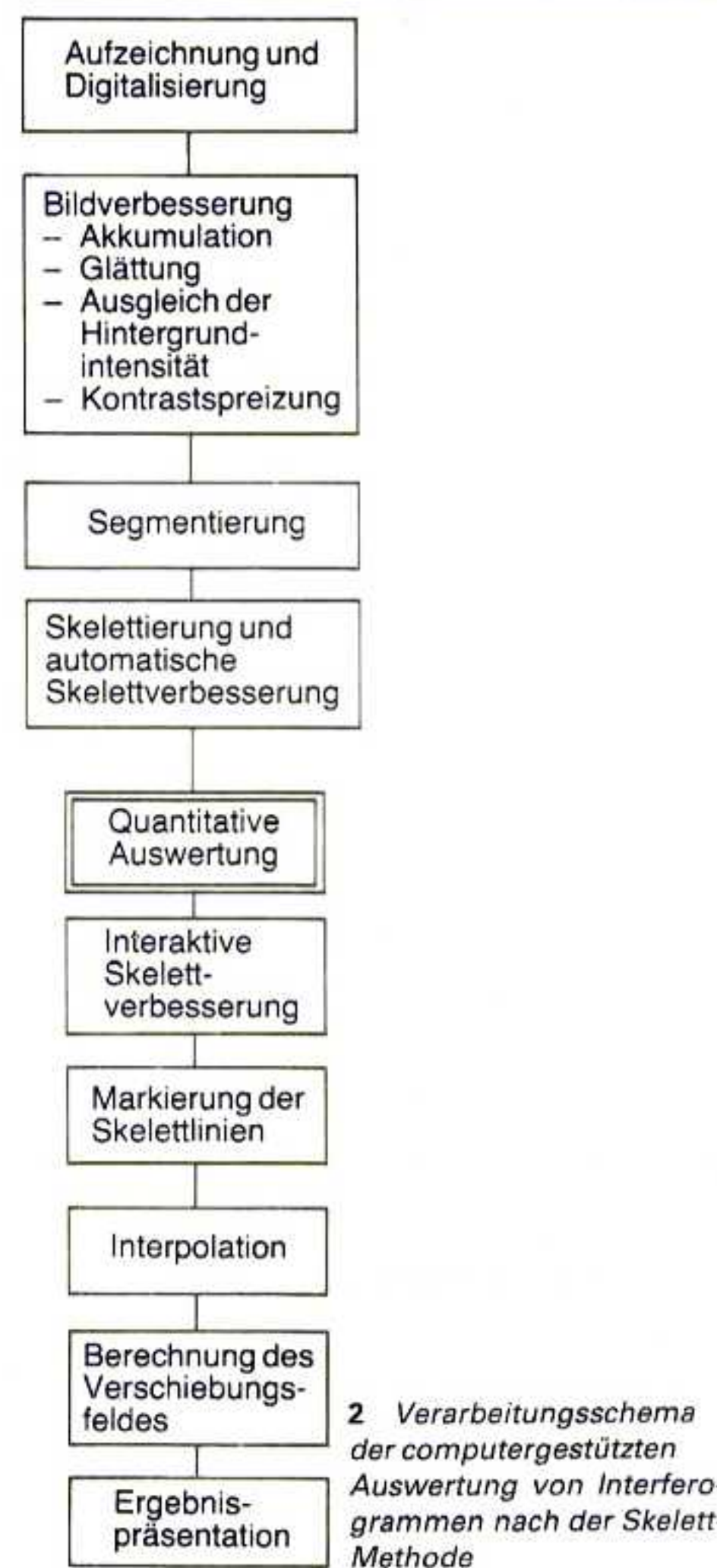
Computergestützte quantitative Auswertung von holografischen und Speckle-Interferogrammen mittels digitaler Bildverarbeitung

Die quantitative Auswertung von holografischen und Speckle-Interferogrammen erfolgt bisher im internationalen Maßstab hauptsächlich auf manuelle Weise. Erfah-

rungsgemäß ist dieser Prozeß der Ermittlung von Verschiebungsfeldern im μm -Bereich auf Grund der Kompliziertheit der Interferogramme und der dabei zu bewältigenden Informationsmenge sowohl zeitaufwendig (z. B. für ein 32×32 -Punktfeld bei 4 Interferogrammen etwa eine Arbeitswoche) als auch stark fehlerbehaftet. International werden bei der automatischen Auswertung verschiedene Wege beschritten. Das am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse entwickelte Verfahren beruht auf der sogenannten Skelett-Methode (Bild 2) und nutzt die mit dem BVS A 6472 gegebene Möglichkeit der schnellen Extraktion der Orte ganzzahliger- und halbzahliger Interferenzordnungen. Mittels speziell entwickelter zweidimensionaler Interpolationsverfahren wird das vollständige Phasenfeld rekonstruiert. Die Reaktion kompetenter Fachleute auf Vorträge vor internationalem Publikum und Veröffentlichungen in internationalen Fachzeitschriften weist das Verfahren wegen seiner Schnelligkeit und Zuverlässigkeit als international führend aus. Es wurde als Lizenz an eine Firma der BRD verkauft und wird in der DDR zielgerichtet von anderen Nutzern eingesetzt.

Auswertung von Kinofilmfolgen mittels digitaler Bildverarbeitungstechnik

In den Jahren 1983–85 wurden gemeinsam mit dem Forschungsinstitut für Körperkultur und Sport Leipzig Untersuchungen zur automatischen Auswertung von Kinofilmfolgen



2 Verarbeitungsschema der computergestützten Auswertung von Interferogrammen nach der Skelett-Methode

mittels digitaler Bildverarbeitungstechnik durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde die optische Kopplung eines 16-mm-Filmprojektors mit dem BVS A 6472 realisiert. Die Eignung des BVS A 6472 für die Off-Line-Verarbeitung von Filmfolgen konnte nachgewiesen werden.

Für die Extraktion bewegter Objekte aus den Filmbildern wurden effektive Algorithmen entwickelt und getestet. Die erreichten Ergebnisse eröffnen die Möglichkeit, Bewegungsstudien von Sportlern automatisiert zu analysieren.

Anwendungslösung für den Meteorologischen Dienst

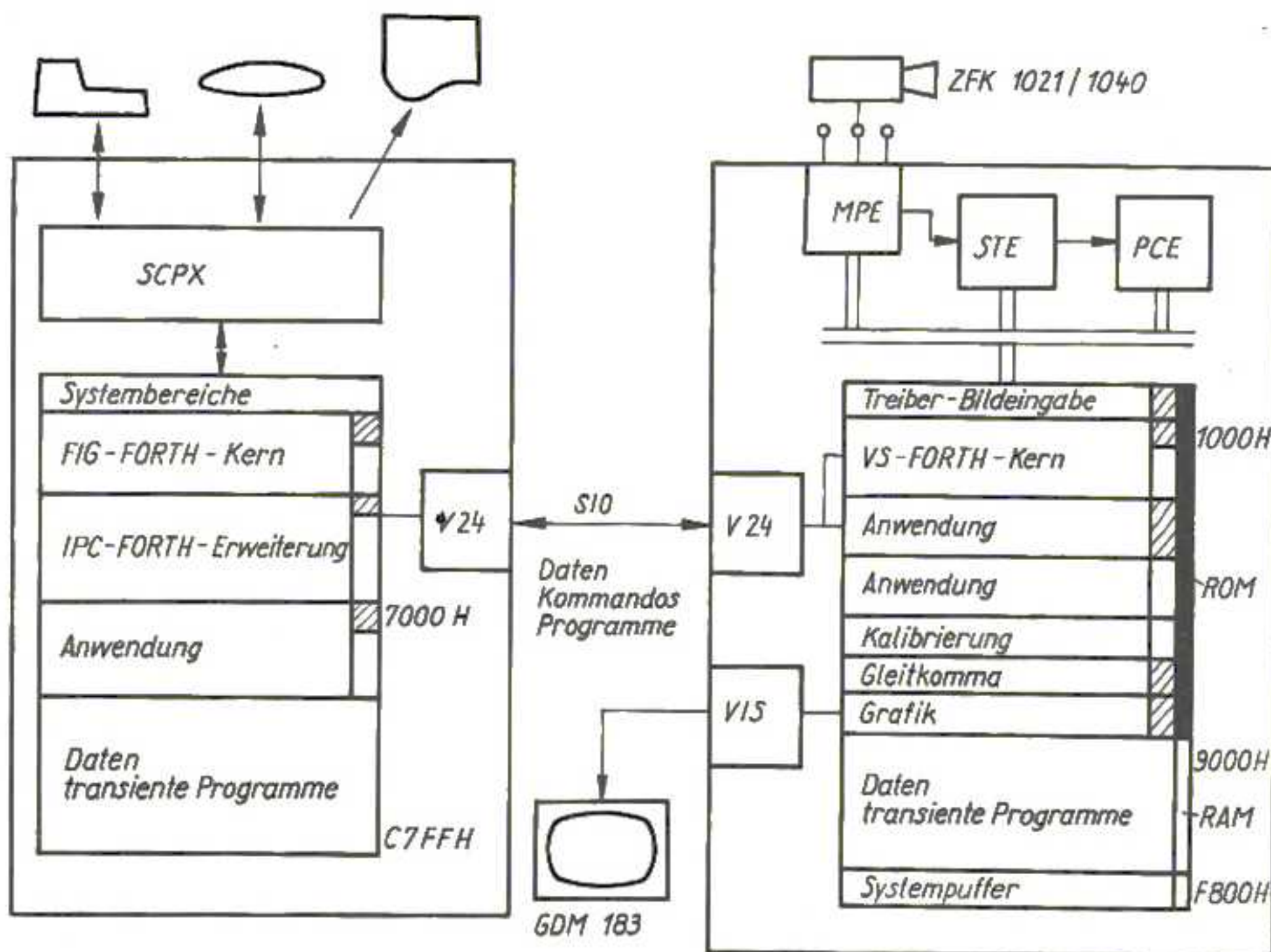
Das Dienstprogramm MD entstand als Auftragswerk des Meteorologischen Dienstes der DDR. Es besteht aus relativ einfachen Routinen zur schnellen Bildverarbeitung und -auswertung. Bei der Gestaltung des Programmes wurde besonderer Wert auf Nutzerfreundlichkeit und geringen Speicherbedarf gelegt. Dabei wurde ein günstiger Kompromiß zwischen verwendeter Technik (K 1600, K 8911), Nutzerfreundlichkeit und Portabilität (VT 52) gefunden. Der Einsatz des Programms außerhalb des RGW ist geplant.

Grundlagen zur Entwicklung eines automatischen kartografischen Systems

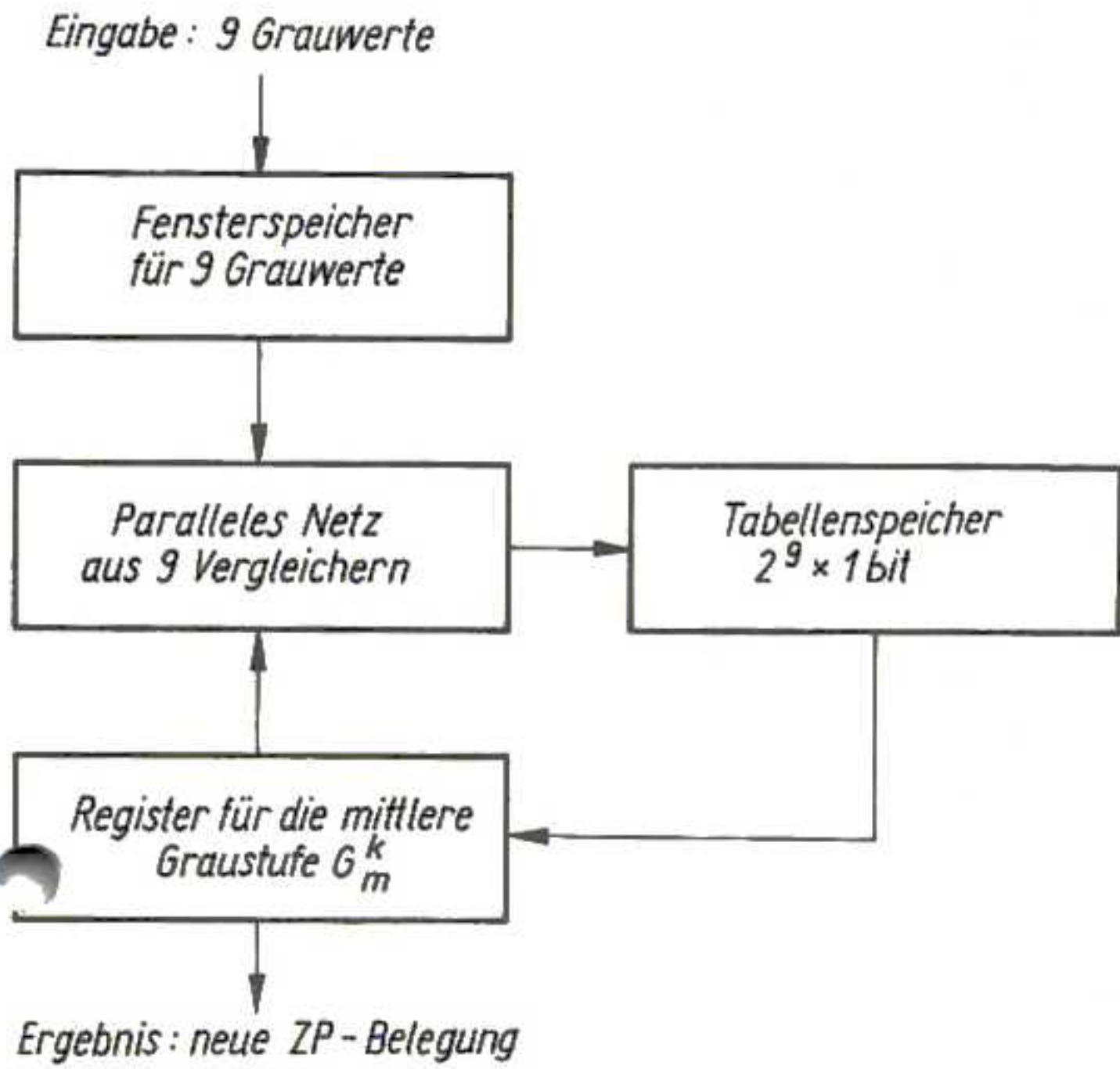
Der Schwerpunkt dieser Entwicklung bestand in der Schaffung neuer Datenstrukturen und Algorithmen für die durchgehende Automatisierung der Herstellung von Karten. Diese Hilfsmittel ermöglichen eine effektive Codierung der vorhandenen kartografischen Daten (z. B. Druckfolien) und eine automatische Erkennung kartografischer Objekte mit einem Minimum an Interaktion. Die Ergebnisse der Erkennung werden in einer abstrakten, d. h. von der Art der Symbolisierung unabhängigen Form dargestellt. Dadurch wird eine halbautomatische kartografische Bearbeitung (z. B. Maßstabsänderung) ermöglicht. Nach der Bearbeitung und interaktiven Korrektur werden die abstrakten Daten automatisch symbolisiert und zu einer Druckvorlage umgewandelt.

Ableitung polygonaler Objektbeschreibungen aus Rasterbildern

Polygonale Objektbeschreibungen sind für viele Anwendungen von Interesse, beispielsweise für die Identifikation von Objekten in photogrammetrischen Szenen oder die automatische Verarbeitung von Objekten auf Leiterplatten. Ihr Vorzug besteht in einer bedeutenden Reduktion der Anzahl der identifizierbaren Elemente bei gleichzeitiger Erhöhung der Qualität der Beschreibung. Anisotropische antisymmetrische und symmetrische Filter werden eingesetzt, um in Grauwertbildern Linien zu detektieren. Jeweils dem Problem angemessene Feinheitgrade lassen sich durch Wahl von geeigneten Parametern einstellen. Die resultierenden Informationen werden getrennt als metrische und topologische Beschreibung ausgewiesen. Dadurch lassen sich sehr anspruchsvolle Identifikationsanforderungen erfüllen. Insbesondere bilden die topologischen Ordnungen die Basis für effektive Algorithmen. Bei der Approximation der Linien durch Polygone können



Grundstruktur der Systemsoftware für das BES 2000; links: Steuerrechner, rechts: Bilderkennungseinheit BEE 1010. Es bedeuten: MPE Multiplexeinheit, STE Kamera-Steuereinheit, PCE Puffer-Codiereinheit, ZFK Zeilenfernsehkamera



4 Blockschaubild der Hardware des Prozessors GIPP für eine (3x3)-Maske bei 4-bit-Grauwerten

sowohl grobe Verläufe als auch polygonale Linien hoher Präzision erzielt werden.
Bilderkennungssystem BES 2000
 Im Rahmen einer Kooperationstätigkeit mit dem VEB Studioteknik Berlin wurde das Bilderkennungssystem BES 2000 entwickelt und in die industrielle Produktion überführt. Das System dient zur Verarbeitung von Binärbildern im Format 256 x 256 Bildpunkte und basiert auf einem 8-bit-Mikrorechner (Bild 3).
 An das Bilderkennungssystem sind CCD-Zeilenkameras mit 256/1024 Pixeln anschließbar. Die im System implementierten Software-Funktionen basieren auf den Sprachen ASSEMBLER und FORTH. Sie sind für industrielle Erkennungsaufgaben wie Musterver-

gleich, Positions-, Orientierungsbestimmung und Objektklassifikation sowie Szenenanalyse geeignet. Die erreichten Verarbeitungsleistungen waren zum Überführungszeitpunkt mit den international bekannten 8-bit-Systemen vergleichbar.
Visuelle Inspektion von Selentrommeln für Normalpapierkopierer
 Zur visuellen Inspektion selenbeschichteter Fotoleitertrommeln wurde auf der Basis des Bilderkennungssystems BES 2000 vom VEB Studioteknik Berlin ein Inspektionssystem mit einer CCD-Zeilenkamera ZFK 1040 (1024 Pixel) entwickelt, das Oberflächendefekte auf der Selentrommel bis zu 50 µm Ausdehnung erkennt und klassifiziert. Auf der Grundlage eines in Konzeption mit dem ASMW entstan-

denen Beleuchtungssystems (patentiert) wird eine Binärbildverarbeitung ermöglicht, so daß über eine Run-Length-Codierung das Bild einer gesamten Trommeloberfläche (250 mm Länge, 120 mm Durchmesser, d. h. etwa 250000 Zeilen zu 1024 Pixeln) in einem 10-K-Bildspeicher untergebracht werden kann. Die Inspektionszeit/Trommel beträgt bei einer Auflösung von 40 µm/Pixel 90s. Das System, inklusive der Beleuchtungs- und Transporteinrichtung, wurde 1986 vom VEB Secura Berlin übernommen und befindet sich dort in der Einsatzprüfung.
Identifikation von Schreibmaschinentypen
 Aufbauend auf die Arbeiten zu MAVIS wurde für Optima Büromaschinenwerk Erfurt ein visuelles System zur Identifikation von Schreibmaschinentypen für die montagegerechte Magazinierung entwickelt. Die Schreibmaschinentypen werden unter einer CCD-Zeilenkamera transportiert, mit spezieller Beleuchtungstechnik wird ein kontrastreiches Bild der Type erzeugt und mit einem durch Gradientenverfahren erweiterten Mustervergleich Identifikation erreicht. Die zeitliche Vorgabe des Auftraggebers von <1,5s pro Identifikation wurde mit 8-bit-Technik erreicht.

Schneidkantenkontrolle mittels Bildverarbeitung
 Im Auftrag des Forschungszentrums des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt (FZW) wurde die Aufgabe „Schaffung eines Bildverarbeitungsmoduls zur Erkennung und Bewertung von Ausbrüchen an ein- und mehrschneidigen Werkzeugen“ bearbeitet, deren Lösung zur Realisierung des bedienerarmen, automatischen Betriebes von Werkzeugmaschinen dient.
 Die Entwicklung beinhaltet die Schaffung des Bildanalysemoduls BAS 4000 auf der Basis der 8-bit-Rechentechnik und des Programmsystems VINCE auf der Basis von FORTH. Die hier erzielten Forschungsergebnisse bildeten die Grundlage für die Entwicklung eines vorbildfreien Prozessors zur Grautonbildverarbeitung (GIPP, siehe Bild 4). Diese Leistungen und die tragende Rolle, die das Institut im Rahmen der Wissenschaftskooperation sozialistischer Länder auf diesem modernen Sektor der Informationsverarbeitung einnimmt, haben das Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse in den zurückliegenden 10 Jahren zu einem geachteten und gesuchten Partner bei der Lösung von Problemstellungen der digitalen Bildverarbeitung werden lassen. Davon zeugt nicht zuletzt die große Resonanz, mit der die vom ZKI organisierten internationalen Konferenzen (CAIP, PARCELLA, FRINGE) bedacht werden.

Über aktuelle Arbeiten des ZKI auf dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung, die insbesondere die Entwicklung einer neuen Generation von Bildverarbeitungssystemen betreffen, wird im Heft 9/1989 dieser Zeitschrift berichtet.

W. Wilhelmi; B. Rebel; W. Osten