

# DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON **DESY**

DESY DV-75/1  
April 1975

**DESY-Bibliothek**

16. JUNI 1975

Ein Modell für die integrierte Verarbeitung von Informationen  
aus verschiedenartigen Bereichen eines Universitätskrankenhauses

von

Karl-Heinz Höhne

2 HAMBURG 52 · NOTKESTIEG 1

To be sure that your preprints are promptly included in the  
HIGH ENERGY PHYSICS INDEX ,  
send them to the following address ( if possible by air mail ) :

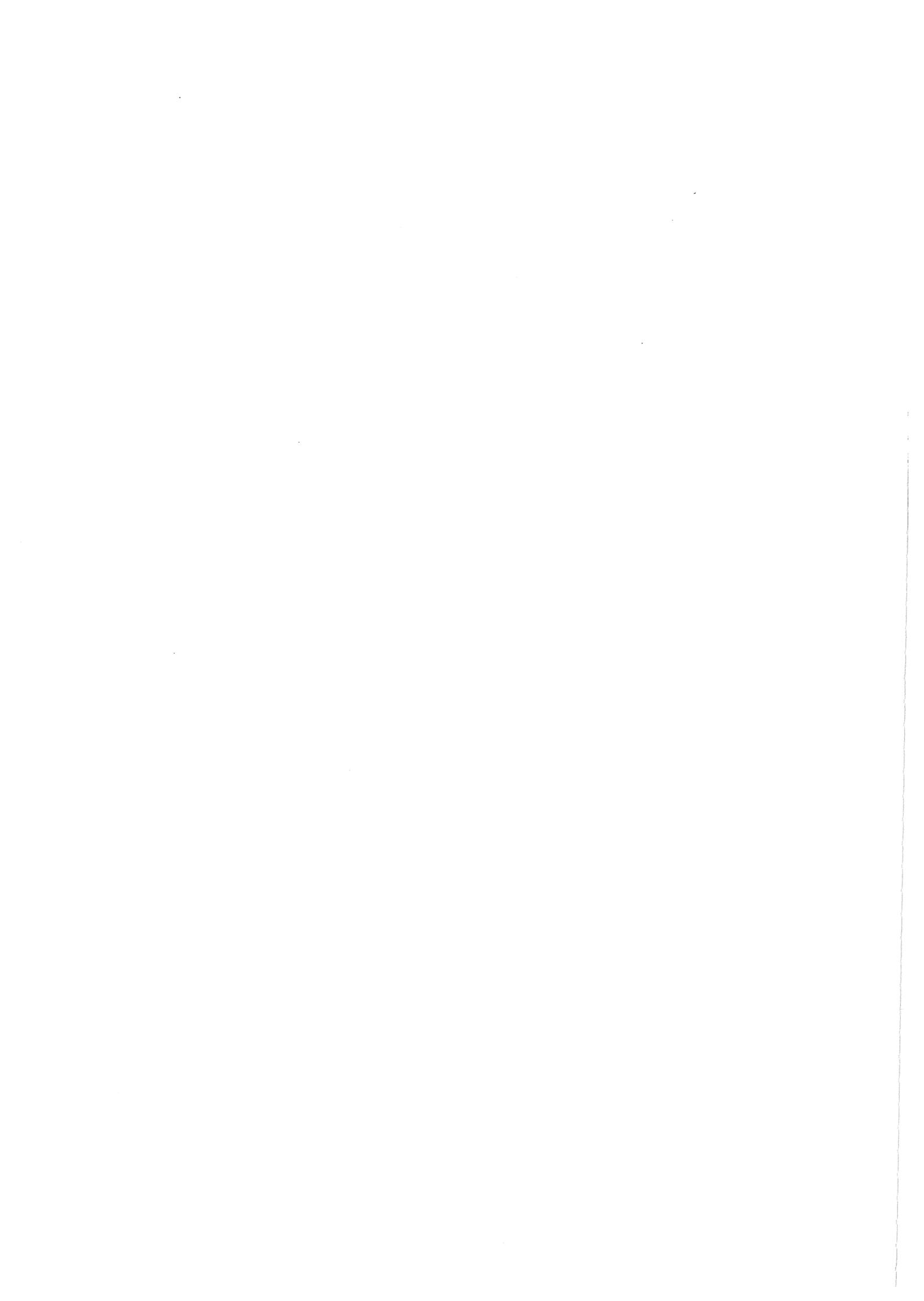
DESY  
Bibliothek  
2 Hamburg 52  
Notkestieg 1  
Germany

Ein Modell für die integrierte Verarbeitung von Informationen  
aus verschiedenartigen Bereichen eines Universitätskrankenhauses\*

von

Karl-Heinz Höhne

\* Diese Arbeit wurde mit Beschluß des Fachbereichs Medizin der Universität Hamburg vom 27. 11. 1974 als Habilitationsschrift angenommen.



# Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<u>Zusammenfassung</u>	2
<u>Einführung</u>	4
1. <u>Allgemeine Gesichtspunkte der Anwendung der Informatik in der Medizin</u>	5
1.1. Medizin und Informatik	5
1.2. Rechneranwendung im Krankenhaus	6
1.3. Medizingeschichtliche Aspekte	7
1.4. Probleme der praktischen Anwendung	7
1.4.1. Sachliche Probleme	8
1.4.2. Methodische Probleme	8
1.4.3. Menschliche Probleme	9
1.5. Konsequenzen aus der bisherigen Entwicklung	10
2. <u>Fragestellung</u>	12
3. <u>Lösungsweg</u>	14
3.1. Anforderungen an das System am Beispiel der klinischen Chemie und der Nuklearmedizin	14
3.2. Mögliche Rechnerstrukturen	17
3.2.1. Alleinstehende Rechner	18
3.2.2. Das zentrale System	19
3.2.3. Das hierarchische Mehrrechnersystem	20
3.2.4. Das Rechnernetz	21
3.3. Konzept und Funktion des DESY-UKE-Systems	21
3.3.1. Überblick	21
3.3.2. Das Subsystem LABMAT	22
3.3.3. Das Subsystem ISAAC	24

	<u>Seite</u>
3.4. Implementation des DESY-UKE-Systems	25
3.4.1. Programmsysteme	26
3.4.1.1. Der Prozeßrechnerteil des Programmsystems LABMAT	26
3.4.1.2. Der Satellitenrechnerteil des Programmsystems ISAAC	28
3.4.1.3. Das Programmsystem des Pufferrechners	29
3.4.1.4. Die Struktur der Zentralrechnerprogramme	30
3.4.2. Programmiersprachen	30
3.4.2.1. Die Programmiersprachen beim System LABMAT	30
3.4.2.2. Die Programmiersprachen beim System ISAAC	31
3.4.3. Datenverwaltung	31
3.4.3.1. Die Datenverwaltung beim System LABMAT	32
3.4.3.2. Die Datenverwaltung beim System ISAAC	33
3.4.4. Mensch-Maschine-Kommunikation	33
3.4.4.1. Die Kommunikation mit LABMAT	34
3.4.4.2. Die Kommunikation mit ISAAC	35
3.4.5. Rechner-Rechner-Kommunikation	36
4. <u>Ergebnisse und Diskussion</u>	38
4.1. Ergebnisse in der klinischen Chemie	38
4.1.1. Bestätigung von Vorteilen für den Routinebetrieb des Labors	38
4.1.2. Neue Möglichkeiten	38
4.1.2.1. Klinik	39
4.1.2.2. Forschung	40
4.1.2.3. Labormanagement	41
4.1.3. Probleme	43
4.2. Ergebnisse in der Nuklearmedizin	43
4.2.1. Bestätigung bekannter Ergebnisse	43
4.2.2. Neue Möglichkeiten	44
4.2.2.1. Klinik	44
4.2.2.2. Forschung	47

	<u>Seite</u>
4.3. DESY-UKE-System	48
4.3.1. Anwendung im Universitätskrankenhaus	48
4.3.2. Integration der Hilfsmittel und der Informationen	49
4.3.3. Nutzbarkeit im täglichen Betrieb	50
4.3.4. Aufbau "von unten nach oben"	51
4.4. Erfahrungen in der Zusammenarbeit von Informatikern mit Ärzten und medizinisch-technischem Personal	52
5. <u>Schlußfolgerungen</u>	54
5.1. Konzept	54
5.2. Medizinische Anwendungen	55
5.3. Informatikanwendung	55
<u>Literatur</u>	57



Diese Arbeit entstand im Rahmen einer Zusammenarbeit des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY mit dem Zentrallabor der Medizinischen Kliniken und der Abteilung Nuklearmedizin des Universitätskrankenhauses Hamburg - Eppendorf (UKE).

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. H. Schopper, stellvertretend für das Direktorium des Deutschen Elektronen-Synchrotrons, Herrn Professor Dr. K.D. Voigt und Herrn Professor Dr. C. Schneider für die engagierte Förderung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gebührt meinen Kollegen K. Dahlmann, Dr. W.-R. Dix, W. Ebenritter, Dr. H. Lipps und G. Pfeiffer, ohne deren Einsatz diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Den Herren Dres, K. Harm, L. Montz und D. Novak danke ich für ihre jederzeitige Bereitschaft zu fruchtbarer Zusammenarbeit.

Herrn Professor Dr. K. Brunstein verdanke ich Vorarbeiten für das System LABMAT.

### Zusammenfassung

Die Analyse der Anwendungsmöglichkeiten der Informatik in der Medizin ergibt, daß wegen des breiten Spektrums der Informationen, ihrer bevorzugten Weitergabe über die Sprache oder Bilder und wegen der Komplexität der Verarbeitungsmethoden eine besondere Häufung von Problemen auftritt. Bei der konkreten Anwendung im Krankenhaus treten weitere Probleme auf, die etwa aus dessen meist dezentraler Struktur oder aus dem absoluten Vorrang der Patientenversorgung erwachsen. Die Unterschätzung dieser Probleme hat in der Vergangenheit zu Fehlschlägen und Irrwegen, insbesondere bei der Erstellung von Krankenhausinformationssystemen geführt.

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit ist deshalb der Aufbau eines Modells für ein integriertes Datenverarbeitungssystem in einem Universitätskrankenhaus, das in kleinen Schritten aufgebaut werden kann. Es soll anhand der verschiedenartigen Anforderungen der nuklearmedizinischen Diagnostik mit der Gamma-Kamera und des Notfall- und hämatologischen Labors erprobt werden.

Die Diskussion möglicher Rechnerstrukturen ergibt, daß ein hierarchisch aufgebautes System aus mehreren Rechnern entscheidende Vorteile besitzt. Das hier beschriebene Modellsystem besteht aus je einem Satellitenrechner im klinisch-chemischen Zentrallabor und in der Abteilung Nuklearmedizin des UKE, die über Datenleitungen mit dem DESY-Rechenzentrum verbunden sind. Das eine Subsystem (LABMAT) dient der Datenerfassung und -rückgewinnung für Routinezwecke sowie für wissenschaftliche Fragestellungen. Das zweite Subsystem (ISAAC) dient der Erfassung und interaktiven graphischen Analyse von Gamma-Kamera-Aufnahmen. Das System zeichnet sich durch seine Dezentralisierung und durch den Echtzeitbetrieb in jeder Phase seiner Benutzung aus. Seine Implementierung ist gekennzeichnet durch die Möglichkeit der Verwendung von Rechnerkonfigurationen, Betriebssystemen und Programmiersprachen, die der jeweiligen Anwendung angepaßt sind.

Bei der klinisch-chemischen Anwendung werden zunächst bekannte Vorteile der Rechneranwendung wie die Verminderung von Schreib- und Auswertungsarbeiten sowie die größere Sicherheit der Ergebnisse bestätigt. Es wird jedoch gezeigt, daß über die Vorteile einer reinen Automatisierung hinaus die durch das Echtzeitauskunftssystem von LABMAT erreichte Durchschaubarkeit großer Datenmengen entscheidende Verbesserungen auf der Ebene der klinischen Betreuung der Patienten, der wissenschaftlichen Forschung und des Labormanagements erreicht werden können.

Bei der nuklearmedizinischen Anwendung zeigt sich, daß neben den Vorteilen der quantitativen Auswertung interaktive graphische Methoden die schnellere und erschöpfendere Extraktion von Information aus den erfaßten Daten erlaubt. Dies wird an Beispielen aus Routinebetrieb und Forschung (Nebenniere, Hirntod) belegt.

Das Gesamtkonzept des Modellsystems hat sich als ein gangbarer Weg erwiesen, da es einen Aufbau in kleinen Schritten erlaubt, den heterogenen Anforderungen eines Universitätskrankenhauses entgegenkommt, individuelle Arbeitsweisen unterstützt und dennoch die Integration eines gemeinsamen Hilfsmittelpotentials und der in den verschiedenen Bereichen gewonnenen Information zuläßt. In der gegenwärtigen Ausbaustufe ist die Integration der Hilfsmittel realisiert, während für die Integration der Informationen Grundlagen geschaffen wurden.

Die gewonnene Transparenz der Daten hat Verbesserungs- und Erweiterungswünsche geweckt. Die Erweiterung auf mehrere Satellitenrechner ist in Vorbereitung. Die Verbesserungen sehen die Erstellung einer Datenbank und die Erprobung spezieller Sprachen für die Bildauswertung und die Datenrückgewinnung vor.

Bezüglich der Prioritäten der Informatikanwendung in der Medizin ergibt sich, daß im gegenwärtigen Zeitpunkt allein durch die Erfassung, die jederzeitige Verfügbarkeit und die adäquate (insbesondere graphische) Präsentation von Daten ein großer Nutzen erreicht werden kann. Es scheint deshalb vertretbar, die Lösung der noch schwierigeren Probleme automatischer Auswertungs- und Diagnoseverfahren noch längere Zeit auf der Ebene der Forschung reifen zu lassen.

## Einführung

Informatik ist die Wissenschaft von der systematischen Verarbeitung von Informationen, besonders der automatischen Verarbeitung mit Hilfe von Rechnern. Die Medizin ist gekennzeichnet durch die Vielzahl und die Verschiedenartigkeit der zu verarbeitenden Informationen und durch die Kompliziertheit ihrer Zusammenhänge. Die Informatik findet deshalb in der Medizin eines ihrer größten, aber auch schwierigsten Anwendungsgebiete. In den letzten Jahren hat sich die Zahl der Anwendungen und der in Angriff genommenen Projekte sprunghaft vermehrt. Besonders in den USA und in Skandinavien ist die Anwendung von Rechnern in der Medizin vorangetrieben worden. Inzwischen gibt es kaum eine medizinische Disziplin, für die nicht eine Informatikanwendung beschrieben worden ist. Auf dem Wege zur Anwendungsreife ergeben sich jedoch vielfache Schwierigkeiten, die zum großen Teil auf Eigenarten des Gebietes Medizin zurückzuführen sind. Fehlschläge und Irrwege waren deshalb nicht zu vermeiden. Der Grund lag sicherlich in der ungenügenden analytischen Durchdringung des Anwendungsgebietes. Die Aufgabe jedoch, das "System Medizin" oder auch nur den Teilaspekt "Medizin im Krankenhaus" zu durchdringen, ist von solcher Komplexität, daß in absehbarer Zeit keine generellen Lösungen zu erwarten sind. Andererseits ist schon aus sozialen und auch ökonomischen Gründen die Anwendung von Methoden der Informatik zur Verbesserung der ärztlichen Versorgung der Patienten eine Notwendigkeit. Es scheint deshalb ein gangbarer Weg zu sein, Systemstrukturen zu schaffen, die mit dem Verständnis und der Erfahrung wachsen können.

Diese Arbeit soll hierzu einen Beitrag auf dem Gebiet der Informatikanwendung im Universitätskrankenhaus leisten. Sie setzt sich zunächst mit dem Problem der Informatikanwendung in der Medizin auseinander. Anschließend wird die Problemstellung - Realisierung eines integrierten Datenverarbeitungssystems für ein Universitätskrankenhaus - dargelegt. Hierzu wird die Frage diskutiert, wie ein integriertes Datenverarbeitungssystem angesichts der speziellen medizinischen Probleme und der bisher gemachten Erfahrungen aussehen soll. Der eingeschlagene Lösungsweg mit einem hierarchischen Mehrrechnersystem wird dann vorgestellt. Die erzielten Ergebnisse auf dem Gebiet der Medizin und der Informatik werden präsentiert. Die Konsequenzen aus diesen Ergebnissen schlagen sich in den anschließend dargestellten Plänen für die Weiterentwicklung des Systems nieder.

# 1. Allgemeine Gesichtspunkte der Anwendung der Informatik in der Medizin

## 1.1. Medizin und Informatik

Um den Rahmen dieser Arbeit abstecken zu können, ist es nötig, auf die Beziehungen zwischen Medizin und Informatik einzugehen. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, wenn alle Aspekte beleuchtet werden sollten, zumal sicherlich nicht alle Zusammenhänge hinreichend verstanden sind. Aspekte wie etwa der mögliche Einfluß der Informatikanwendung auf die Struktur der Medizin oder etwa gar das Selbstverständnis des Arztes werden nicht berührt. Diese Fragen sollten auch besser erst nach einer längeren Erprobung im ärztlichen Alltag diskutiert werden, welche bisher in ausreichendem Maße noch nicht stattgefunden hat. Nicht betrachtet wird auch jener Berührungspunkt der Informatik mit der Medizin, der sich etwa aus der Untersuchung der Informationsverarbeitung im menschlichen Hirn ergibt. Dennoch sollen zur Vorbereitung auf das eigentliche Thema die beiden Wissenschaften gegenübergestellt, der Einfluß der Informatik auf das System Krankenhaus erläutert und das Verhältnis der Informatik zur Medizin in Vergleich zu den Naturwissenschaften betrachtet werden.

In Abb. 1 ist eine exemplarische Auswahl von medizinischen Disziplinen einer Anzahl von Disziplinen der angewandten Informatik gegenübergestellt. Diese sind über die Anwendungen miteinander verknüpft, wobei zwischen disziplinspezifischen und mehreren Disziplinen gemeinsamen Anwendungen unterschieden ist. Auffallend ist zunächst die Heterogenität der Struktur des Faches Medizin, die sich etwa in der Mischung von organorientierten und methodenorientierten Disziplinen (z. B. Radiologie) äußert. Wichtig in unserem Zusammenhang ist jedoch die Vielfalt der Informatikanwendungen in der Medizin. Probleme der Textverarbeitung sind ebenso zu lösen wie die der Mustererkennung, Echtzeitprobleme ebenso wie die der Computergraphik. Daß es sich hier um eine spezielle Eigenschaft der Medizin handelt, wird deutlich, wenn man sich die Frage stellt, wo etwa im naturwissenschaftlichen Bereich Textverarbeitung oder im kaufmännischen Bereich Mustererkennung betrieben würde. Weiterhin entnimmt man der Abbildung den hohen Grad der Verknüpfung der medizinischen Disziplinen, die sich beispielsweise daraus ergibt, daß ein und demselben Patienten ein nuklearmedizinischer und ein klinisch-chemischer Befund zugeordnet ist. Dieser Eigenschaft entsprechen die Aufgaben der Integration und Kommunikation, die von der Informatik durch Informationssysteme und bezüglich der Hardware etwa durch Rechner-netze realisiert werden können. Die Abbildung illustriert jedoch auch die Tatsache,

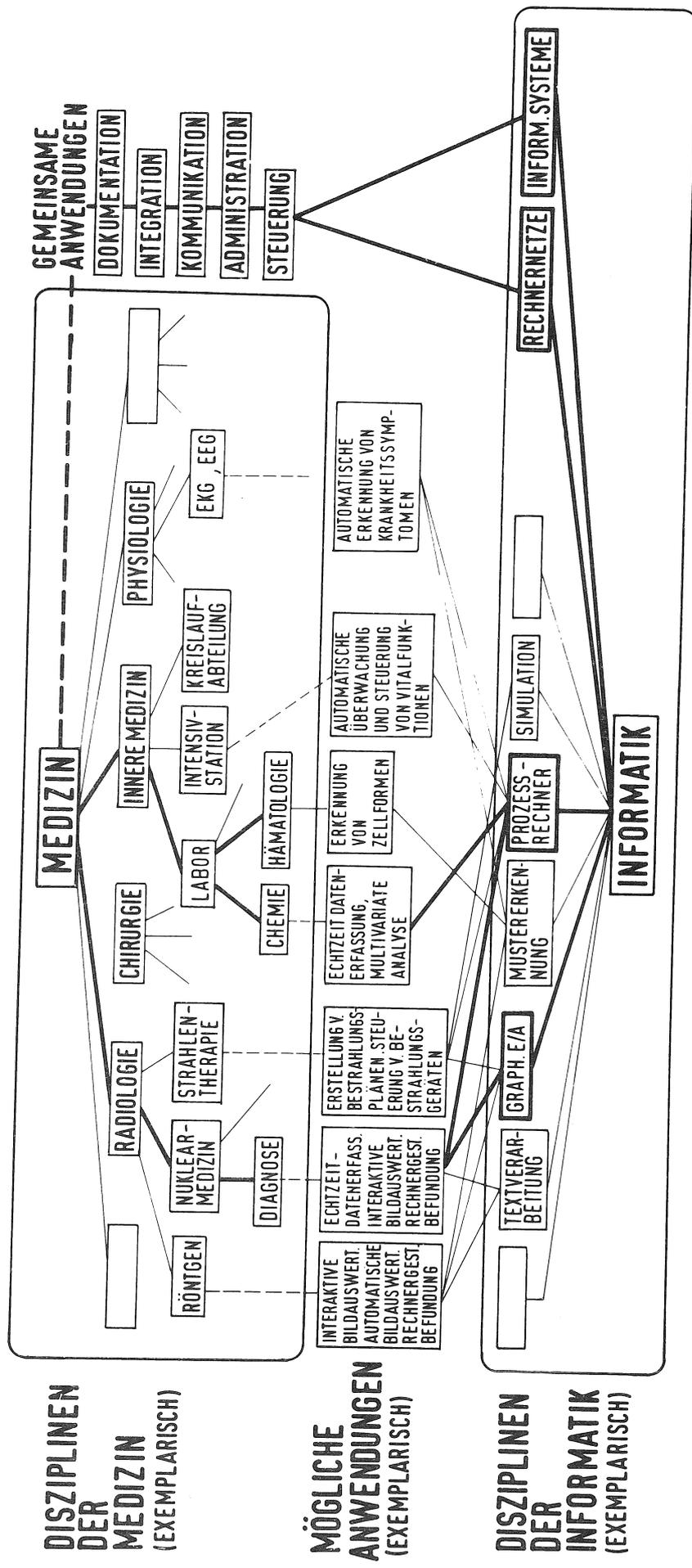


Abb. 1 Schematische Darstellung der Beziehungen der Informatik zur Medizin  
 (Dick gezeichnete Kästen und Verbindungslinien bedeuten Verwirklichungen im Rahmen dieser Arbeit.)

daß verschiedene medizinische Disziplinen gleiche Methoden benutzen. Zum Beispiel wird Textverarbeitung zum Zwecke der automatischen Befunderfassung in der Röntgendiagnostik<sup>38,42</sup> ebenso wie in der Nuklearmedizin<sup>2</sup> betrieben. Die in der Röntgendiagnostik auftretenden Probleme der Mustererkennung<sup>26</sup> finden sich z. B. in der Hämatologie wieder, wo sie bei der automatischen Erkennung von Zellformen zu lösen sind<sup>6,22</sup>.

### 1.2. Rechneranwendung im Krankenhaus

Betrachtet man den konkreten Fall der Informatikanwendung im Krankenhaus, so lassen sich ihre Ansatzpunkte, wie in Abb. 2 gezeigt, darstellen. Im Mittelpunkt des Informationsflusses steht der Patient. Sein Aufenthalt im Krankenhaus beginnt mit der ärztlichen Untersuchung, der Gewinnung von Informationen über den Zustand des Patienten. Dies geschieht im Falle der Anamnese über die Sprache, wird jedoch mit Hilfe von technischen Mitteln vom Stethoskop bis zum Röntgenapparat oder bis zu klinisch-chemischen Untersuchungen fortgesetzt. Dieser Kommunikationsweg Arzt - Patient stellt einen wesentlichen Ansatzpunkt für die Anwendung der Informatik in der Medizin dar, und zwar in dreierlei Hinsicht. Einmal können Rechner zur Entlastung des Arztes eingesetzt werden, wie z. B. bei der rechnergestützten Befunderstellung. Zum zweiten kann mit Hilfe von Rechnern den erhobenen Daten mehr Information entnommen werden, wie bei der Auswertung von Gamma-Kamera-Aufnahmen in der Szintigraphie. Schließlich können jedoch auch Informationen gewonnen werden, die ohne Rechner unzugänglich wären, wie z. B. die quantitative Verfolgung schneller Vorgänge in der Szintigraphie. Die dadurch stetig wachsende Flut an Information fordert aber wiederum die Benutzung des Rechners für eine Entscheidungshilfe bei ihrer Bewertung heraus. Ansätze hierfür gibt es an mehreren Stellen<sup>7,39</sup>. Aus der Diagnose ergibt sich die Therapie, bei welcher Rechner wiederum im Sinne der Optimierung oder der Ablaufsteuerung (wie z. B. in der Strahlentherapie) eingesetzt werden können. Die ärztliche Tätigkeit hat jedoch Folgen, die über den rein ärztlichen Bereich hinausgehen. So muß z. B. eine Therapieplanung, die Zuweisung eines Bettes und die Erfassung der Leitungen durch die Verwaltung erfolgen. Auch diese Funktionen der Steuerung und Kommunikation können vom Rechner weitgehend unterstützt werden. Schließlich ist die Anwendung in der medizinischen Forschung von großer Bedeutung sowie die Generalisierung und Parametrisierung der Forschungsergebnisse für eine spätere Anwendung zur rechnergestützten Entscheidungsfindung.

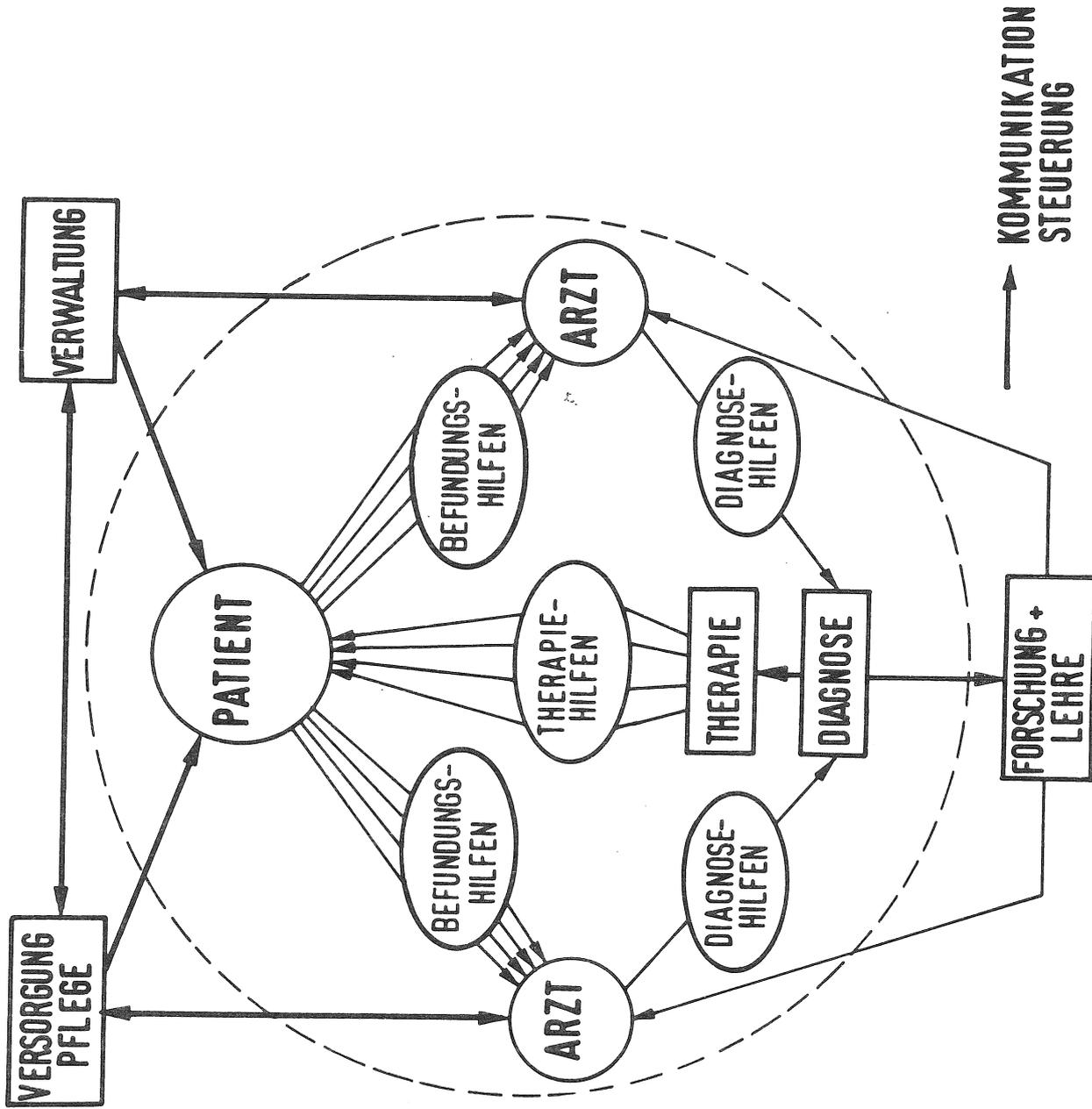


Abb. 2 Schematische Darstellung des Informationsflusses im Krankenhaus mit Bezeichnung wesentlicher Anwendungspunkte der Informatik

### 1.3. Medizingeschichtliche Aspekte

Auf den ersten Blick scheint es, als stelle die Einführung der Informatik in die Medizin einen revolutionären Einbruch dar. In Wirklichkeit wird durch sie nur die Verbreitung naturwissenschaftlichen Denkens in der Medizin fortgesetzt. Die Methoden der Informatik werden allerdings mit anderen Mitteln, nämlich mit denen des Computers realisiert. Dieser vollzieht aber nur Rechenverfahren, die vorher vom Menschen in einem kreativen Prozeß auf Grund bekannter Gesetzmäßigkeiten erarbeitet wurden. Der Eindruck des Revolutionären kommt von der Mächtigkeit des Hilfsmittels Computer. Neue Richtungen werden durch die Informatik zunächst nicht gewiesen, wie es etwa bei der Einführung der Naturwissenschaften in die Medizin der Fall war. Diese hat einen Fortschritt in zweierlei Hinsicht gebracht. Einmal brachte sie neue Einsichten über bis dahin nicht verstandene (z. B. physikalische und chemische) Vorgänge im menschlichen Körper, zum anderen eröffnete sie neue Methoden, Daten über diese zu gewinnen. Beides leistet die Informatik nicht. Sie hilft vielmehr, mehr und schneller Daten zu gewinnen, aus ihnen mehr und schneller Informationen zu entnehmen, bisher latente Zusammenhänge sichtbar und bekannte Methoden für den Arzt praktikabel zu machen. Diese Eigenschaften sind weitgehend unabhängig von der medizinischen Fragestellung. Neu ist zweifellos der Übergriff der Informatik auf fast alle Disziplinen der Medizin. Nicht ohne Reiz ist auch die Möglichkeit, daß eher von den sekundären Effekten, nämlich dem Zwang zur Quantifizierung und Systematisierung entscheidende Impulse auf die Medizin ausgehen könnten.

Diese Bemerkungen können nur den Versuch darstellen, das Problem Informatik in der Medizin auf die eine oder andere der möglichen Variablen Medizin, Informatik, Krankenhaus, ärztliche Tätigkeit zu projizieren. Andere zum Teil detailliertere Betrachtungsweisen finden sich in Ref. 35, 40, 50, 51.

### 1.4. Probleme der praktischen Anwendung

Die vorangegangene Skizzierung der medizinischen Anwendungsmöglichkeiten der Informatik könnte dazu verleiten, wie es auch bis vor kurzem geschehen ist, das Ausmaß des praktischen Nutzens zu überschätzen. In Wahrheit klafft jedoch eine Lücke zwischen dem prinzipiell Möglichen und dem praktisch Realisierbaren, die auf absehbare Zeit nicht zu schließen ist. Die Gründe sind sachlicher, methodischer und auch menschlicher Art.

#### 1.4.1. Sachliche Probleme

Die sachlichen Gründe liegen offen: Rechner kosten Geld, und die Entwicklung von Programmsystemen von der Idee bis zum praktischen Gebrauch ist langwierig und äußerst personalintensiv: Qualifiziertes Personal ist jedoch auf Grund der Nachfrage auch aus anderen Gebieten knapp. Für die meist öffentlichen Stellen (Universitäten, kommunale Stellen) ist Gewinnung sachkundigen Personals besonders schwer. Ein Hindernis stellt auch die dezentrale und starre Struktur der Krankenhäuser dar, ebenso wie der Vorrang der Patientenversorgung, der abrupte Veränderungen und Experimente nicht zuläßt. Darüber hinaus sind die Anforderungen an die Betriebssicherheit und an den Schutz der Daten erheblich.

#### 1.4.2. Methodische Probleme

Am schwerwiegendsten sind die methodischen Probleme. Ein großes Hindernis stellt die Vielfalt der medizinischen Daten dar, die zum größten Teil in sprachlicher, in bildlicher und zum weitaus geringsten Teil in numerischer Form vorliegen. Die Begriffe der medizinischen Fachsprache sind meist unscharf. Eine standardisierte Nomenklatur gibt es nur auf Teilgebieten, wie z. B. der Pathologie<sup>55</sup>. Eine eindeutige Codierung durch Rechnerprogramme ist deshalb nur in geringem Umfang möglich.

Soweit die Daten in bildlicher Form vorliegen, wie etwa beim EKG oder der Szintigraphie, reichen die heute bekannten Methoden der Mustererkennung nur auf speziellen Teilgebieten für eine automatische Klassifizierung von Symptomen aus. In Disziplinen, bei denen die Daten in numerischer Form vorliegen, wie etwa der klinischen Chemie, wurden bisher die größten Fortschritte gemacht.

Einen Ausweg aus dieser Situation zeigen interaktive Methoden, bei denen Rechner so benutzt werden, daß ihre Fähigkeit, umfangreiche Rechenoperationen mit großer Schnelligkeit auszuführen, mit den Fähigkeiten des Menschen, rasch komplizierte Zusammenhänge zu erkennen, kombiniert werden. Daraus folgt, daß der Informationsfluß eines medizinischen Falles möglicherweise mehrmals durch Informationsübergänge Mensch - Rechner unterbrochen wird. Es zeigt sich, daß diese Übergänge nur dann funktionieren, wenn sie so gestaltet sind, daß auch unmotiviertes Personal willens und in der Lage ist, sie zu vollziehen. Unmotiviert werden in diesem Zusammenhang Personen genannt, die nicht an der Rechneranwendung an sich, sondern wie der Arzt

an der optimalen Lösung der medizinischen Fragestellung oder wie die medizinisch-technische Assistentin vielfach an der möglichst arbeitssparenden Erledigung ihrer Aufgaben interessiert sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, den Dialog des Menschen mit dem Rechner für die Routineanwendung soweit dem Dialog anzupassen, den er mit anderen Menschen zu führen gewohnt ist, nämlich z. B. über Klartext oder bildliche Nachrichten. Das heißt aber, daß vor der Lösung der eigentlich medizinischen Fragestellungen erst die Lösung des Problems der Mensch-Rechner-Kommunikation erforderlich ist. Dieses Problem ist von hoher Komplexität, so daß der Schluß erlaubt ist, daß die Erstellung von Systemen für den Informatiker um so weniger Routinearbeit darstellt, jemeher sie für den medizinischen Routinebetrieb geeignet sein müssen.

Ebenso große Schwierigkeiten ergeben sich bei der Verarbeitung von medizinischen Daten. Es gibt keine einheitliche nach exakt naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten aufgebaute Systematik der Krankheit, also auch kein allgemein anerkanntes gültiges Schema der Diagnostik. Dieser Mangel manifestiert sich schon bei der relativ einfach erscheinenden Aufgabe, etwa mit dem Rechner klinisch-chemische Befunde auf Abweichungen vom "Normalwert" zu prüfen. Für dieses Problem läßt sich bisher keine mit einem Rechner nachvollziehbare Lösung angeben.

Bei der praktischen Realisierung tritt neben den genannten Schwierigkeiten das Problem auf, daß die Organisations- und Funktionsstruktur der medizinischen Einrichtungen vorwiegend auf eine individualistische Arbeitsweise eingerichtet ist. Es mangelt an begrifflichen und organisatorischen Strukturformen, die einer Objektivierung und Quantifizierung zugänglich sind<sup>54</sup>. Dies hat in der Vergangenheit dazu geführt, daß entweder über die Rechneranwendung überkommene Strukturen festgeschrieben wurden oder vom Rechner Funktionen erfüllt wurden, die nicht den Bedürfnissen des ärztlichen Anwenders entsprachen.

#### 1.4.3. Menschliche Probleme

Vor der Einführung von Methoden der Informatik in einem medizinischen Bereich ist eine Geringschätzung der Methoden nicht zu verkennen, die ihre Ursache in Unkenntnis oder auch in einer bewußten oder unbewußten Furcht vor unabsehbaren Folgen für das ärztliche Berufsbild haben mag. Diese Furcht impliziert jedoch eine Überschätzung der Möglichkeiten der Informatik, wie sie auch oft bei den Medizinern auftritt, die sich mit ihrer Anwendung angefreundet haben.

Ist der Entschluß gefaßt, Rechner anzuwenden, so entstehen meist Kommunikations-Probleme zwischen den ärztlichen Anwendern und den Erstellern des Systems. Diese haben ihre Ursache in der Denkweise, aber auch in den Zielen. Der Informatiker ist zu mathematisch exakter Denkweise gezwungen, während die ärztliche Tätigkeit zu einem großen Teil auf schwer quantifizierbarer Grundlage wie Erfahrung und Intuition aufbaut. Während der Arzt mit Recht sein Hauptaugenmerk auf die nutzbringende Anwendung legt, muß beim Informatiker das primäre Interesse in der Durchdringung des Problems liegen, die die Grundlage für eine adäquate Lösung ist.

Beim Betrieb eines Systems können zunächst recht harmlos erscheinende Effekte über seinen Erfolg oder Mißerfolg entscheiden. Beispielsweise bringen auch nur sporadische Systemausfälle einen überproportionalen Motivationsverlust, besonders beim nichtärztlichen Personal. Reaktionszeiten schon von wenigen Sekunden können bei interaktiver Arbeitsweise zu negativen Reaktionen bei den Benutzern führen. Durch den Rechnereinsatz hervorgerufene Änderungen im Tätigkeitsablauf sind oft nicht einfach durchzusetzen.

#### 1.5. Konsequenzen aus der bisherigen Entwicklung

Die genannten Schwierigkeiten wurden in der Vergangenheit oft unterschätzt. Speziell im Krankenhaus war die bisherige Entwicklung gekennzeichnet durch zwei Tendenzen:

- Entwicklung von Krankenhausinformationssystemen auf der Basis von Großrechnern. Diese zwingt zur gleichzeitigen Lösung vieler Probleme und verlangt lange Vorlaufzeiten bis zum Test durch den Benutzer. Bei negativem Ergebnis sind größere Änderungen kaum mehr möglich.
- Aufbau von Spezialsystemen für Teilbereiche. Diese bringen zwar dem Benutzer schnelle Ergebnisse, machen aber den Austausch von Informationen und Methoden mit anderen Systemen im allgemeinen unmöglich.

Die Zukunft sollte gekennzeichnet sein durch:

- Entwicklung modularer Systeme. Diese werden in weitgehend unabhängigen Subsystemen, jedoch aus einer Hand, kompatibel entwickelt.
- Entwicklung von besseren Methoden der Mensch-Rechner-Kommunikation. Hier ist insbesondere an graphische Methoden gedacht, da einerseits viele medizinische Daten graphisch vorliegen, andere wegen ihrer Vielzahl nur graphisch überschaubar gemacht werden können.

- Forschungsprojekte, die in der medizinischen Routine erprobt, aber frei vom Zwang der routinemäßigen Nutzung sind. Hiermit soll erreicht werden, daß durchaus mögliche Fehlschläge nicht verschwiegen werden, sondern ihre Analyse zu neuen Erkenntnissen führt.
- Enge Zusammenarbeit mit den Instituten der Informatik. Wenn auch die Führung eines Projektes im medizinischen Bereich liegen sollte, so muß dennoch gewährleistet sein, daß die Entwicklung gemäß dem neuesten Stand der Informatik erfolgt.
- Intensivierung der Ausbildung von Medizinern in Informatik und Informatikern in Medizin.

## 2. Fragestellung

Dieser Arbeit liegt die Frage zugrunde, mit welchem Rechnersystem in einem Krankenhaus zum Zwecke einer besseren ärztlichen Versorgung möglichst vielen Bereichen die nutzbringende Anwendung von Methoden der Informatik zugänglich gemacht werden können.

Diese Frage soll am Beispiel eines Modellsystems unter Berücksichtigung folgender Kriterien beantwortet werden:

- Das System soll den Anforderungen eines großen Universitätskrankenhauses genügen. Dies bedeutet, daß eine große Anzahl sehr verschiedenartiger Anwendungen unterstützt werden müssen. Daraus folgt aber auch, daß neben der ärztlichen Versorgung der Patienten medizinische Forschung mit Hilfe von Methoden der Informatik sowie Forschung auf dem Gebiet der angewandten Informatik in der Medizin betrieben werden soll.
- Es soll die Integration von Informationen und Methoden ermöglichen, d. h. die zu ein und demselben Patienten gehörenden Befunde sollen verknüpfbar sein. Gleichzeitig sollen Hilfsmittel (wie z. B. Programmsysteme), die von verschiedenartigen Anwendungen benutzt werden, nur einmal vorhanden sein.
- Es soll im täglichen Betrieb von nicht speziell für diesen Zweck ausgebildetem Personal benutzbar sein. d. h. für die Kommunikation mit dem System kommt nur ein Dialogbetrieb in Frage, und zwar je nach Fragestellung über Klartext oder bildliche Nachrichten. Kurze Reaktionszeiten sind hier von wesentlicher Bedeutung.
- Es soll leicht ausbaubar und anpassungsfähig sein, da sich beim gegenwärtigen Stand der Rechneranwendung in der Medizin Zielvorstellungen nach Maßgabe der gemachten Erfahrungen leicht ändern können. Spielraum wird jedoch auch für die Informatikforschung benötigt.
- Die Entwicklung des Systems soll von den Anwendungsschwerpunkten auf dem Wege einer Integration "von unten nach oben" ausgehen. Dieses Vorgehen soll durch das baldige Vorliegen von Ergebnissen einerseits den Benutzer zur aktiven Mitarbeit motivieren, andererseits das frühe Einfließen der Ergebnisse in die Weiterentwicklung des Systems ermöglichen.

Die Fragestellung dieses Projektes unterscheidet sich somit von der vieler anderer wesentlich. Diese beschränken sich entweder auf kleine Bereiche, wie z. B. die kli-

nische Chemie<sup>9,37</sup> und die Nuklearmedizin<sup>53,57</sup>, oder sie schaffen - ausgehend von einer zentralen Organisation - zunächst einen verwaltungsorientierten Rahmen, der nicht auf die heterogenen Datenerfassungs- und Auswertungsprobleme der speziellen Anwendungen eingeht.

Im beschriebenen Fall wird eine Synthese dieser Realisierungsmöglichkeiten angestrebt.

### 3. Lösungsweg

#### 3.1. Anforderungen an das System am Beispiel der klinischen Chemie und der Nuklearmedizin

Zum Studium der Anforderungen an das zu erstellende Modellsystem wurden zwei Bereiche unterschiedlicher Natur gewählt:

1. Das Cito- und hämatologische Labor des Zentrallabors des UKE.
2. Die nuklearmedizinische Diagnostik mit der Gamma-Kamera in der Abteilung Nuklearmedizin des UKE.

Das klinisch-chemische Labor hat die Aufgabe, den Arzt mit biochemischen und hämatologischen Befunden zu versorgen. Hierfür werden in wachsendem Maße automatische Meßmethoden benutzt. Im Zentrallabor des Universitätskrankenhauses Eppendorf werden z. B. täglich bis zu 15000 klinisch-chemische Meßwerte erhoben. Wesentliche Aufgaben der Rechneranwendung, wie sie auch von anderen Autoren<sup>5,9,10,30,37</sup> beschrieben wurden, sind:

- Die Reduzierung der Schreibarbeit, die durch die zunehmende Verwendung von Automaten zur Haupttätigkeit des medizinisch-technischen Personals geworden ist.
- Die Ausschaltung von Fehlern in der Ergebnisübermittlung.
- Die Erhöhung der Genauigkeit der Messungen durch automatische Qualitätskontrolle.
- Die schnelle Verfügbarkeit der Meßergebnisse für den klinischen Routinebetrieb.

Diese Eigenschaften dienen im wesentlichen der Fortsetzung der auf dem Gerätesektor begonnenen Automatisierung, die wiederum eine Erhöhung der Datenflut mit sich bringt. Das Durchschauen dieser Datenmengen ist den verantwortlichen Laborärzten oft nicht mehr möglich, ihre Verantwortung für die Richtigkeit der Befunde aber bleibt. Außerdem bietet sich ein Labordatenverarbeitungssystem wegen der großen Menge der unter gleichen Bedingungen erfaßten Daten für retrospektive und prospektive Untersuchungen an großen Patientenkollektiven an. Deshalb werden von dem zu beschreibenden System als Schwerpunkt zwei weitere Eigenschaften gefordert:

- Es soll den verantwortlichen Laborärzten zur Kontrolle des Betriebsablaufes die Flut der Daten durchschaubar machen.
- Es soll dem Arzt die Möglichkeit bieten, ohne Programmierkenntnisse die erfaßten Daten im Dialog mit dem Rechner wissenschaftlich auszuwerten.

Gegenüber diesen Forderungen wurde die Lösung anderer wichtiger Probleme, wie etwa der Probenidentifizierung, zurückgestellt.

In der zweiten hier betrachteten Anwendung, der Nuklearmedizin, werden Bilder von Strahlungsverteilungen von zu untersuchenden Organen z. B. mit der Gamma-Kamera aufgenommen, die sich oft aus mehreren Hunderttausend Einzeldaten zusammensetzen. Abb. 3 zeigt eine konventionelle seitliche Gamm-Kamera-Aufnahme eines Schädels mit einem Tumor (Pfeil). Eine Rechneranwendung auf diesem Gebiet konzentrierte sich bisher auf folgende Schwerpunkte:

1. Eliminierung der gerätespezifischen Fehler, die Befunde vortäuschen können.
2. Quantitative Auswertung der Daten.
3. Verbesserte Präsentation der Daten.

Diese Aufgaben werden von mehreren beschriebenen Systemen erfüllt<sup>8,20,44,48</sup>. Die Kriterien und die angestrebte Benutzung des Systems im Forschungsbetrieb eines Universitätskrankenhauses führten zu weiteren Forderungen:

- Die Daten müssen von der Erfassung an jederzeit verfügbar sein und im Dialog mit dem Rechner von Ärzten ohne Programmierkenntnisse an ihrem Arbeitsplatz ausgewertet werden können.
- Es muß die Erprobung auch komplizierter Bildbearbeitungsmethoden und die systematische Auswertung großer Datenmengen im Hinblick auf eine spätere computergestützte Differentialdiagnostik in der Klinik möglich sein.

Die meisten Systeme bedienen sich für die Diagnose der Analyse statischer Bilder der Strahlungsverteilung. Natürlich stellt ein Bild die beste Möglichkeit dar, eine über eine Fläche verteilte Größe darzustellen. Im allgemeinen repräsentiert es jedoch nicht die gesamte in den Daten enthaltene Information. Vielmehr sollte man bei der Untersuchung szintigraphischer Daten so vorgehen, wie man es bei jedem anderen unbekanntem Objekt tut. Man betrachtet es von verschiedenen Seiten, variiert die Beleuchtung, dreht es herum, betastet es und mißt schließlich, wenn die Struktur erkannt ist, die interessierenden Teile. Im Falle der Szintigraphie kann man die Daten als unbekanntes Objekt auffassen, welche durch verschiedene bildliche Darstellungen untersucht werden können. Eine solche interaktive Arbeitsweise ermög-



Abb. 3 Konventionelle seitliche Gamma-Kamera-  
Aufnahme eines Schädels mit einem  
Tumor (Pfeil)

licht die Ausschöpfung des Informationsgehalts der Daten und verringert mögliche Mißdeutungen, wie sie durch Eigenheiten des Darstellungsgeräts oder auf Grund von Schwächen des menschlichen Auges vorkommen können. Sie kommt auch dem Vorgehen des Arztes bei der Diagnosestellung entgegen, der sich nicht auf einen Befund verlassen kann, der das Ergebnis einer einzigen Beobachtung ist.

Die interaktive Arbeitsweise ist im praktischen Betrieb jedoch nur durchführbar, wenn die Reaktionszeiten des Rechners in der Größenordnung menschlicher Reaktionszeiten liegt.

Obwohl die Forderungen der Benutzer in beiden Fällen sehr ähnlich sind, führen sie bei Hard- und Software-Realisierung zu verschiedenartigen Problemen. Echtzeitbetrieb im klinisch-chemischen Labor bedeutet, daß die verschiedenen Aufgaben der Personaldaten- und Meßwerterfassung sowie der Auswertung gleichzeitig an mehreren Terminals und Meßgeräten ablaufen müssen. In der Nuklearmedizin-Anwendung gibt es nur ein Meßgerät und einen Benutzer, wobei sich Datenerfassung und Auswertung im allgemeinen nicht überlappen müssen. Ebenso verschieden sind die Datenraten, die im Labor, obwohl eine große Menge von Proben verarbeitet wird, gegenüber der Nuklearmedizin gering sind. Hier erzeugen die von wenigen Patienten aufgenommenen Bilder große Datenraten (typisch: 10 kbyte/sec). Die Anforderungen an die Prozessorbetriebssysteme sind also sehr verschieden.

Sehr unterschiedlich sind auch die Methoden der Kommunikation des Benutzers mit dem System. Während sie im Falle der klinischen Chemie über alphanumerische Nachrichten erfolgt, wird in der Nuklearmedizin vorwiegend eine Kommunikation über Bilder verlangt, so daß hier die Lösung von Problemen der graphischen Ein-Ausgabe im Vordergrund steht. Die beiden Projekten gemeinsame Forderung der Auswertbarkeit in Echtzeit führt zu gemeinsamen Anforderungen an die zu verwendenden Datenstrukturen. Gemeinsam ist beiden Anwendungen die Forderung nach hoher Rechen- und Speicherkapazität.

Über die klinische Chemie und die Nuklearmedizin hinausgehende Anwendungen fordern wieder andere Eigenschaften. Für die Verarbeitung von Biosignalen werden z. B. Einrichtungen zur Erfassung und Verarbeitung von analogen Signalen sowie Verfahren zu

ihrer Vorverarbeitung und zur Erkennung von Mustern benötigt. Bei der Errechnung von Bestrahlungsplänen in der Strahlentherapie liegt der Schwerpunkt auf Problemen der Simulation und bezüglich der Hardware auf großer Rechenkapazität.

### 3.2. Mögliche Rechnerstrukturen

Wie kann nun die Struktur eines Rechnersystems aussehen, das die beschriebenen heterogenen und vielleicht noch weitergehende Ansprüche aus anderen Disziplinen erfüllt? Hierzu sei zunächst ein Katalog von Eigenschaften genannt, der in seiner Länge typisch für die Medizin ist, obgleich die Forderungen einzeln auch für nichtmedizinische Anwendungen bestehen:

- Sicherheit  
Wegen der oft lebenswichtigen Funktion von medizinischen Rechnersystemen muß die Sicherheit gegen Ausfall hoch sein.
- Verfügbarkeit  
Zeitlich: wann immer das System benötigt wird, muß es zur Verfügung stehen.  
Örtlich: an allen Stellen, an denen Zugriff zum System erforderlich ist, muß es auch möglich sein.
- Datensicherung  
Die gespeicherten Daten müssen gegen Verlust durch Zusammenbrüche oder äußere Einwirkungen gesichert sein.
- Datenschutz  
Die Vertraulichkeit der gespeicherten Daten muß gewährleistet sein.
- Ausbau- und Adaptationsfähigkeit  
Das System muß die Hinzufügung neuer Anwendungen sowie die Änderung von Ansprüchen unterstützen.
- Integrationsfähigkeit  
Die in verschiedenen Bereichen erhobenen Daten müssen in einer Datenbank zusammengeführt werden können und allen Bereichen zur Verfügung stehen.
- Schnelligkeit  
Das Rechnersystem muß mit einer der jeweiligen Anwendung angepaßten Schnelligkeit reagieren. Selbst wenn von der Anwendung her längere Reaktionszeiten tolerierbar sind, dient ihre Verkürzung der Benutzerfreundlichkeit des Systems.
- Wirtschaftlichkeit  
Obwohl es kein absolutes Maß für die Wirtschaftlichkeit ärztlicher Leistungen gibt, muß jeweils gefragt werden, ob nicht für den gleichen Aufwand mehr Patienten besser geholfen werden kann.

Die Anforderungen an Rechnerstrukturen für medizinische Anwendungen wurden verschiedentlich untersucht<sup>14,56,58,59</sup>. Für die hier vorliegende Problemstellung werden die vier folgenden Möglichkeiten diskutiert:

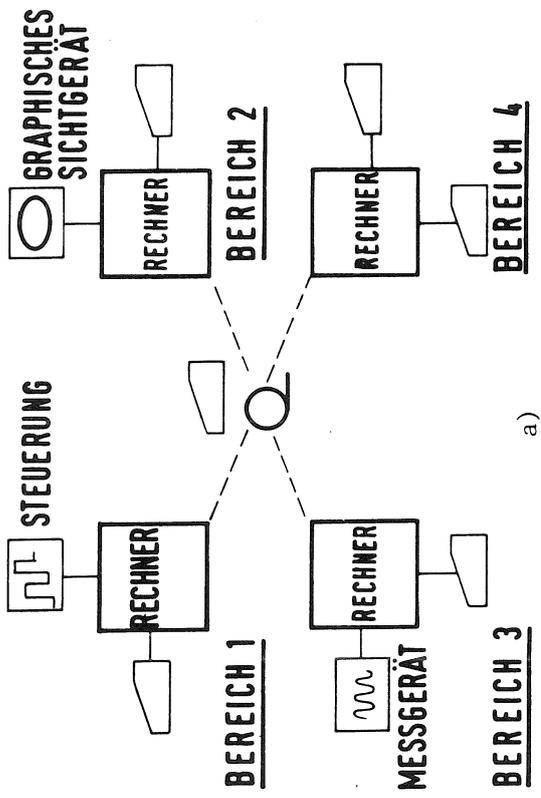
- Alleinstehende Rechner ('dedicated computers')
- Das zentrale System
- Das Hierarchische Mehrrechnersystem
- Das Rechnernetz

Abb. 4 zeigt schematisch diese vier Realisierungsmöglichkeiten für das Beispiel von vier medizinischen Bereichen. Hierbei wird willkürlich angenommen, daß im Bereich 1 vorwiegend Steuerungsaufgaben (wie etwa in der Strahlentherapie), im Bereich 2 graphische Auswertung (wie etwa in der Nuklearmedizin), im Bereich 3 Datenerfassung von Meßgeräten (wie in der klinischen Chemie) und schließlich im Bereich 4 Textverarbeitung (wie etwa bei der rechnergestützten Befundung) betrieben werden.

### 3.2.1. Alleinstehende Rechner

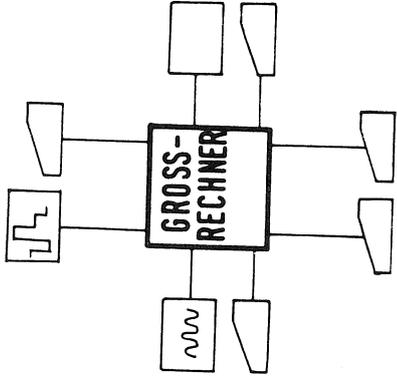
Der alleinstehende, also nur seiner speziellen Aufgabe zugeordnete Rechner (Abb. 4a) ist sicher für viele in sich abgeschlossene Anwendungen wie etwa die EKG-Analyse oder die Überwachung Schwerkranker eine gute Lösung, zumal er auch in seiner Hardware sehr spezielle Eigenschaften haben muß. Auch bei allen bisher im Routinebetrieb benutzten Systemen der Nuklearmedizin und der klinischen Chemie werden alleinstehende Rechner verwendet. Das Argument, daß er möglicherweise nicht wirtschaftlich arbeite, verliert dadurch mehr und mehr an Bedeutung, daß Rechnerhardware in den letzten Jahren so billig geworden ist, daß ihr Beitrag zu den Gesamtkosten nicht mehr ein so großes Gewicht hat. Dennoch gibt es zwei Argumente, die in vielen Fällen gegen den alleinstehenden Rechner sprechen.

Das erste ergibt sich aus der Tatsache, daß die Anforderungen an ein System, wenn es seine Nützlichkeit erst einmal gezeigt hat, im allgemeinen sprunghaft ansteigen, so daß die Eigenschaften und die Kapazität des Rechners nicht mehr hinreichend sind. Dies läßt sich im Prinzip durch die Installation eines größeren Rechners ausgleichen. Die praktischen Schwierigkeiten hierbei sind jedoch groß. Die fast immer spezielle Hardware für die Datenerfassungsgeräte muß geändert werden, die in Realzeitanwendungen zumeist in Maschinensprache geschriebene Software ist für den neuen Rechner nicht zu verwenden usw.



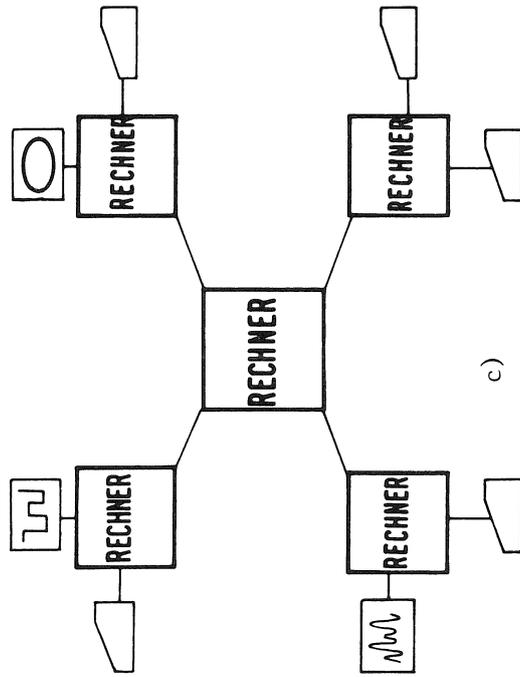
**VERTEILTES SYSTEM**

a)



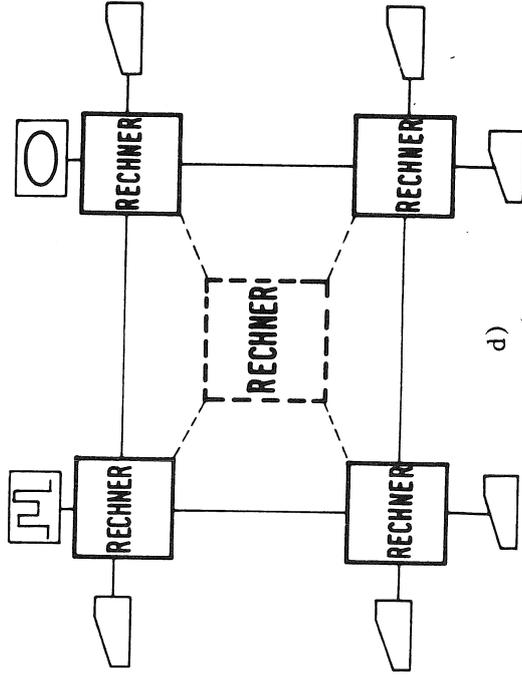
b)

**ZENTRALES SYSTEM**



c)

**HIERARCHISCHES SYSTEM**



d)

**RECHNERNETZ**

Abb. 4 Schematische Darstellung von vier möglichen Rechnerstrukturen für ein Datenverarbeitungssystem in einem Krankenhaus

Der zweite Nachteil des alleinstehenden Rechners ist darin zu sehen, daß man nach Überwindung der lokalen Schwierigkeiten eben doch den Zugriff zu weitergehenden Informationen aus anderen Bereichen suchen wird. So ist es durchaus vorstellbar, daß selbst in der Intensivmedizin neben den vom Patienten direkt gewonnenen Informationen auch Laborwerte aus dem Notfall-Labor in das Überwachungsprogramm eingehen können, die keinesfalls durch Bänder oder Lochkarten übertragen werden können.

Im Falle des klinisch-chemischen Labors sind beide Nachteile besonders gravierend. Die mit dem Angebot steigende Nachfrage nach klinisch-chemischen Befunden kann sehr schnell die Erweiterung eines Systems erfordern. Der Anschluß an ein übergeordnetes System, an das Aufnahme und Kliniken angeschlossen sind, ist jedoch auch durch die Forderung einer sicheren Probenidentifikation und Ergebnisübermittlung notwendig.

Bei der Nuklearmedizin spielt die Ausbaubarkeit eine ebenso große Rolle, da die Anforderungen an die szintigraphische Diagnostik ständig steigen. Darüber hinaus lassen sich die Probleme der Datenverwaltung und -auswertung in einem lokalen System nur schwer, die der Verknüpfung mit Informationen aus anderen Bereichen nicht in praktikabler Form realisieren.

### 3.2.2. Das zentrale System

Das zentrale System (Abb. 4b), also etwa ein Großrechner mit im Krankenhaus verteilten Terminals, bietet sich da an, wo die Integration der in den einzelnen Bereichen erfaßten Daten und die Kommunikation zwischen den Bereichen das primäre Ziel ist. Deshalb ist es Grundlage der meisten Informationssysteme<sup>23,24,27,49</sup> in der Medizin. Die Eingabe in ein solches System ist jedoch im allgemeinen auf Daten beschränkt, die auf Magnetband, Lochkarten oder über Terminals kommen. Der Anschluß komplizierter Datenerfassungsgeräte, wie etwa von Labormeißgeräten oder speziellen E/A-Geräten (z. B. graphischen Sichtgeräten) wird vom Hersteller meist nicht unterstützt und ist oft aus Gründen der Datenraten und Reaktionszeiten nicht sinnvoll. Besonders kritisch ist das Problem der Betriebssicherheit, da bei einem Systemzusammenbruch, der bei den komplexen Großrechnerbetriebssystemen mit viel größerer Wahrscheinlichkeit auftritt als bei Kleinrechnerbetriebssystemen, das Gesamtsystem beeinträchtigt wird. Systemzusammenbrüche sind jedoch besonders bei

Echtzeitanwendungen in der Testphase kaum zu vermeiden. Darüber hinaus ist der Ausbau eines solchen Systems etwa durch Ersatz des Zentralrechners erschwert, da dies ebenfalls zum Systemstillstand führt. Zentrale Systeme sind deshalb auf einen bestimmten Aufgabenkreis beschränkt, da sie kritisch gegen Systemzusammenbrüche und nicht sehr flexibel sind.

Die Aufgaben der Nuklearmedizin können wegen der hohen Datenraten und der Forderung nach graphischer Auswertung, die der klinischen Chemie wegen des Echtzeitbetriebs mit vielen Meßgeräten von einem solchen System schlecht erfüllt werden. Dennoch zeigt es einige bemerkenswerte Vorteile: Die Forderung der Integration und Kommunikation ist leichter zu erfüllen, da durchweg gleiche Betriebsmittel benutzt werden und die Benutzung standardisierter Prozeduren und Formate erzwungen werden kann. Das einheitliche Hardware- und Softwarepotential bildet aber auch die Grundlage für eine wirtschaftliche Nutzung und eine einfachere Wartung des Systems. Auch die Probleme der Datensicherung lassen sich bei zentraler Verantwortlichkeit besser lösen.

### 3.2.3. Das hierarchische Mehrrechnersystem

Das hierarchische Mehrrechnersystem (Abb. 4c) stellt eine Synthese der beiden vorgenannten Modelle dar. Es besteht aus Satellitenrechnern in den verschiedenen Anwendungsbereichen, die in Hardware und Software der jeweiligen Anwendung angepaßt sind. Diese sind möglicherweise über einen Datenkonzentrator an ein zentrales Rechenzentrum angeschlossen, das für die allen Anwendungen gemeinsamen Aufgaben zuständig ist. Ein solches System vereint die Vorteile der alleinstehenden Rechner mit denen des zentralen Systems und neutralisiert zu einem großen Teil deren Nachteile. Ein gewisser Nachteil gegenüber den vorgenannten Modellen liegt lediglich in dem erhöhten Verwaltungsaufwand für das dezentralisierte System.

Daß solche Systeme bisher kaum realisiert sind, liegt einmal daran, daß von Anfang an ein größeres Rechnerpotential vorhanden sein muß, von dem zunächst ein ungünstiges Kosten-Nutzungsverhältnis erwartet werden kann. Zum anderen ist wegen des Fehlens standardisierter Schnittstellen zwischen verschiedenen Rechnertypen der Kreis derjenigen, die eine solche Struktur realisieren können, auf solche Stellen beschränkt, die selbst Hardware-Entwicklungen betreiben können. Auf die Vorzüge einer solchen Struktur wurde bereits in Ref. 31 hingewiesen.

### 3.2.4. Das Rechnernetz

Das Rechnernetz läßt sich vom hierarchischen Mehrrechnersystem nicht streng unterscheiden. In seiner Form zeichnet sich das Rechnernetz dadurch aus, daß jeder Rechner mit dem anderen kommuniziert und auch zumindest zum Teil dessen Aufgaben übernehmen kann. Eine solche Konfiguration hat die größte Flexibilität und Betriebssicherheit. Allerdings ist der Verwaltungsaufwand hoch, und eine wirtschaftliche Nutzung ist nur bei einem sehr großen Benutzerkreis zu erwarten, der beim gegenwärtigen Stand der medizinischen Datenverarbeitung nirgends vorhanden ist. Ein Rechnernetz für medizinische Anwendungen ist meines Wissens noch nirgends realisiert worden.

Von den vier genannten Alternativen schien das hierarchische System zur Lösung der gegebenen Problemstellung am geeignetsten, weil es bei noch tragbar erscheinendem Aufwand die meisten Vorteile in sich vereint. Wesentlich für diese Wahl war auch die Mitbenutzungsmöglichkeit eines schon vorhandenen Großrechnersystems und die guten Erfahrungen mit dem DESY on-line System<sup>1</sup>.

## 3.3. Konzept und Funktion des DESY-UKE-Systems

### 3.3.1. Überblick

Die vorangegangenen Überlegungen führten in Zusammenarbeit mit dem Zentrallabor und der Abteilung Nuklearmedizin des UKE zur Erstellung eines Modellsystems, dessen zur Zeit realisierte Version in Abb. 5 zu sehen ist. Es ist ein Teil des DESY on-line Systems, das für die Erfassung und Auswertung von Daten aus Experimenten der Elementarteilchenphysik dient. Es zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

#### - Dezentralisierung

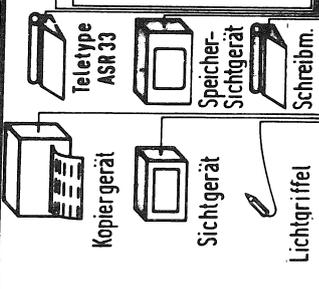
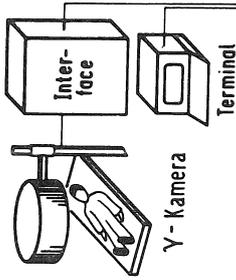
Je ein Satellitenrechner der PDP8-Familie ist dem Bereich Nuklearmedizin (System ISAAC) bzw. Zentrallabor (System LABMAT) zugeordnet. Diese sind über Telefonleitungen über einen Pufferrechner mit dem DESY-Rechenzentrum verbunden. An die Satellitenrechner ihrerseits sind für die jeweiligen Anwendungen spezifische Geräte und Terminals für den Verkehr mit dem System angeschlossen.

Die Aufgabenverteilung der verschiedenen Rechner im System ist folgende: Die beiden Satellitenrechner übernehmen die anwendungsspezifischen Aufgaben, wie die Datenerfassung und -präsentation. Der Zentralrechner übernimmt die rechen- und speicherintensiven Aufgaben, wie die Datenspeicherung und -aus-

# UKE

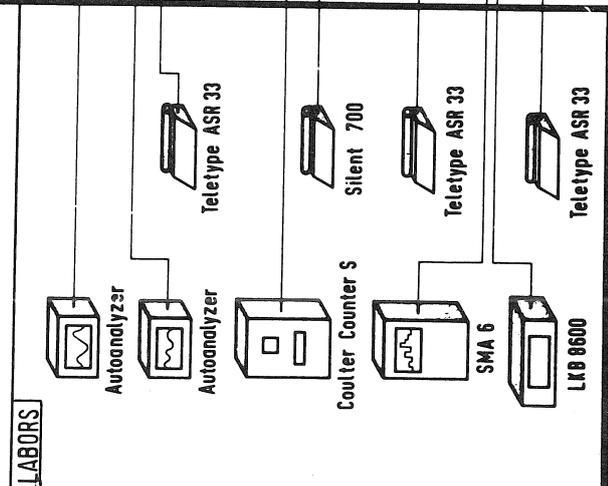
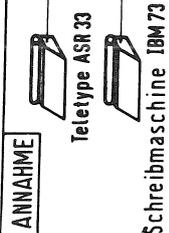
UNIVERSITÄTS  
KRANKENHAUS  
HAMBURG - EPPENDORF

## ABTEILUNG NUKLEARMEDIZIN



## System ISAAC

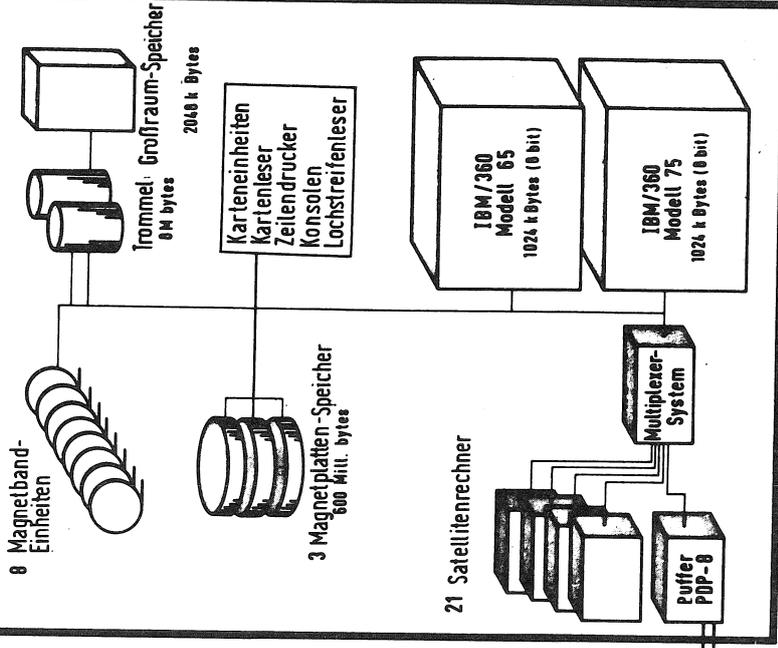
### ZENTRALLABOR



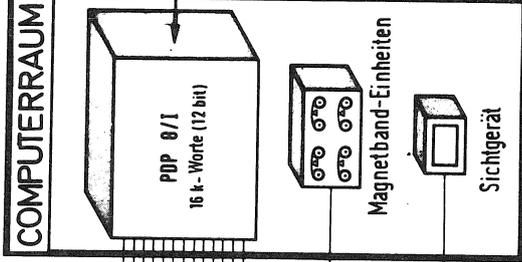
# DESY

DEUTSCHES  
ELEKTRONEN-  
SYNCHROTRON  
HAMBURG

## RECHENZENTRUM



10km Telephonleitung  
400 baud  
später 40.0 k baud  
2400 baud



## System LABMAT

Abb. 5 Überblick über das DESY-UKE-System

wertung, sowie allen gemeinsame Aufgaben. Der Pufferrechner dient zur Anpassung der Übertragungsgeschwindigkeit zwischen UKE und DESY (2400 baud) an die des DESY on-line Systems (100 kbytes/sec). Auf Grund seiner Dezentralisierung genügt das System dem eingangs genannten Kriterium in einem Universitätskrankenhaus, vielen und verschiedenartigen Anwendungen zur Verfügung zu stehen, denn die Auswahl der Satellitenrechner kann der jeweiligen Anwendung entsprechend erfolgen. Da ihrer Anzahl keine praktisch bedeutsame Grenze gesetzt ist, kann es einfach ausgebaut werden. Die Dezentralisierung begünstigt den Aufbau "von unten nach oben", da die Satellitenrechner in das System hineinwachsen können.

#### - Echtzeitbetrieb

Alle Meßwerte von den Meßgeräten werden on-line erfaßt. Der Dialog des Benutzers mit dem System erfolgt ausschließlich über Fernschreiber oder wo nötig über Sichtgeräte; Lochkarten oder Lochstreifen müssen vom medizinischen Benutzer nicht gehandhabt werden. Die Eigenschaft des Echtzeitbetriebes ist die Grundlage für die Benutzbarkeit im täglichen Betrieb durch medizinisches Personal. Diese wird noch erhöht durch die Anpassung der Ein-Ausgabe-Geräte an die spezielle Anwendung (z. B. graphische Sichtgeräte in der Nuklearmedizin).

#### 3.3.2. Das Subsystem LABMAT

Mit dem Aufbau von LABMAT, dem ersten Subsystem des DESY-UKE-Systems, wurde 1970 in Zusammenarbeit mit dem Zentrallabor des UKE begonnen. Die erste Version lief 1971. Für eine detaillierte Beschreibung wird auf bereits veröffentlichte Arbeiten <sup>11,16,17,29,32</sup> hingewiesen.

Die Aufgaben von LABMAT sind:

1. Erfassung der Patientenstammdaten
2. Automatische Erfassung und Kontrolle der Meßwerte
3. Permanente Speicherung der Resultate
4. Rückgewinnung der erfaßten Daten in Echtzeit für den Routinebetrieb
5. Rückgewinnung der erfaßten Daten in Echtzeit für wissenschaftliche Zwecke

Die hierfür benötigte Hardware ist in Abb. 5 zu sehen.

Aufbau

Der zu LABMAT gehörige Satellitenrechner PDP8/I hat eine Kapazität von 16 k Worten. Die Magnetbandeinheiten dienen der Zwischenspeicherung der erfaßten Daten, die Fernschreiber für die Datenein- und -ausgabe sowie für Befehle an das System. Ein Sichtgerät dient dem verantwortlichen Arzt zur Übersicht über die Funktion des Systems. Bisher wurden folgende Meßgeräte an das System angeschlossen:

- 2 Technicon Autoanalyzer
- 1 Technicon SMA6/60 Autoanalyzer
- 1 Coulter Counter S
- 1 LKB 8600 Reaktionsgeschwindigkeitsmeßgerät

Erfaßt werden folgende Messungen:

Hämatologie: Leukozytenzahl, Erythrozytenzahl, mittleres Erythrozytenvolumen, Hämoglobinkonzentration und daraus abgeleitete Größen.

Chemie: Natrium, Kalium, Chlorid, Kreatinin, Harnstoff-Stickstoff, Glukose, GPT, GOT, HBDH, LDH, CPK.

Das System ist über eine Datenleitung von 2400 baud mit dem DESY-Rechenzentrum verbunden, wo die erfaßten Daten auf Direktzugriffsspeichern gespeichert werden und jederzeit zum Abruf im Labor bereitstehen.

Benutzung

Der Arbeitsablauf bei der Benutzung des Systems beginnt mit der Eingabe der zu den Proben gehörigen Patientenstammdaten durch eine Dokumentationsassistentin an der Laborannahme. Eine Anzahl von Patienten - bis zu etwa der Füllung des Probentellers - wird zu einer "Liste" zusammengefaßt, die dem Rechner unter einer Nummer bekannt ist. Die am Meßgerät tätige medizinisch-technische Assistentin füllt die Proben in der in der Liste angegebenen Reihenfolge in den Probenteller, startet das Meßgerät und gibt durch ein Kommando am Fernschreiber dem Rechner bekannt, um welche "Liste" es sich handelt. Von LABMAT werden nun automatisch die Meßergebnisse in die Liste eingetragen. Gleichzeitig wird direkt im Anschluß an die Messung das Ergebnis auf dem Fernschreiber über dem Meßgerät ausgedruckt. Anhand von Kontrollproben prüft LABMAT Genauigkeit und Richtigkeit der Resultate. Trotzdem muß der

verantwortliche Laborarzt den Protokollausdruck auf Plausibilität prüfen und dann erst die Ergebnisse durch ein Kommando freigeben. Die Freigabe hat zur Folge, daß die Ergebnisse zum Zentralrechner übertragen werden.

### Neue Eigenschaften

Neu am beschriebenen System ist das Auskunftssystem, das den Abruf der erfaßten Daten an jedem Terminal des Systems nach vom Arzt vorgegebenen Kriterien erlaubt. Durch die jederzeitige Verfügbarkeit der Daten wird versucht, den Arzt erstmals in die Lage zu versetzen, ohne sich um die speziellen Probleme der Datenerfassung und der Programmierung kümmern zu müssen, große Datenmengen zu durchschauen und wissenschaftlich auszuwerten.

Beispiele für die Anwendung von LABMAT werden bei der Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 4 gebracht.

### 3.3.3. Das Subsystem ISAAC

Das Subsystem ISAAC wurde in seiner ersten Version 1972 in Betrieb genommen. Für eine detaillierte Beschreibung wird auf bereits veröffentlichte Arbeiten hingewiesen<sup>33,34,41</sup>.

### Aufgaben

Die Funktionen von ISAAC sind:

1. On-line Erfassung szintigraphischer Daten von einer Gamma-Kamera.
2. Interaktive qualitative und quantitative Auswertungen von szintigraphischen Daten.
3. Verwaltung der szintigraphischen Daten.

### Aufbau

Der zugehörige Satellitenrechner (siehe Abb. 5) ist vom Typ PDP8/e. Er ist mit einem Kernspeicher von 24 kWorten ausgestattet. Die Gamma-Kamera ist mit dem Rechner über Digital-Analog-Wandler verbunden. Externe Speicher sind ein Plattenspeicher mit einer Kapazität von 800 000 Worten für Programme und die Kurzzeitspeicherung von Szintigrammen. DECTape-Magnetbaineinheiten dienen in der gegenwärtigen Version zur Langzeitspeicherung der Szintigramme. Ein Sichtgerät mit schneller Bildwiederholung, ein Speichersichtgerät, eine Kopiereinheit und ein alphanumerisches Sichtgerät dienen dem Dialog des Arztes mit dem System. Die angeschlossene Schreibmaschine übernimmt die Ausgabe von Protokollen.

### Benutzung

Sobald der Patient unter der Gamma-Kamera positioniert ist, wird dem System in einem kurzen Dialog mitgeteilt, daß die Aufnahme beginnen kann. Die Daten werden vom Rechner in Form von Bildmatrizen, bestehend aus 128 x 128 Elementen, oder sequentiell Ereignis für Ereignis erfaßt. Während der Aufnahme kann das Entstehen des Bildes am Bildschirm verfolgt und die Aufnahme gegebenenfalls abgebrochen werden. Die gerätespezifischen Fehler der Gamma-Kamera werden nach der Aufnahme korrigiert und die korrigierten Daten auf Magnetband oder auf dem Plattenspeicher abgelegt. Zu jedem Zeitpunkt nach der Aufnahme können nun die erfaßten Daten interaktiv ausgewertet werden. Dies bedeutet, daß der befundende Arzt mit kurzer Verzögerung ( $\approx 1$  sec) jeweils die von ihm gewünschte Darstellung der szintigraphischen Daten auf dem Bildschirm verlangen und diese im Dialog mit dem Rechner quantitativ auswerten kann, wobei der Befundungsgang vom Arzt bestimmt wird. Bei Auswertungsschritten, die sich auf bestimmte Teile des Bildes beziehen, werden die Koordinaten dieser Teile durch Markieren mit dem Lichtgriffel an den Rechner weitergegeben. Auch Gamma-Kamera-Aufnahmen aus zurückliegenden Zeiten können über das System angefordert werden. Das System wird benutzt für die Diagnostik von Hirn, Schilddrüse, Lunge, Leber, Milz, Pankreas, Nebenniere, Nieren und Skelett.

### Neue Eigenschaften

Mit dem geschilderten Subsystem wird versucht, gegenüber früheren Systemen der Nuklearmedizin folgende neue Eigenschaften zu verwirklichen:

- Die interaktive Auswertung der Daten jederzeit im Anschluß an die Erfassung und am Ort ihres Entstehens soll dem Arzt eine effektive und schnelle Ermittlung der Befunde ermöglichen (siehe auch Ref. 34).
- Wie beim System LABMAT soll die Einbettung in ein übergeordnetes System die Grundlage dafür schaffen, Informationen mit anderen medizinischen Bereichen auszutauschen und ein größeres Hilfsmittelpotential (z. B. Programme für die digitale Filterung der Bilder) zu benutzen.

Beispiele für die klinische und wissenschaftliche Nutzung von ISAAC werden bei der Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 4 gebracht.

### 3.4. Implementation des DESY-UKE-Systems

Die Implementation des Systems muß unter dem Gesichtspunkt der historischen Entwicklung des Projektes gesehen werden. Dieses wurde mit einer personellen Aus-

stattung von einem Wissenschaftler und einem graduierten Ingenieur begonnen, deren Erfahrungen sich bis dahin auf Anwendungen in der Physik beschränkten. Deshalb wurden zunächst auch aus Gründen der Effektivität beim System LABMAT Hard- und Software-Komponenten aus der Physik übernommen und damit auch sehr schnell Ergebnisse erzielt. Gesichtspunkte der Modularität und Übertragbarkeit wurden dabei vernachlässigt. Die baldigen Ergebnisse brachten jedoch einen fruchtbaren Dialog mit den medizinischen Anwendern in Gang, der eine benutzergerechte Weiterentwicklung sicherte. Beim Projekt ISAAC bereits wurde auf Modularität und Übertragbarkeit geachtet. Vorteilhaft wirkt sich die von der Hardware vorgegebene Modularität aus. Wenn schon historisch gewachsene Teile (wie etwa das Kleinrechner-Programmsystem von LABMAT) nicht übertragbar sind, so können es andere (wie z. B. der Zentralrechner) durchaus sein. Die dezentrale Struktur mildert also die schädlichen Auswirkungen, die durch erfahrungsbedingte Konzeptänderungen während der Implementation hervorgerufen werden.

#### 3.4.1. Programmsysteme

Die Anforderungen an die Programmsysteme und damit an die Betriebssysteme unterscheiden sich beim LABMAT und ISAAC erheblich. Das System LABMAT verlangt einen hohen Grad von Parallelverarbeitung, da es mehrere Terminals und Meßgeräte gleichzeitig, und zwar mit kurzer Reaktionszeit bedienen muß. Die anfallenden Datenraten sind allerdings gering (Datenerfassung  $\approx 1$  Wort/sec, Datenrückgewinnung  $\approx 200$  Worte/sec). Beim System ISAAC sind die Verhältnisse umgekehrt. Es gibt nur ein Meßgerät und auch nur einen Benutzer, der jedoch, da er Bilder manipuliert, erhebliche Datenraten erzeugt (Datenerfassung  $\approx 10$  kWorte/sec, Datendarstellung 600 kWorte/sec). Die Struktur des DESY-UKE-Systems erlaubt den Einsatz von Betriebssystemen, die der jeweiligen Anwendung angemessen sind.

##### 3.4.1.1. Der Prozeßrechneranteil des Programmsystems LABMAT

Der Prozeßrechneranteil von LABMAT sollte die folgenden drei Aufgaben erfüllen:

- Datenerfassung und -ausgabe auf mehreren Terminals.
- Meßdatenerfassung.
- Zwischenspeicherung der erfaßten Daten.
- Übertragung der Daten zum Zentralrechner und Ausgabe von Auskünften vom Zentralrechner.

Als Betriebssystem für den verwendeten Rechner PDP8/I wurde aus Gründen des Echtzeitbetriebes der DESY-Multitasking Supervisor<sup>21</sup> gewählt. Der Supervisor erlaubt den parallelen Ablauf von verschiedenen Aufgaben (Tasks) in drei Prioritätsebenen. Ihr Ablauf ist asynchron und wird durch Ereignisse gesteuert, wie etwa eine Unterbrechung durch ein Meßgerät oder die Freigabe eines Hilfsmittels (z. B. einer Magnetbandeinheit) durch eine andere Task. Der Supervisor erlaubt es, re-entrant zu programmieren, was im Hinblick auf die Unterstützung mehrerer Terminals von Wichtigkeit ist. Der Supervisor hat den Nachteil, daß er die Datenverwaltung nicht unterstützt. Dieser Nachteil war zu tolerieren, da die Datenverwaltung zum größten Teil vom Großrechner übernommen wird.

Bei der Programmierung der oben genannten Aufgaben mußte kernspeichersparend verfahren werden. Andererseits durften die von den Meßgeräten vorgegebenen und die für Terminals sinnvollen Reaktionszeiten nicht überschritten werden. Die Verlegung fast aller Datenpuffer auf DECTape bot hier eine einfache und billige Lösung. Im Kernspeicher wird nun jeweils ein Doppelpuffer pro Meßgerät und Terminal gehalten, womit die geforderten Reaktionszeiten eingehalten werden können.

Die oben genannten Aufgaben spiegeln sich in der Task-Struktur von LABMAT wieder (Abb. 6). Der Ablauf der Programme, die in Assembler-Sprache geschrieben sind, wird gesteuert durch äußere Signalquellen wie die Uhr, die Eingabegeräte und die Meßgeräte. Die erste Reihe enthält Tasks, deren Fortgang durch die äußeren Ereignisse bestimmt wird, während die zweite solche enthält, die von anderen Tasks gestartet werden. Die Meßtask kann sowohl intern als auch extern aktiviert werden.

Im einzelnen gibt es folgende Tasks:

- Die "Timer Task"  
startet alle Tasks, die in festen Zeitabständen aktiv werden müssen (z. B. Rettung der Systemparameter für einen Neustart bei Systemzusammenbrüchen, Abtasten einer Analogkurve oder Herausschreiben der Ausgabepuffer).
- Die "Terminal Tasks"  
dienen zur Kommunikation mit dem Benutzer (Anforderungen an das System, Datenein- und -ausgabe).
- Die "Measurement Task"  
erfaßt die Meßwerte von den Meßgeräten (entweder in festen Zeitabständen oder auf ein Signal des Meßgerätes hin).

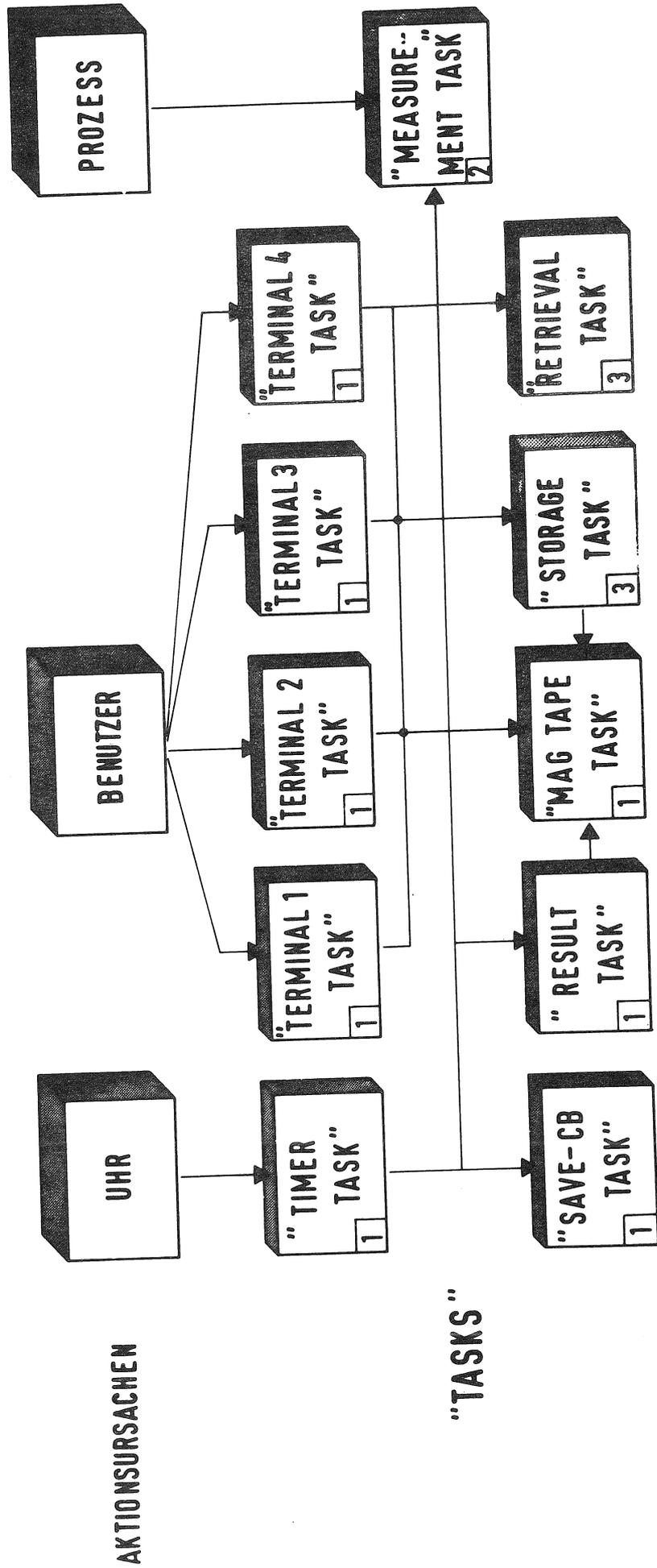


Abb. 6 Struktur des Programmsystems von LABMAT

- Die "Result Output Task"  
schreibt die Meßergebnisse in Abständen von 10 Sekunden auf Magnetband.
- Die "Magnetic Tape Task"  
verwaltet die von den Terminal Tasks verlangten Ein-/Ausgaben auf Magnetband.
- Die "Storage Task"  
überträgt die vom Arzt freigegebenen Resultate zum Großrechner.
- Die "Retrieval Task"  
steuert beim Auskunftssystem die Eingabe der Abfrageparameter und die Ausgabe der Ergebnisse.

Es zeigt sich, daß bei vollem Betrieb des Systems die Zentraleinheit nur zu 30 % ausgelastet ist und somit der Anschluß weiterer Terminals und Meßgeräte möglich ist.

Inzwischen sind die Randbedingungen, die bei der Implementation erfüllt werden mußten, nicht mehr so gravierend. Speicherplatz ist sehr viel billiger geworden, und es gibt auch kleinere Rechner, bei denen Parallelverarbeitung mit höheren Programmiersprachen möglich ist. so daß die beschriebene Realisierung heute nicht mehr gewählt werden würde.

#### 3.4.1.2. Der Satellitenrechnerteil des Programmsystems ISAAC

Bei der Auswahl des Betriebssystems für ISAAC wurde von vornherein auf die Übertragbarkeit, Programmiereffektivität und Unterstützung der Datenverwaltung geachtet. Deshalb kam der DESY-Supervisor als Betriebssystem für den aus Hardware-Gründen vorgegebenen PDP8/e-Rechner nicht in Frage, sondern es wurde das Betriebssystem OS-8 des Herstellers ausgewählt. Es hat allerdings den Nachteil, daß es keine Parallelverarbeitung zuläßt; es bietet dafür aber die Möglichkeit der Benutzung einer höheren Programmiersprache (FORTRAN II, neuerdings FORTRAN IV) und enthält ein für einen Kleinrechner aufwendiges File-Management. Die letztere Eigenschaft ist besonders wichtig, da in der hier beschriebenen ersten Entwicklungsphase die Verbindung zum Großrechner noch nicht in Betrieb war und somit die Datenhaltung zu den Aufgaben des Kleinrechners gehörte. Die Verwendung einer höheren Programmiersprache war für die angestrebte Übertragbarkeit des Systems unerlässlich.

Die zu erwartenden großen Datenmengen und die Benutzung von FORTRAN führten dazu, daß im Gegensatz zu LABMAT die Programme nicht mehr kernspeicherresident sein konnten. Die Software des Systems ISAAC besteht deshalb aus einem Rahmenprogramm und einer Anzahl spezieller Anwendungsprogramme, die alle auf einem Plattenspeicher gehalten werden. Diese werden vom Rahmenprogramm gerufen, wobei jeweils das vorausgegangene Programm im Kernspeicher überlagert wird. Die Tatsache, daß die Anwendungsmoduln nur über einen COMMON-Bereich untereinander kommunizieren können, zwingt manchmal zu recht umständlicher Programmierung.

Abb. 7 zeigt die Programmstruktur von ISAAC. Sie besteht aus einer Reihe sequentiell ausführbarer Programmsegmente, die nicht wie die Tasks zeitlich miteinander verzahnt sind. Allerdings gibt es innerhalb mancher Segmente (in Abb. 7 mit SV gekennzeichnet) Ein-Ausgabevorgänge, die sich zeitlich überlappen (z. B. Datenerfassung von der Gamma-Kamera und Speicherung auf dem Plattenspeicher). Solche Segmente enthalten einen einfachen Supervisor, der eine beschränkte Taskverwaltung übernimmt.

Die beschriebene Programmstruktur hat sich bezüglich der Modularität und Übersichtlichkeit bewährt. Die Probleme, die sich speziell bei der Bildbearbeitung ergeben, werden in Kapitel 3.4.4.2. angesprochen.

#### 3.4.1.3. Das Programmsystem des Pufferrechners

Aus Gründen der einfacheren praktischen Realisierung wurden die Satellitenrechner an die Zentralrechner über das schon vorhandene DESY on-line System angeschlossen. Deshalb war ein Pufferrechner nötig, der die verschiedenen Übertragungsgeschwindigkeiten der Telefonleitungen (4800 bzw. 2400 baud) und des DESY on-line Systems (100 kWorte/sec) ausgleicht. Im Prinzip hätten die Satellitenrechner auch direkt an das Großrechnersystem gekoppelt werden können. Im hier beschriebenen Fall muß die Verwaltung des Zugriffs zum Großrechner vom Pufferrechner übernommen werden. Hierzu wird ebenfalls der DESY-Multitasking-Supervisor benutzt. Jeder Datenleitung ist eine Task zugeordnet, die die Daten empfängt, zum Zentralrechner schickt und zurücküberträgt. Die "Timer Task" veranlaßt die "Modem Tasks", eine entsprechende Nachricht an die Satelliten zu senden, wenn nach 30 Sekunden keine Verbindung zum Zentralrechner zustande gekommen ist.

# ISAAC

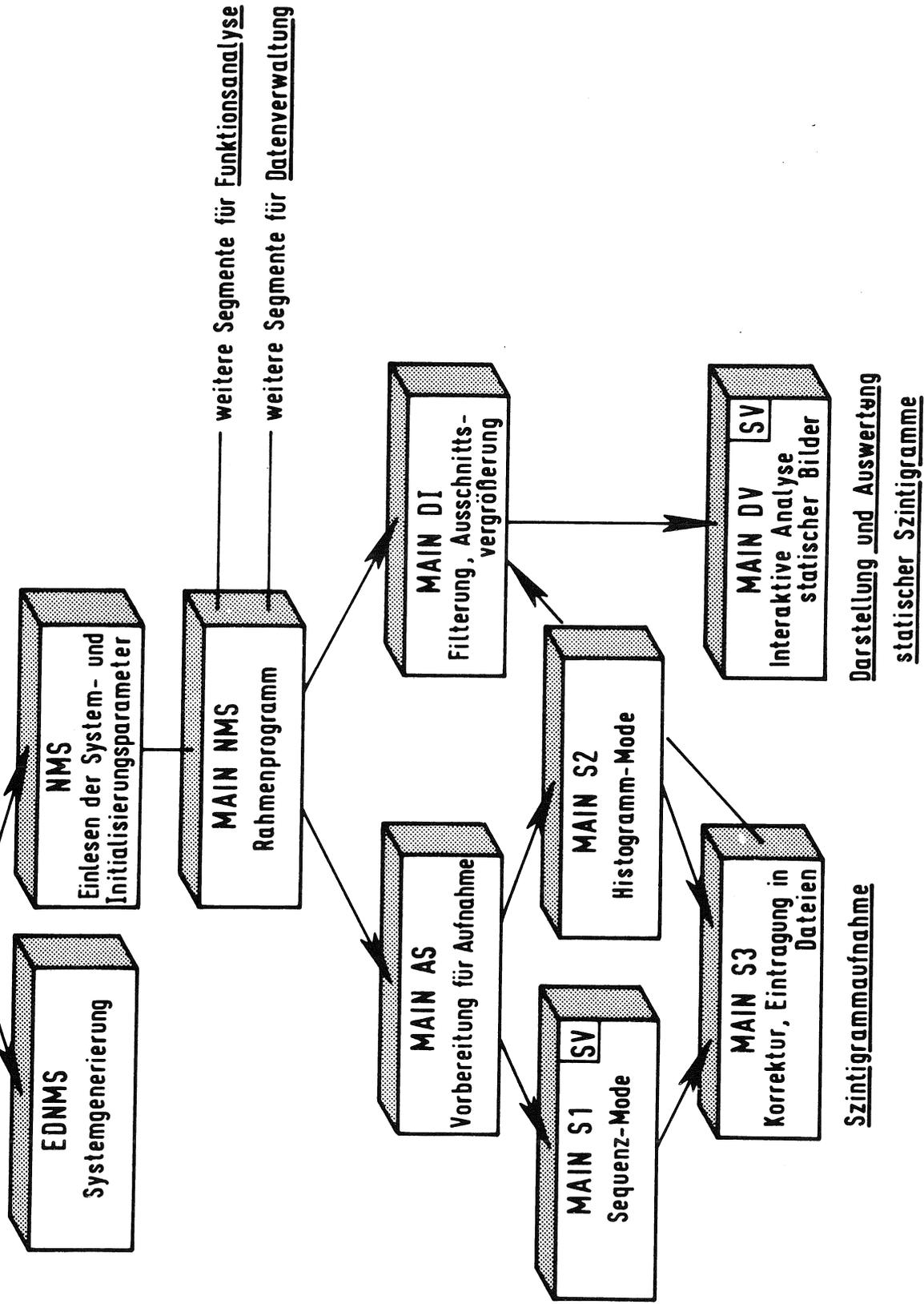


Abb. 7 Struktur des Programmsystems von ISAAC

#### 3.4.1.4. Die Struktur der Zentralrechnerprogramme

Die Struktur der Zentralrechnerprogramme ist durch die Konventionen des DESY on-line Systems vorgegeben. Die beiden gekoppelten Zentralrechner werden mit dem Betriebssystem OS-MVT betrieben. Dieses erlaubt die Parallelverarbeitung mehrerer "Jobs" in jedem Rechner. Die Jobs werden durch eine zentrale Job- und Betriebsmittelverwaltung (ASP), welche über dem Betriebssystem OS-MVT steht, dem jeweils am besten geeigneten Rechner zugewiesen. In einem der beiden Rechner läuft ein nicht endender Job mit höchster Priorität, der die von den Satellitenrechnern verlangten Programme ausführt. Diese sind im allgemeinen nichtresident, sondern werden beim Anruf durch den Satellitenrechner geladen. Sie sind zur Zeit auf eine Länge von 100 Kbytes und eine Rechenzeit von einer Sekunde pro Anruf beschränkt. On-line Programme können jedoch Jobs in die Warteschlange des Stapelbetriebs stellen. Beim System LABMAT wird z. B. das Fortschreiben der Dateien vom On-line Programm wahrgenommen, während das Auskunftsprogramm in der gegenwärtigen Version vom On-line Programm als Stapeljob gestartet wird. Beim System ISAAC werden Programme zur digitalen Filterung von Szintigrammen als Stapeljobs bearbeitet.

Diese spezielle Realisierung beeinflusst nicht die Funktion des Zentralrechners im Gesamtsystem. Die in FORTRAN IV geschriebenen Programme können ebenso in einer anderen Umgebung ablaufen. Allerdings werden die Reaktionszeiten beeinflusst, die bisher bis zu einigen Minuten dauern können. Sie werden wesentlich verkürzt werden, wenn der Austausch der jetzigen Rechner vom Typ IBM/360 durch zwei Rechner des Typs IBM/370-168 abgeschlossen sein wird. Dann werden die Aufgaben des DESY-UKE-Systems von einem permanent vorhandenen Job unter dem Betriebssystem OS/VS2 mit kürzeren Reaktionszeiten erfüllt werden.

#### 3.4.2. Programmiersprachen

Bei der Auswahl der Programmiersprachen war klar, daß wo immer möglich problemorientierte höhere Sprachen verwendet werden sollten. Durch die praktischen Gegebenheiten der Hardware und des vorgegebenen Zentralrechnersystems konnte dieses Konzept nicht immer durchgehalten werden.

##### 3.4.2.1. Die Programmiersprachen beim System LABMAT

Der Satellitenrechnerteil wurde wegen der Anforderungen des Echtzeitbetriebs in Assemblersprache geschrieben. Da bei der Datenerfassung wegen der noch nicht nor-

mierten Schnittstellen zu den Geräten ohnehin "hardwarenah" programmiert werden mußte, lohnte es sich schon, die etwas größere Mühe des Programmierens in Assemblersprache in Kauf zu nehmen, zumal sie auch mit sich brachte, daß das ganze Programm kernspeicherresident ist.

Die Programme der Datenverwaltung und -auswertung auf dem Zentralrechner wurden in FORTRAN IV geschrieben, weil bisher für On-line Programme nur diese Sprache verfügbar war. Die Direktzugriffsmöglichkeiten von FORTRAN IV zusammen mit den vom OS-Betriebssystem gebotenen Datenverwaltungsmöglichkeiten waren durchaus ausreichend. Die Behandlung der verhältnismäßig einfachen Datenstrukturen erweist sich beim Programmieren jedoch als ziemlich umständlich, so daß die inzwischen verfügbare Sprache PL/1 in der nächsten Phase mehr benutzt werden soll.

#### 3.4.2.2. Programmiersprachen beim System ISAAC

Beim System ISAAC wurde von vornherein auch im Satellitenrechner eine höhere Programmiersprache (FORTRAN II) benutzt. Dies hatte zur Folge, daß die ersten Datenerfassungs- und -auswertungsprogramme schnell erstellt werden konnten und die Dokumentation der Programme sich einfach gestaltete. Beim Ausbau des Systems zeigte sich jedoch, daß die Eingabe, Bearbeitung und Ausgabe der graphischen Daten im Dialog mit dem Rechner bei komplizierteren Auswertungsgängen zu uneffektiver und umständlicher Programmierung zwingt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß FORTRAN für eine Anwendung im Dialog ungeeignet ist und wie alle etablierten problemorientierten Sprachen Datenstrukturen, wie sie etwa ein Bild darstellt, nicht unterstützt. Eine problemorientierte Dialogsprache mit diesen Eigenschaften, die als Ausgabemedium etwa ein Sichtgerät und als Eingabegerät den Lichtgriffel unterstützte, würde einen Fortschritt in zweierlei Hinsicht bringen:

- Vereinfachung der Programmierung.
- Möglichkeiten für den medizinischen Benutzer, auch neue Auswertungsprogramme nach eigenen Ideen zu erstellen.

Die im Großrechner laufenden Programme für die digitale Filterung der Szintigramme sind in FORTRAN IV geschrieben, welches in diesem Fall die mathematischen Operationen adäquat unterstützt.

#### 3.4.3. Datenverwaltung

Die Datenverwaltung für die Systeme LABMAT und ISAAC ist in der bis jetzt realisierten Ausbaustufe noch getrennt. Sie wurde dadurch erschwert, daß es bisher

keine im gesamten Klinikum eingeführte Patientenidentifikationsnummer gab, so daß die Patienten vorläufig über Name, Vorname und Geburtsdatum identifiziert werden mußten.

#### 3.4.3.1. Die Datenverwaltung beim System LABMAT

Die Struktur der von LABMAT erfaßten und verarbeiteten Daten (Abb. 8) wird in der Erfassungsphase durch die Tatsache bestimmt, daß die Daten für jede Meßmethode in Gruppen maximal von der Größe des Fassungsvermögens eines Meßautomaten anfallen. Die zu den Gruppen gehörigen Patientenstammdaten werden als "Listen" sequentiell auf dem Datenband gespeichert, wobei hinter dem Patientenkopf jeweils Platz für die zugehörigen Meßwerte freigehalten wird, der dann bei der Messung ausgefüllt wird. Jede Liste wird durch eine Listenummer identifiziert, wobei in einer im Kernspeicher gehaltenen Tabelle der zu jedem Listenbeginn gehörige Bandblock festgehalten wird, so daß die Direktzugriffsmöglichkeit der DECTape-Magnetbänder ausgenutzt wird. Zum Ende der Erfassungsphase, also bei der Freigabe der Liste, wird sie auf die aktuelle Labordatei, die auf einem Plattenspeicher im Großrechner residiert, kopiert und in die Laborhauptdatei eingetragen. Die aktuelle Labordatei wird täglich auf Magnetband kopiert, so daß die Hauptdatei bei Fehlern und Systemzusammenbrüchen jederzeit wieder aufgebaut werden kann.

Die Laborhauptdatei ist die Basis für das Auskunftssystem von LABMAT. Im Gegensatz zur aktuellen Labordatei, bei der die Daten in der Reihenfolge ihres Entstehens registriert sind, besteht sie aus logischen Sätzen eines einzigen Typs mit dem Patienten als Hauptordnungskriterium. Da die patientenorientierte Abfrage am wichtigsten ist, wurden zur Beschleunigung des Aufsuchens zusätzlich noch alle Patienten mit dem gleichen Geburtsmonat durch Zeiger verknüpft. Kategorische Anfragen, wie etwa nach allen Patienten mit einem bestimmten Befund, werden durch sequentielle Dateiabsuche befriedigt.

Als sehr wichtig für einen reibungslosen Betrieb erwiesen sich die Dateipflegeprogramme. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um Programme für Änderungsläufe bei fehlerhaft oder unvollständig auf die Dateien gebrachten Daten und um die Programme für den Neuaufbau der Laborhauptdatei aus den Primärdaten.

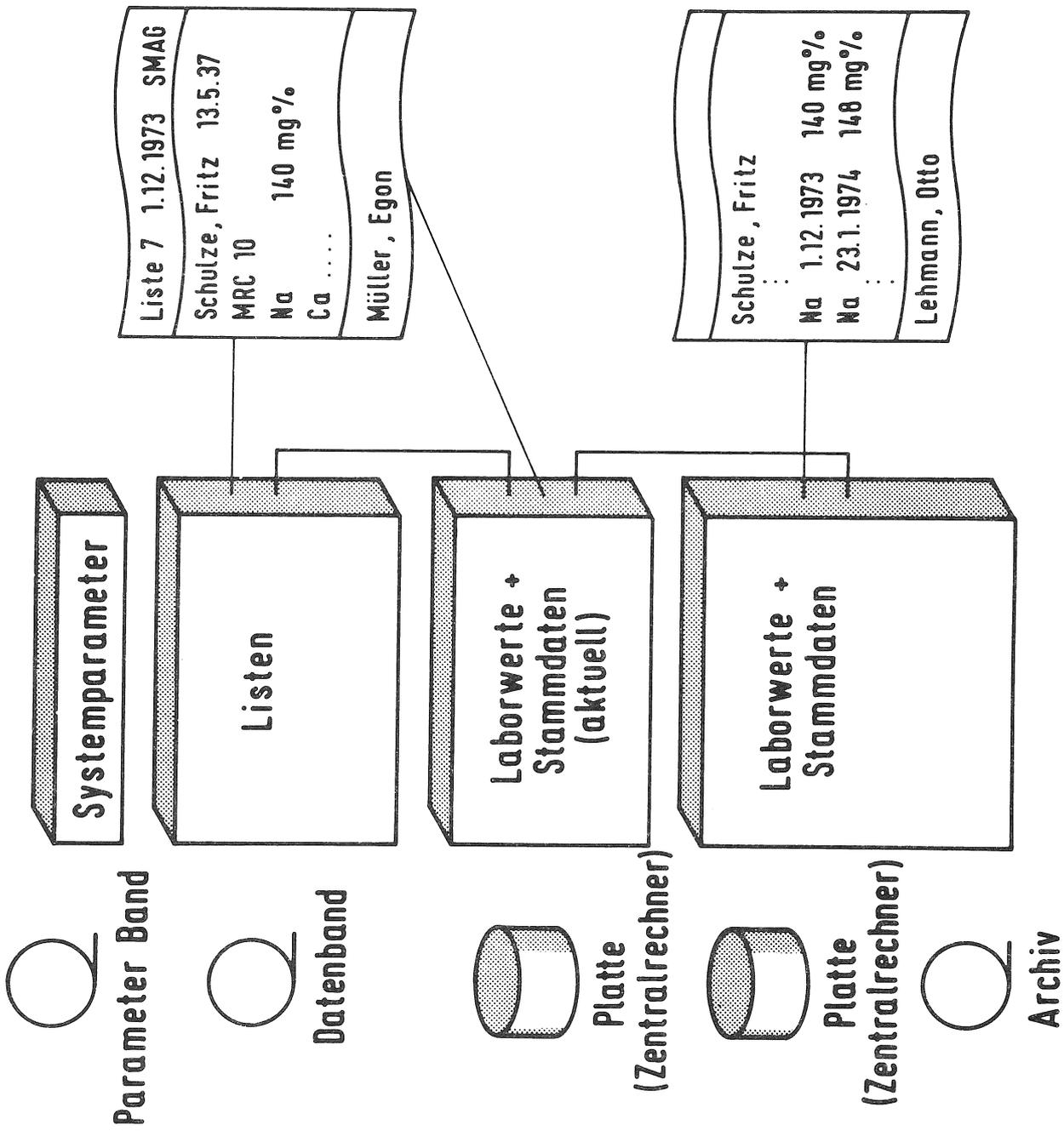


Abb. 8 Datenverwaltung beim System LABMAT

#### 3.4.3.2. Die Datenverwaltung beim System ISAAC

Die Datenverwaltung beim System ISAAC in der gegenwärtigen Ausbaustufe erfolgte, da die Datenleitung zum Zentralrechner lange Zeit nicht verfügbar war, allein im Kleinrechner. Während bei LABMAT die Struktur der Daten fest vorgegeben ist, können aus Gründen der Übertragbarkeit die zu ISAAC gehörigen Dateien (Abb. 9) in einem Editionsprogramm (EDNMS, siehe auch Abb. 7) nach Bedürfnis des jeweiligen Anwenders neu eingerichtet werden. Die Beschreibung der Dateien wird in der Formulardatei niedergelegt. Da die Daten bis auf die Szintigramme im Dialog mit dem Benutzer gewonnen werden, enthält diese die Fragen an den Benutzer bei einem Eintrag in die Datei, Angaben, durch welche Einträge das Segment identifiziert wird (z. B. Name und Geburtsdatum bei der Patientenstammdatei) und Angaben über das Speicherformat.

Die durch ein solches Formular beschriebene Patientenstammdatei enthält die Patientenstammdaten sowie einen Hinweis auf das zugehörige Szintigramm, das in der Szintigrammdatei abgespeichert ist. Die Patientenstammdatei und die Formulardatei residieren zusammen mit den Systemparametern auf einem Magnetband. Die Szintigrammdatei ist durch eine Serie von Magnetbändern realisiert. Daneben gibt es die im Plattenspeicher angelegte aktuelle Szintigrammdatei, in der die jeweilige Tagesproduktion gespeichert ist. Zur Beschleunigung des patientenorientierten Zugriffs zu den Szintigrammen sind die Segmente der Patientenstammdatei mit dem gleichen Jahrestag des Geburtsdatums durch Zeiger verkettet.

Die Realisierung der Szintigrammdatei auf Magnetbändern ist ohne Zweifel eine schwache Stelle der Datenverwaltung beim System ISAAC, da der Rückgriff auf länger zurückliegende Aufnahmen das Auflegen von Bändern aus dem Archiv erfordert.

Neben diesen für die längerfristige Speicherung nötigen Dateien gibt es eine Reihe von Hilfsdateien. Beispielsweise existiert eine Datei, in der die Koordinaten und Auswertungsergebnisse für vom Arzt in Szintigrammen markierte Bereiche gespeichert sind. Sie können unter dem vom Arzt vergebenen Namen abgerufen werden.

#### 3.4.4. Mensch-Maschine-Kommunikation

Wenn der Rechner ein nützliches Werkzeug für den Arzt, das Pflege- und technische Personal des Krankenhauses sein soll, darf seine Benutzung keine besonderen Fertig-

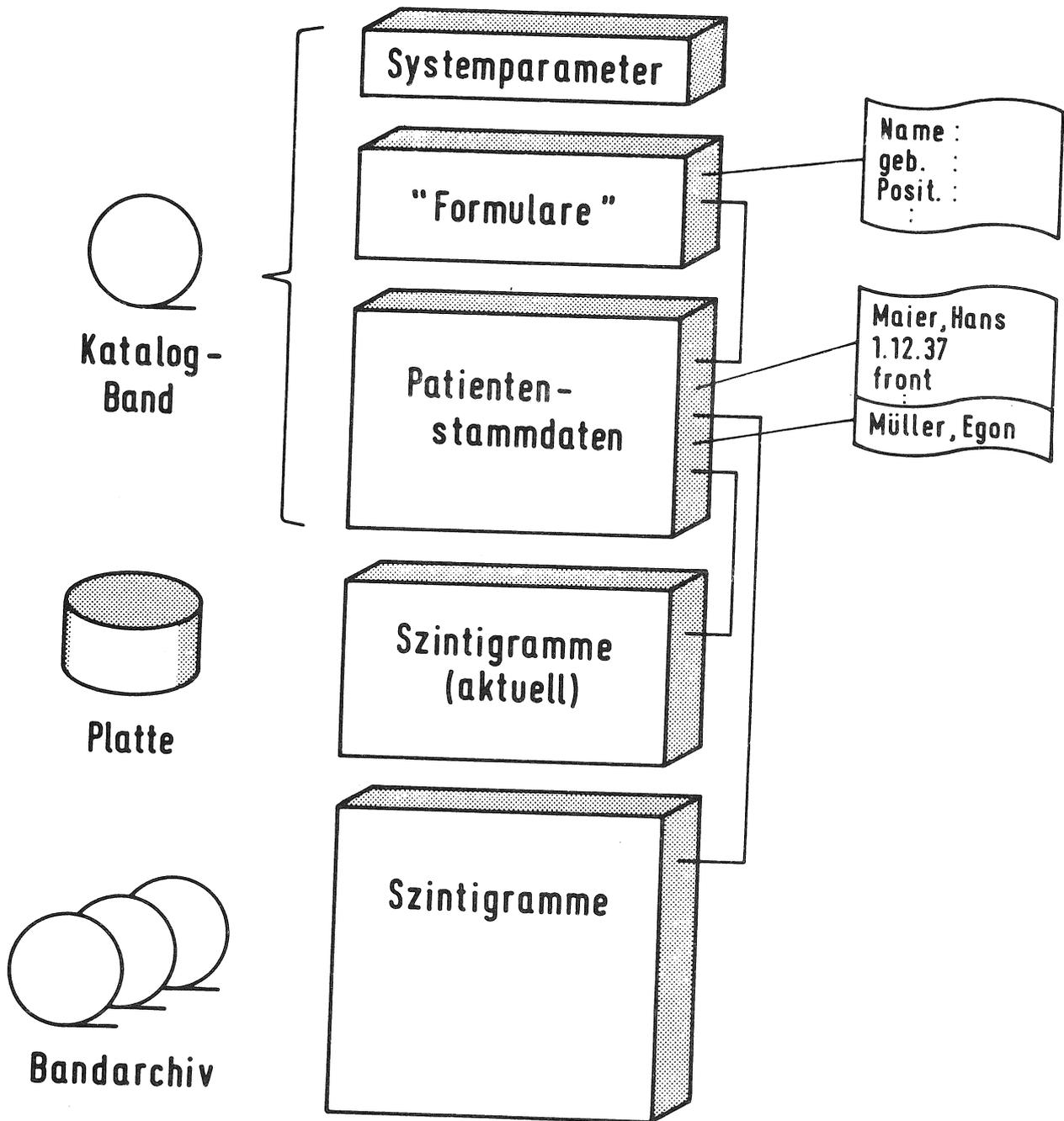


Abb. 9 Datenverwaltung beim System ISAAC

keiten vom Anwender verlangen. Er muß mit dem Rechner in gewohnten Formen über Text, Zahlen oder Bilder kommunizieren können, und zwar mit Reaktionszeiten, die den menschlichen ähnlich sind.

#### 3.4.4.1. Die Kommunikation mit LABMAT

Die Benutzung des Systems LABMAT läßt sich in zwei Phasen einteilen:

- Die Datenerfassungsphase, in der im wesentlichen das medizinisch-technische Personal mit dem System kommuniziert.
- Die Datenrückgewinnungsphase, bei der im wesentlichen Ärzte im Dialog mit dem System stehen.

Der Dialog der Benutzer mit dem System wurde in beiden Fällen durch ein vom Rechner geführtes 'ad hoc' programmiertes Frage-Antwortspiel realisiert. Abb. 10 zeigt als Beispiel den Dialog bei der Eingabe von Patientendaten, wobei die Antworten des Benutzers unterstrichen sind. Es zeigt sich, daß ein solcher Dialog in der Datenerfassungsphase den Anforderungen des Laborbetriebs genügt und vom Personal leicht erlernbar ist. Auf die Einführung einer Kommandosprache zur Erreichung einer flexibleren Befehlsstruktur wurde deshalb verzichtet.

In der Datenrückgewinnungsphase stellt die Echtzeitauswertungsmöglichkeit einen großen Fortschritt dar. Der angebotene Dialog (Abb. 11) ermöglicht die Ausgabe der Meßresultate in Form von Histogrammen oder Listen, wobei die Kennzeichen des ausgesuchten Kollektivs eingegrenzt werden können. Dieser Dialog hat jedoch noch Schwächen:

- Er erlaubt nicht die Formulierung aller sinnvollen Anfragen (z. B. nicht den Ausschluß von Kennzeichen).
- Das starre Format verlangt vom Benutzer mehr Angaben, als eigentlich nötig sind.
- Es ist nicht möglich, mehrere Anfragen auf einmal zu formulieren.

Diese Schwächen sind nur durch die Implementation einer Abfragesprache auszugleichen. Die an sie zu stellenden Anforderungen werden zur Zeit untersucht.

```

* SL = START LISTE
-----
+ NENNE LISTEN-NUMMER = 7
+ RICHTIG? (J/N): J
+ DATUM = 12.11.1973
+ ART DER MESSUNG = SMA6

+ 001) L
+ 002) L
+ 003) L
+ 004) K
+ 005) P
+ MEYER, OTTO, M
+ 1.4.1966
+ 3 33

+ 006) P
+ MUELLER, SABINE, F
+ 3.5.34
+ 7 1

+ 007)

```

Abb. 10 Beispiel eines Dialogs für die Datenerfassung beim System LABMAT

```

* AU = AUSKUNFT
+ ART DER AUSKUNFT (A, L, P, S): A
+ PLOT, DRUCK ODER MITTEL (P, D, W): P
+ NAME, VORNAME:
+ GESCHLECHT:
+ GEBURTSDATUM VON
      BIS
+ STATION:
+ MESSART:
+ GERÄT NR. :
+ MESSDATUM VON
      BIS
+ MESSWERT VON
      BIS .EINHEITEN
+ AUSGABE AUF FS ODER IBM-5M (F/I)? I

```

Abb. 11 Beispiel eines Dialogs mit dem Auskunftssystem von LABMAT

Bezüglich der Präsentation der Daten wurde, soweit es auf alphanumerischen Ausgabegeräten möglich war, auf graphische Methoden zurückgegriffen. So hat sich die Ausgabe von Meßwerten in Form von Histogrammen (z. B. Abb. 21) sehr bewährt, da die großen Datenmengen nur durch bildliche Darstellung zu überschauen sind. Die bisher von LABMAT angebotenen Möglichkeiten sollen deshalb mit Hilfe eines Zeichengerätes erweitert werden.

#### 3.4.4.2. Kommunikation mit ISAAC

Die Anforderungen bezüglich der Kommunikation gehen beim System ISAAC weit über die des Systems LABMAT hinaus:

- Die Ein- und Ausgabedaten liegen zum größten Teil als bildlich darstellbare Daten vor. Es müssen also Möglichkeiten für ihre Darstellung sowie für die interaktive Bearbeitung durch den Arzt vorhanden sein.
- Auswertungsalgorithmen bestehen nur für einzelne Auswertungsschritte. Eine schnelle und erschöpfende Auswertung der Bilder ist somit nur im Dialog mit dem Rechner möglich.

Für die Hardware bedeutet dies, daß das zugehörige Ein-Ausgabegerät Bilder mit einer Geschwindigkeit ausgeben muß, die mit der menschlichen Reaktionsgeschwindigkeit vergleichbar ist. Unsere Wahl fiel deshalb auf ein Kathodenstrahlsichtgerät. Da es für die Darstellung von flächenhaften Grautonbildern kein kommerzielles Gerät gab, wurde von uns eine Sichtgerätesteuerung gebaut<sup>19</sup>. Ein Lichtgriffel (Abb. 12) ermöglicht die Eingabe von Daten aus dem Bildzusammenhang. ("Dem Rechner eine bestimmte Stelle des Bildes zeigen").

Für die Software bedeutet die Forderung nach interaktiver Arbeitsweise, daß die zu den einzelnen Auswertungsschritten gehörenden Programme Ausführungszeiten von der Größenordnung menschlicher Reaktionszeiten ( $\approx 1$  sec) haben müssen und daß sie im Dialog mit dem Rechner ausgeführt werden können. Bei dem System ISAAC erfolgt der Aufruf durch einfache Kommandos am Terminal. Abb. 13 zeigt eine Anzahl typischer Kommandos zum Aufruf von Auswertungsmoduln. Abb. 14 zeigt als Beispiel den Dialog innerhalb des Moduls "Szintigrammaufnahme".

Diese recht einfache Art des Dialogs ist in der praktischen Anwendung sehr erfolgreich. Dennoch sind aus folgenden Gründen, die in ähnlicher Form auch beim System LABMAT auftreten, Verbesserungen möglich:

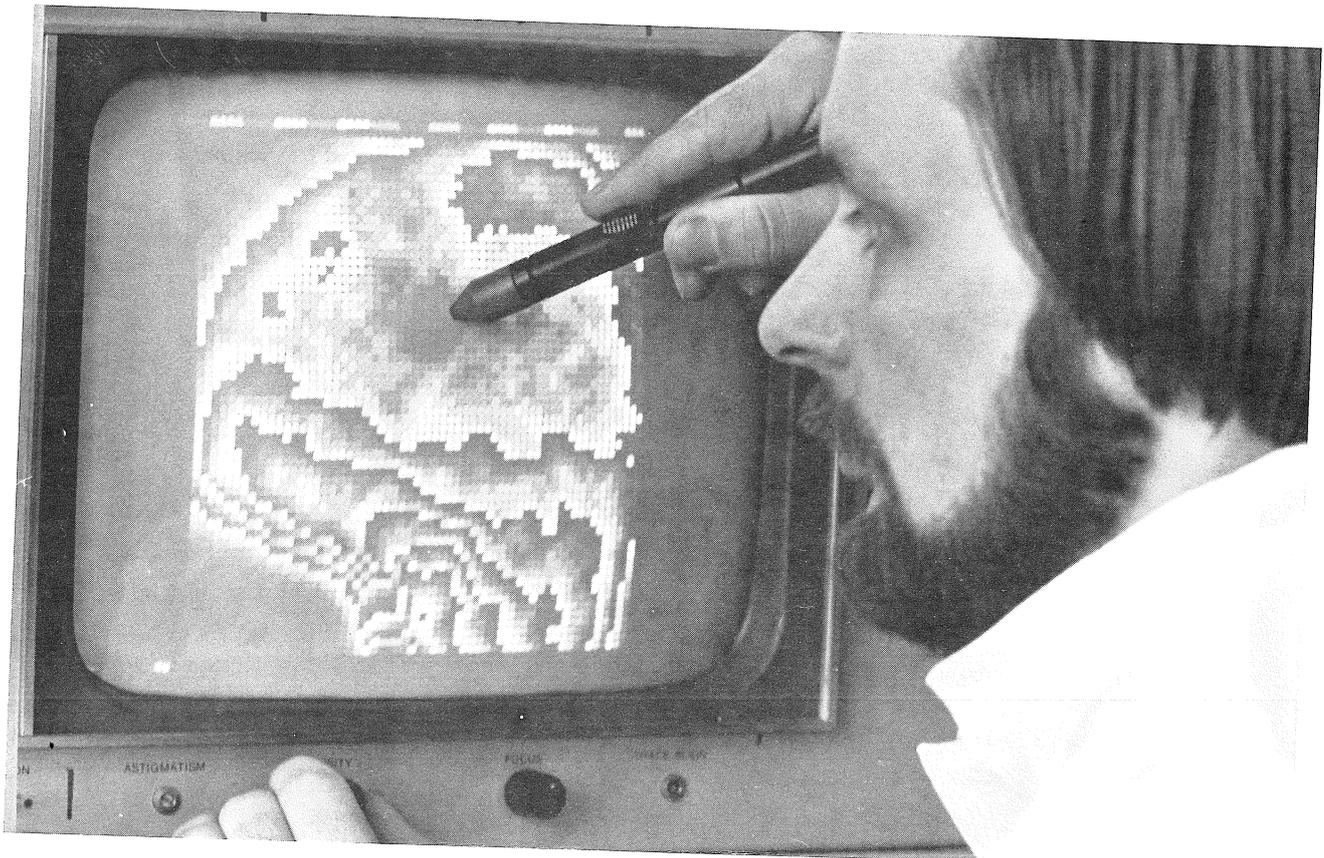


Abb. 12 Beispiel für die graphische Dateneingabe mit dem Lichtgriffel durch den Arzt (Hier: Markierung eines interessierenden Bereiches in einem Hirnzintigramm)

- W obere Schwelle um 1 Stufe erniedrigen
- A obere Schwelle um 1 Stufe erhöhen
- P untere Schwelle um 1 Stufe erniedrigen
- L untere Schwelle um 1 Stufe erhöhen
- (N)  $N = 1 - 9$ , Vervielfachung des Helligkeitsumfangs um den Faktor N
- I Isointensitätsliniendarstellung
- D Darstellung des differenzierten Bildes
- C Invertierung der Helligkeit
- S Ausgabe auf dem Speichersichtgerät
- X Löschen des gespeicherten Bildes
- K Papierkopie
- Z Schnitt durch das Bild

Abb. 13 Auswahl von typischen Kommandos für das System ISAAC

```

↑C
.R NMS

DATUM: 23. 1. 1973
DI, DEN 23. 1. 1973

BITTE
AS
NAME : MEYER HANS
GEB. : 1. 1. 1911
POSIT. : FRONT

STAT. : 400

BAND 30 AUF EINHEIT 2
MODUS: H

= 43

```

Abb. 14 Dialog bei der Szintigrammaufnahme

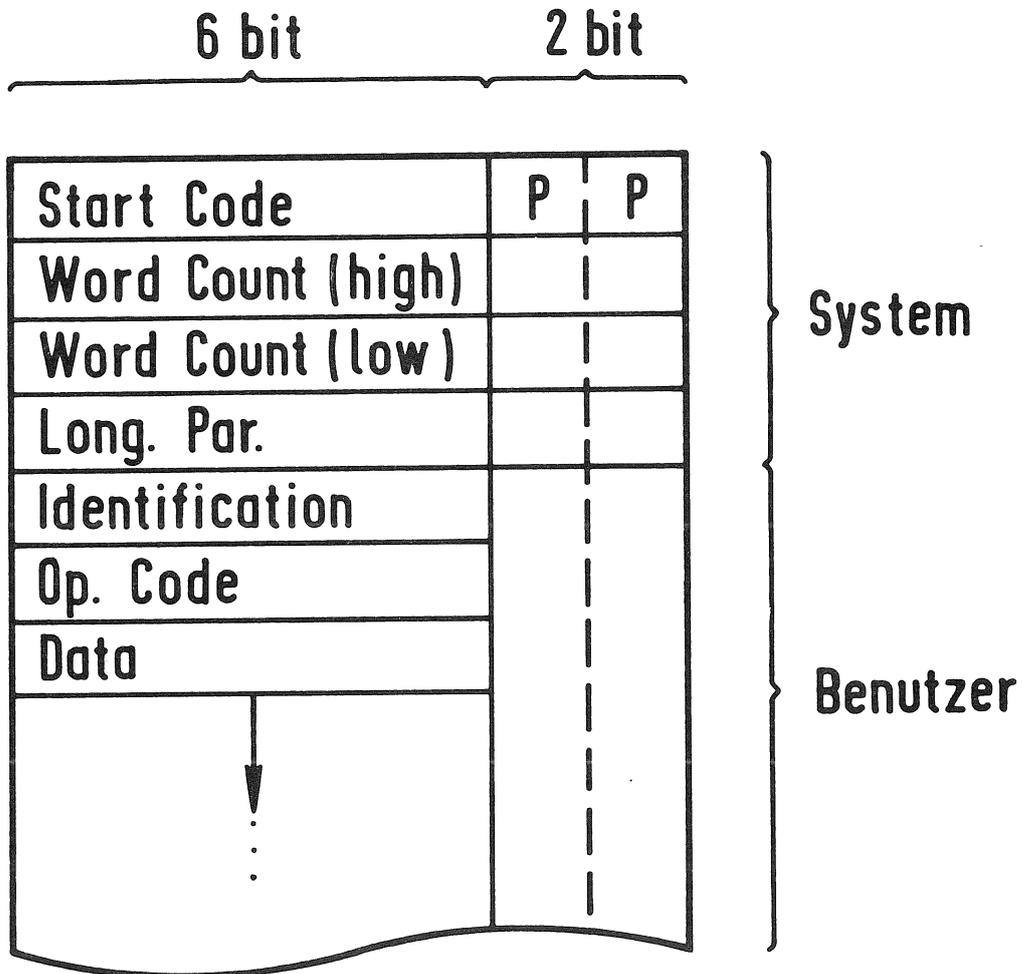


Abb. 15 Struktur eines Datenblockes für die Rechner-Rechner-Kommunikation

- Nicht alle sinnvollen Verknüpfungen der Auswertungsschritte sind ausführbar.
- Der Benutzer kann nicht ohne Programmierkenntnisse neue Auswertungsschritte hinzufügen.

Der erste Nachteil wäre vielleicht noch durch die Einführung einer Kommandosprache zu überwinden. Der zweite jedoch kann nur durch eine am Problem der interaktiven Bildbearbeitung orientierte Dialogsprache gelöst werden. Aus diesem Grund und auch wegen der allgemeinen Bedeutung, die die Bildauswertung in der Medizin hat, wird zur Zeit an der Definition einer solchen Sprache gearbeitet. Auf die Vorteile, die eine solche Sprache auch für die Implementation des Systems haben würde, wurde bereits in Kapitel 3.4.2.2. hingewiesen.

#### 3.4.5. Rechner-Rechner-Kommunikation

Das Konzept des Wachsens von unten nach oben impliziert, daß jegliche Aktionen im System von den den Anwendungsschwerpunkten zugeordneten Satellitenrechnern ausgeht. Der Zentralrechner steht nur bezüglich seiner übergeordneten Aufgaben an oberster Stelle der Hierarchie. Von der Funktion her wird er jedoch als gemeinsames Hilfsmittel der Satellitenrechner betrachtet. Dieses Konzept führt zu folgenden Vereinfachungen für das Kommunikationsprotokoll:

- Die Initiative zur Kommunikation kann nur vom Satellitenrechner ausgehen.
- Ein Satellitenrechner kann nur den Zentralrechner, nicht aber seinen Nachbarn ansprechen.

Wenn man zusätzlich noch die Bedingung einführt, daß jede Nachricht vor der Absendung einer weiteren Nachricht durch eine Antwort quittiert werden muß, gestaltet sich das Übertragungsprotokoll recht einfach. Abb. 15 zeigt die Struktur eines Datenblocks, wie er von den Satellitenrechnern über den Pufferrechner zum Zentralrechner und zurück gesandt wird. Übertragen wird in Zeichen von 8 bit, von denen zwei als transversale Prüfbits verwendet werden. Der Datenblock beginnt mit einem Startzeichen. Ihm folgen die Anzahl der zu übertragenden Zeichen und ein longitudinales Prüfzeichen. Diesem Standardkopf folgen die Benutzerdaten, die im allgemeinen mit einer Identifizierung und einem Operationscode beginnen, der die gewünschte Verarbeitungsart spezifiziert. Eine Datenübertragung beginnt mit einem Block, der das Laden des gewünschten Anwendungsprogramms spezifiziert. Danach

folgen die Datenblöcke. Bei Fehlern in der Übertragung wird die Übertragung so oft, wie es der Benutzer spezifiziert, wiederholt.

Diese Art der Rechner-Rechner-Kommunikation hat sich als sicher und problemlos erwiesen.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

Die mit dem DESY-UKE-System erzielten Ergebnisse werden mit den eingangs gestellten Forderungen verglichen, und zwar zunächst unter dem Gesichtspunkt der klinisch-chemischen und der nuklearmedizinischen Anwendung und dann aus dem Gesichtspunkt des Gesamtsystems.

##### 4.1. Ergebnisse in der klinischen Chemie

###### 4.1.1. Bestätigung von Vorteilen für den Routinebetrieb des Labors

Hier wurden zunächst Ergebnisse auch anderer Laboratorien bestätigt. Diese äußern sich am meisten durch die Verringerung der Schreib- und Auswertungsarbeit, da nach Eingabe der Patientendaten an der Aufnahme keine Schreibarbeiten mehr nötig sind. Die medizinisch-technischen Assistentinnen haben lediglich die Proben in einer vorgegebenen Reihenfolge in einen Probenteller zu stellen und das Meßgerät in Gang zu setzen. Auf einem neben dem Meßgerät aufgestellten Fernschreiber (Abb. 16) werden dann die Ergebnisse sofort nach der Messung ausgedruckt. Abb. 17 zeigt ein solches Protokoll für die klinisch-chemischen Parameter eines SMA6-Autoanalyzers, auf dem zunächst der Dialog der MTA mit dem Rechner und dann die Ergebnisse zu sehen sind. Nach Freigabe dieser Ergebnisse durch ein weiteres Kommando können die Ergebnisse für die Berichterstattung an den anfordernden Arzt abgefordert werden.

###### 4.1.2. Neue Möglichkeiten

Während diese Eigenschaften inzwischen auch in anderen Systemen verwirklicht sind, lauteten die wesentlichen Forderungen an das beschriebene System:

- Es soll den verantwortlichen Laborärzten zur Kontrolle des Betriebsablaufs die Flut der Daten durchschaubar machen.
- Es soll dem Arzt die Möglichkeit bieten, ohne Programmierkenntnisse die erfaßten Daten mit dem Rechner wissenschaftlich auszuwerten.

Zu diesem Zweck wurde das Auskunftssystem LABMAT geschaffen. Es ist so ausgelegt, daß der autorisierte Arzt, der sich durch ein Codewort legitimieren muß, jederzeit an jedem Terminal des Systems nach von ihm vorgegebenen Kriterien die erfaßten Daten als Histogramme oder Listen abrufen kann. Die Kennzeichen, nach denen er auswählen kann, sind Name, Geschlecht, Geburtsdatum oder Alter, Station, Meßart, Gerätenummer, Meßdatum und Meßwert. Der Dialog hierzu wurde bereits in Kap.3.4.4.1. (siehe auch Abb. 11) besprochen. Weitergehende Auskünfte, wie über zeitliche Verläufe oder Korrelationen, können sofort nach der Messung am Großrechner ausgegeben

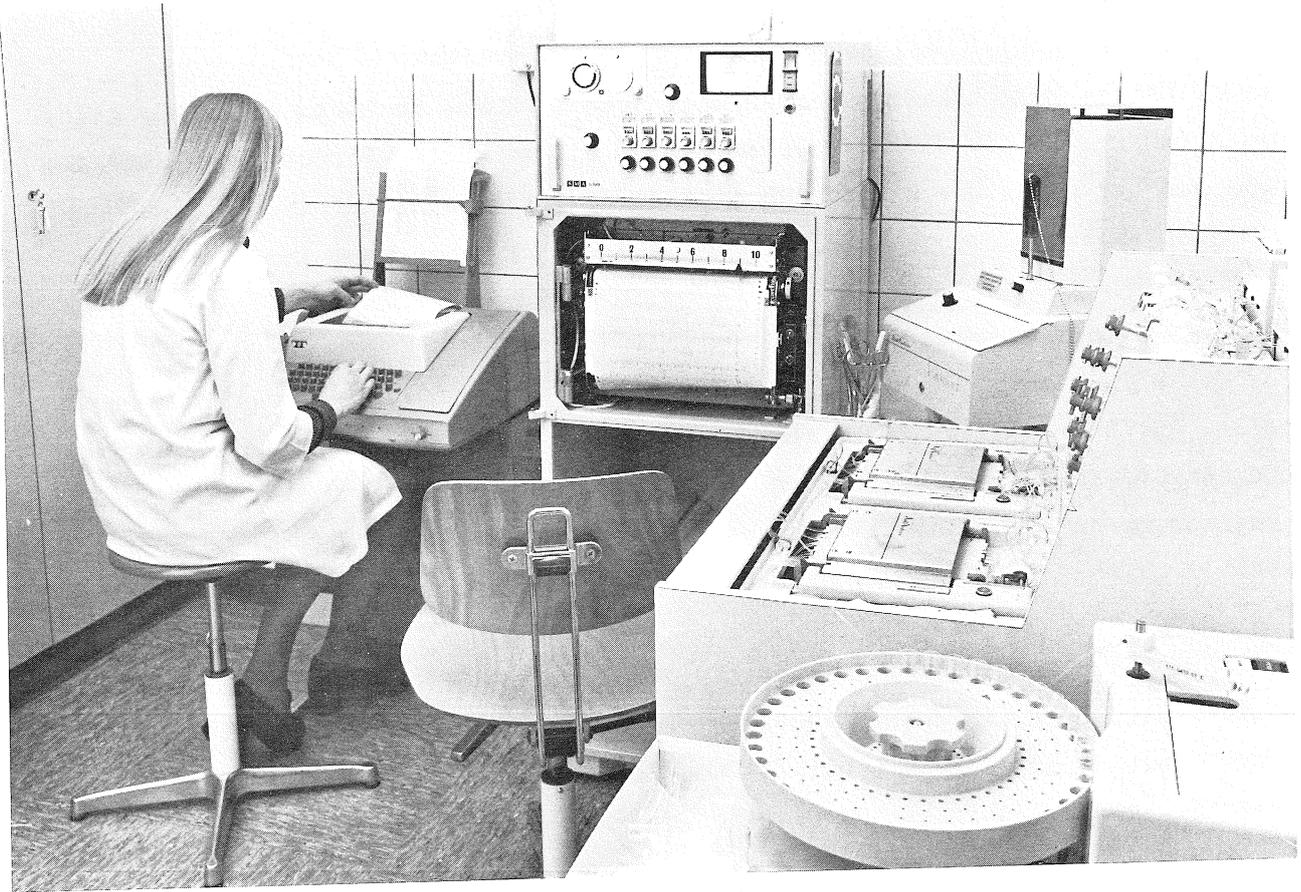


Abb. 16 SMA6-Autoanalyser mit Fernschreiber zur Kommunikation mit dem System LABMAT

\* ME = MESSUNG + ERGEBNISSE  
 -----  
 + MESSUNG AUF GERAET-NR = 2  
 + NENNE LISTEN-NUMMER = 6  
 + RICHTIG? (J/N): J  
 + STARTE GERAET: (J/N): J  
 \* DIE MESSUNG IST GESTARTET

DATUM = 05.10.1973  
 ART DER MESSUNG = SMA6  
 -----

		- ERGEBNIS IN -					
		NA	K	CREA	GLU	CL	BUN
		MVAL	MVAL	MG%	MG%	MVAL	MG%
L 001	LEERPROBE	148.	05.6	5.33	228.	107.	66.5
L 002	LEERPROBE	147.	05.6	5.37	228.	107.	66.5
L 003	LEERPROBE	147.	05.6	5.29	228.	107.	66.5
K 004	*** KONTROLLE ***	140.	04.3	1.16	086.	098.	09.9
K 005	*** KONTROLLE ***	142.	04.3	1.08	086.	100.	09.9
P 006	CHRISTIAN, M.	144.	03.7	0.94	075.	101.	15.9
P 007	KARL, M.	142.	05.6	1.45	089.	103.	30.0
P 008	LILLI, F.	135.	04.6	0.83	148.	095.	34.3
P 009	KARIN, F.	142.	03.5	1.05	374.	094.	18.6
L 010	LEERPROBE	147.	05.6	5.33	228.	107.	66.5
P 011	INGRID, F.	143.	03.4	0.83	112.	098.	06.5
P 012	FRIEDRICH, M.	145.	04.5	0.98	074.	105.	16.6
P 013	HEINZ, M.	143.	05.9	1.01	096.	099.	11.1
P 014	BIRGIT, F.	148.	02.8	1.05	313.	095.	22.2
P 015	THEA, F.	143.	04.6	0.98	143.	103.	28.7
P 016	SENTA, F.	148.	05.4	0.83	165.	110.	15.7
P 017	HERBERT, M.	141.	03.9	0.72	131.	104.	25.8
P 018	GRETE, F.	141.	03.5	0.72	090.	105.	20.5
P 019	ELISABETH, F.	150.	04.0	1.27	082.	102.	08.9
L 020	LEERPROBE	147.	05.6	5.37	226.	107.	66.3
P 021	ERNST, M.	144.	03.7	0.83	076.	105.	16.2
P 022	ERWIN, M.	143.	04.4	1.74	212.	102.	29.7

\* ENDE DER LISTE  
 -----

\* WAEMLE AUFGABE

Abb. 17 Beispiel eines Meßprotokolls für den SMA6-Autoanalyser

werden. Diese Möglichkeiten werden aber auch in Kürze im Labor verfügbar sein. Die Erfahrung zeigt, daß das System LABMAT die genannten Forderungen in großem Maße auf der Ebene der klinischen Anwendung, der wissenschaftlichen Forschung und des Labormanagements erfüllt.

#### 4.1.2.1. Klinik

Für die Klinik spielt der patientenorientierte Zugriff zu den Daten die Hauptrolle. Das System erlaubt es, zusammenfassende Berichte über mehrere Meßarten und längere Zeiträume anzufordern. Einen Bericht, wie er auch bei anderen Systemen, wenn auch nicht in Echtzeit, in ähnlicher Form erstellt wird, zeigt Abb. 19.

Das Beispiel dokumentiert gleichzeitig den durch die Rechneranwendung erzielten Fortschritt sowie die durch sie aufgeworfenen Probleme. Ein unbestrittener Fortschritt ist die größere Genauigkeit und Sicherheit und beim System LABMAT die jederzeitige Verfügbarkeit der Ergebnisse über längere Behandlungszeiträume. Die Vermehrung der Meßarten und die Miteinbeziehung der Variablen Zeit für eine Verlaufskontrolle führt jedoch zu einer Häufung von Daten, deren Informationsgehalt auch vom routinierten Arzt nicht mehr überschaut werden kann. Diese Art der Ergebnisausgabe kann deshalb nur als ein Zwischenstadium in einer Entwicklung angesehen werden, die in zwei Richtungen weitergehen kann:

- Entwicklung von graphischen Methoden, um die Daten überschaubar zu machen.
- Entwicklung von Algorithmen zur Extraktion von diagnostischen Informationen.

Der erste Weg wird gestützt durch die Erfahrung, daß der Arzt mit Recht eine Darstellung der Ergebnisse in analoger Form bevorzugt, wie sie von manchen Analysenautomaten ausgegeben werden. Abb. 18 zeigt ein solches Profil aus sechs Meßarten. Im beschriebenen Fall wäre jedoch eine graphische Darstellung nötig, die sowohl eine größere Anzahl von Meßarten sowie die zusätzliche Variable Zeit überschaubar macht, was mit konventionellen Mitteln nicht möglich ist. Der zweite Entwicklungsweg jedoch führt sehr schnell zum Problem der Quantifizierung medizinischer Diagnostik, für welches es trotz vieler Ansätze keine über Spezialfälle hinausgehende Lösungen gibt.

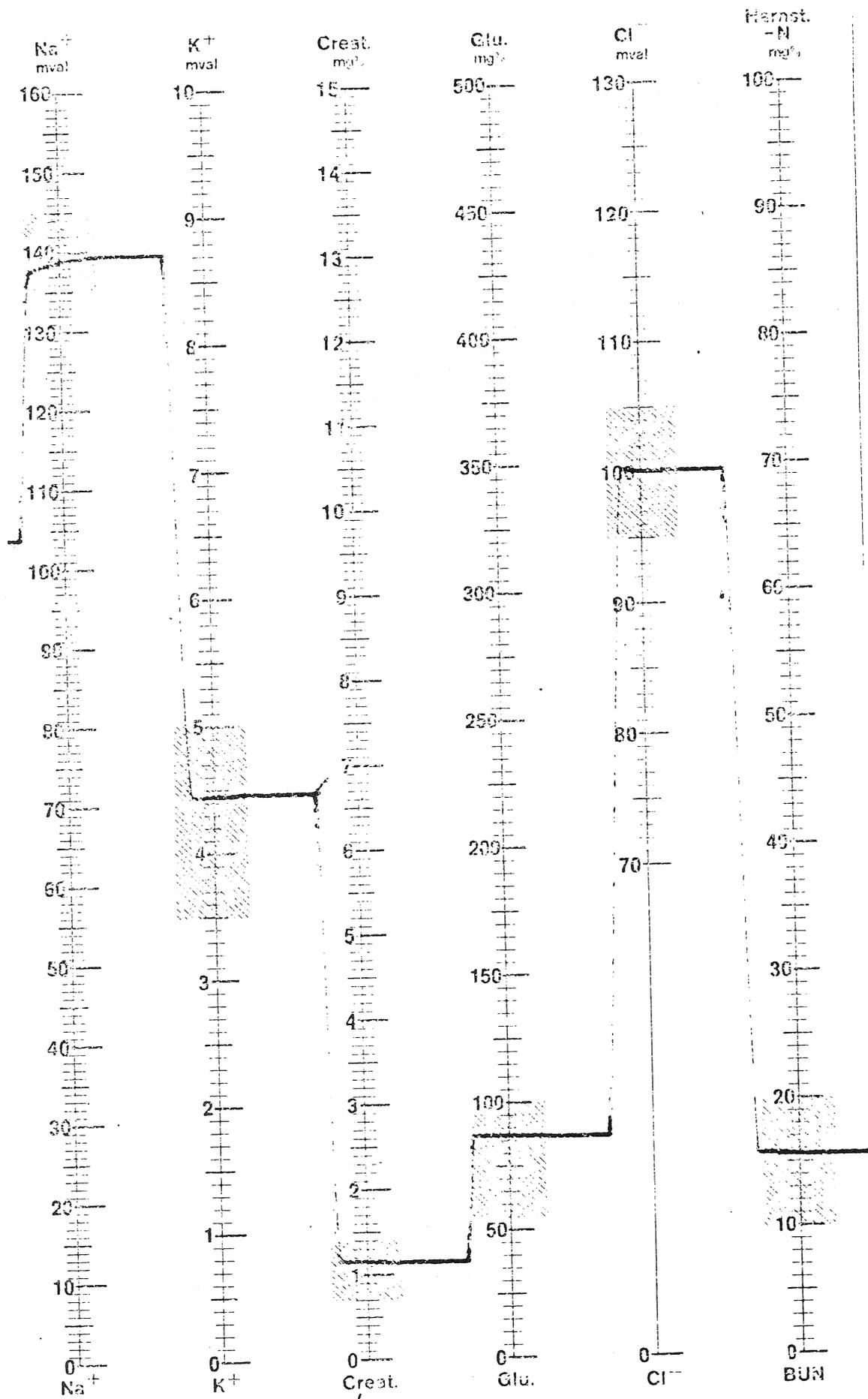


Abb. 18 Beispiel für die analoge Datenausgabe beim SMA 6/60 Autoanalyser



#### 4.1.2.2. Forschung

Die Entwicklung neuer Methoden setzt unter anderem das Durchschauen der Daten, auf die sie angewandt werden, voraus. Auch hier bietet das System LABMAT dem Arzt eine Reihe von Möglichkeiten. Der erste Schritt zur Ermittlung von Normalwerten ist die Untersuchung der Häufigkeitsverteilung der zu untersuchenden Meßart. Abb. 20 zeigt als Beispiel die Häufigkeitsverteilung des Chlorids im Blutserum für ein Kollektiv von 3100 Patienten, wie es jederzeit vom autorisierten Arzt im Labor abgerufen werden kann. Mittelwert, Standardabweichung und Vertrauensbereich des Mittelwertes werden mit angegeben. Als Beispiel für eine unsymmetrische Verteilung zeigt Abb. 21 die Häufigkeit der Leukozytenzahl für ein Kollektiv von 10 400 Patienten. Die Daten der ausgewählten Kollektive können jedoch auch als Listen ausgegeben werden. Abb. 22 zeigt als Beispiel eine Liste des Kollektivs der Patienten, die einen Glukosewert von größer als 300 mg % haben. Schon die relativ geringe Anzahl der für eine Anfrage zur Verfügung stehenden Parameter läßt eine große Zahl von Fragestellungen zu, die vom Arzt nur angegangen werden können, wenn ihm ein Werkzeug für ihre problemlose Lösung zur Verfügung steht.

Zu diesem Zweck gibt es neben den im Labor aufrufbaren on-line Programmen noch eine Reihe von off-line Programmen, die sofort nach der on-line Erfassung der Daten auf sie angewandt werden können. Fast immer ist die Kenntnis der Altersverteilung eines zu untersuchenden Kollektivs von Bedeutung. Abb. 23 zeigt eine solche Verteilung für das Kollektiv von 12 500 Patienten für Bestimmungen, die im Cito-Labor und im hämatologischen Labor gemacht wurden. Sie ist wiederum ein Beispiel dafür, mit welcher Vorsicht ein solches Diagramm zu interpretieren ist. Sie ist keineswegs repräsentativ für das Krankengut des UKE, viele der Strukturen kommen von der Verschiedenheit der Zeiträume, in denen Daten von verschiedenen Kliniken und Stationen erfaßt wurden. Hier können erst Eingrenzungen der Parameter verlässliche Informationen liefern.

Eine Grundlage für eine Quantifizierung der Diagnose auf Grund klinisch-chemischer Parameter ist deren Alters und Geschlechtsabhängigkeit sowie die Korrelation klinisch-chemischer Parameter untereinander. Abb. 24 zeigt als Beispiel die mit LABMAT gewonnene Alters- und Geschlechtsabhängigkeit für die Hämoglobinkonzentration im Blut. Ebenso wichtig sind Korrelationen zwischen Meßarten. Abb. 25 zeigt den Zusammenhang zwischen Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten und dem Hämatokrit (Anteil der Erythrozyten am Blutvolumen) in Form eines zweidimensio-

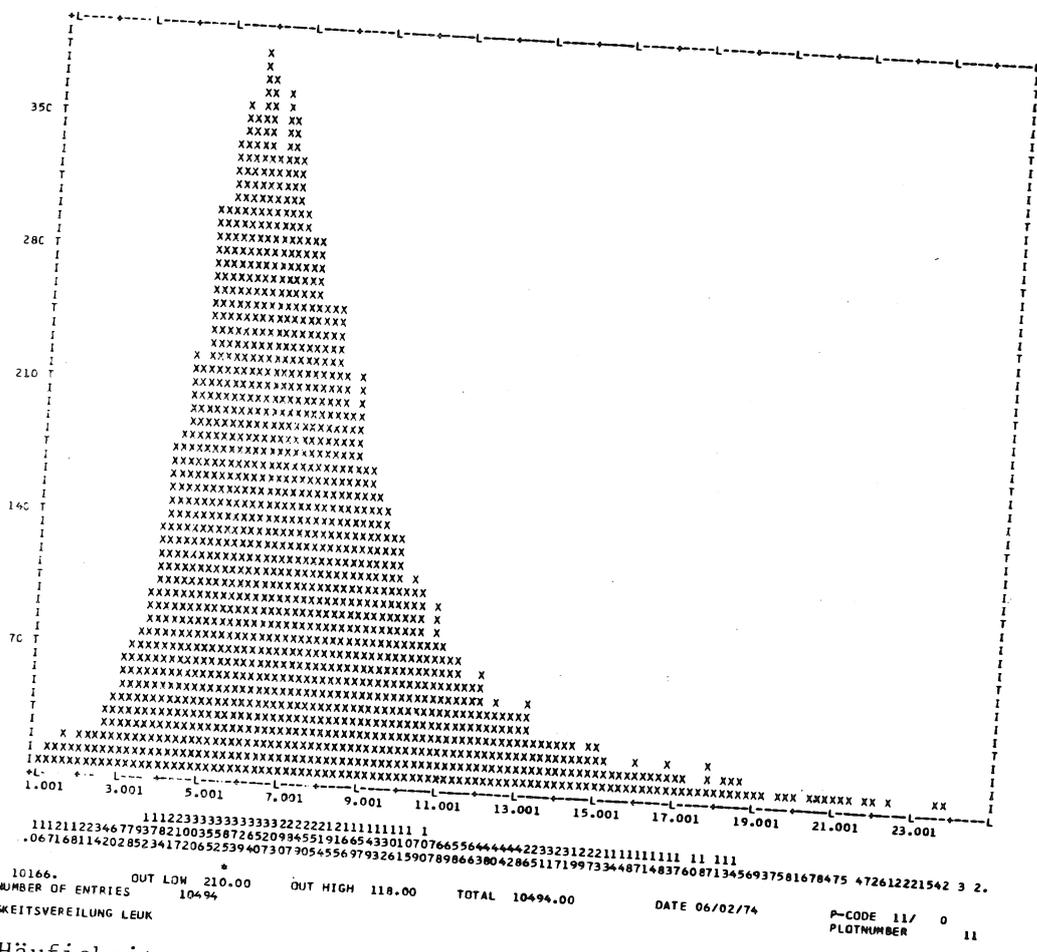


Abb. 21 Häufigkeitsverteilung der Leukozytenzahl (in tausend/mm<sup>3</sup>) für ein Kollektiv von 10 400 Patienten

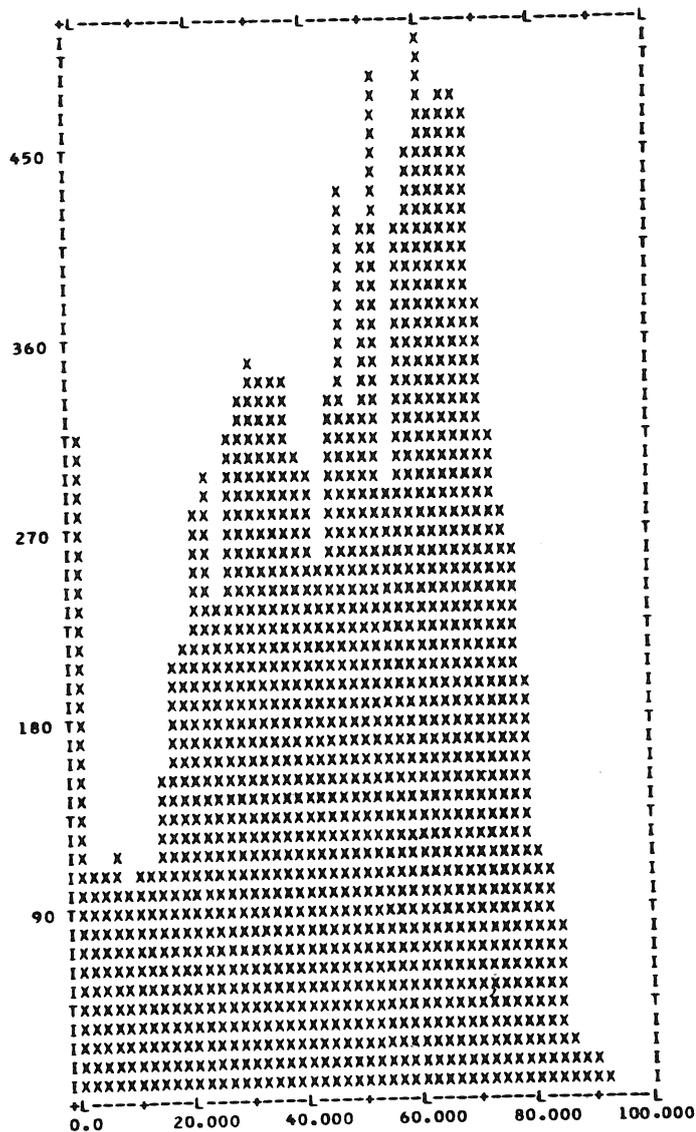
INSIDE 10166.      OUT LOW 210.00      OUT HIGH 118.00      TOTAL 10494.00      DATE 06/02/74      P-CODE 11/ 0  
 TOTAL NUMBER OF ENTRIES 10494      HÄUFIGKEITSVEREILUNG LEUK      PLOTNUMBER 11

--- DESY - LABMAT ---

04.10.73 16.50 H  
 IHRE ANFRAGE: ART: RETRIEVAL      AUSGABE: DRUCK  
 PATIENTENNAME      GS      STATION      MESSART      GERAET

GEB. VON	BIS	MESS-DT. VON	BIS	GLU	MESSWERT VON	BIS
[REDACTED], ADOLF, M	12. 3. 1973 SMA6	1. 5. 72	17. 8. 73	321. ++ MG%	300	450
[REDACTED], WALLY, F	18. 6. 1973 SMA6 19. 6. 1973 SMA6			326. ++ MG% 327. ++		
[REDACTED], REINHOLD, M	13. 8. 1973 SMA6			310. ++ MG%		
EMDE, ELIAS, M	17. 5. 1972 SMA6			422. ++ MG%		
[REDACTED], HERMANN, M	29. 5. 1973 SMA6			388. ++ MG%		
[REDACTED], CLARA, F	22. 3. 1973 SMA6			300. ++ MG%		
[REDACTED], HERBERT, M	15. 6. 1973 SMA6			314. ++ MG%		
[REDACTED], ALI, M	6. 8. 1973 SMA6			305. ++ MG%		
[REDACTED], LISELOTTE, F	30. 4. 1973 SMA6			318. ++ MG%		

Abb. 22 Beispiel für die Auswahl von bestimmten Patientenkollektiven (Hier: das Kollektiv der Patienten mit einem Glukose-Wert von  $\geq 300$  mg %)



3111 111222323333332234344244544443322111  
 1012900501703135444095332188140777671869108211  
 .29006842546089506618952243868921538980059629599 2

INSIDE 12587. OUT LOW 9.00 OUT HIGH 4727.00  
 TOTAL NUMBER OF ENTRIES 17323

ALTERSVERTEILUNG OHNE AUSWAHL

Abb. 23 Altersverteilung des Patientengutes des Cito- und Hämatologischen Labors

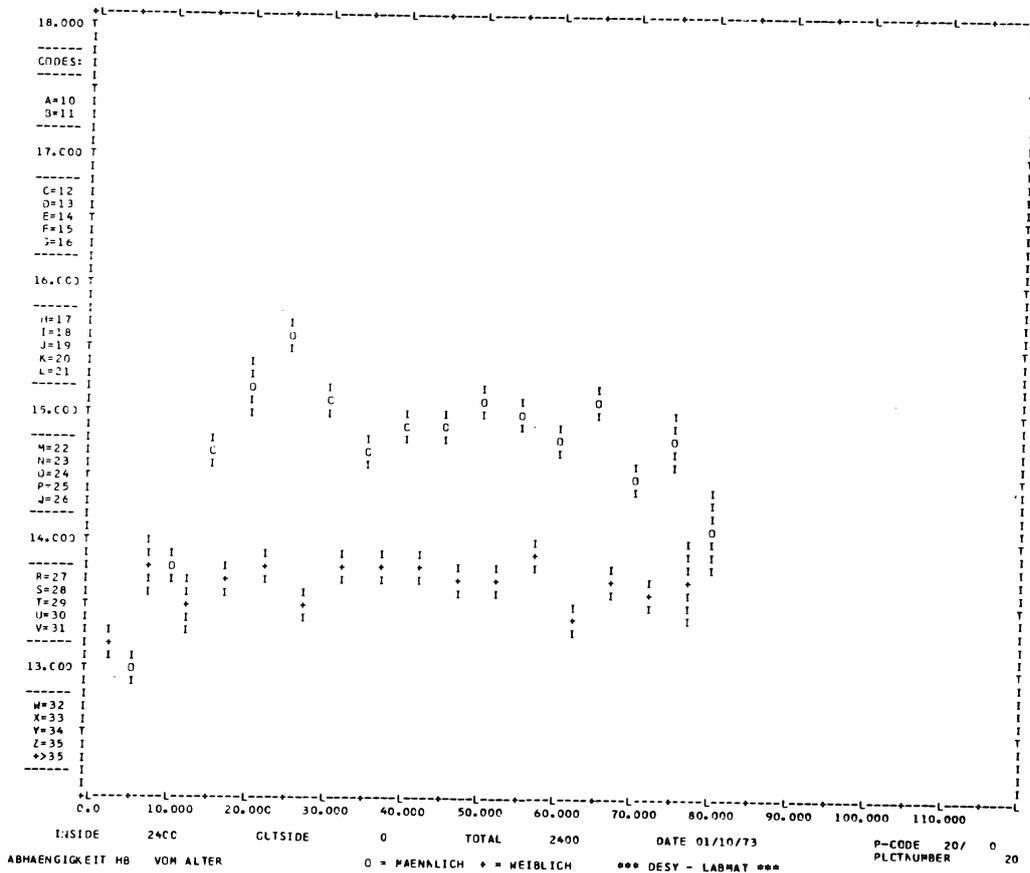


Abb. 24 Abhängigkeit der Hämoglobinkonzentration (in  $\text{g}/100 \text{ cm}^3$ ) vom Alter (in Jahren) und vom Geschlecht (0 = männlich, + = weiblich). Die Fehlerbalken stellen den 95 %-Vertrauensbereich des Mittelwerts dar.

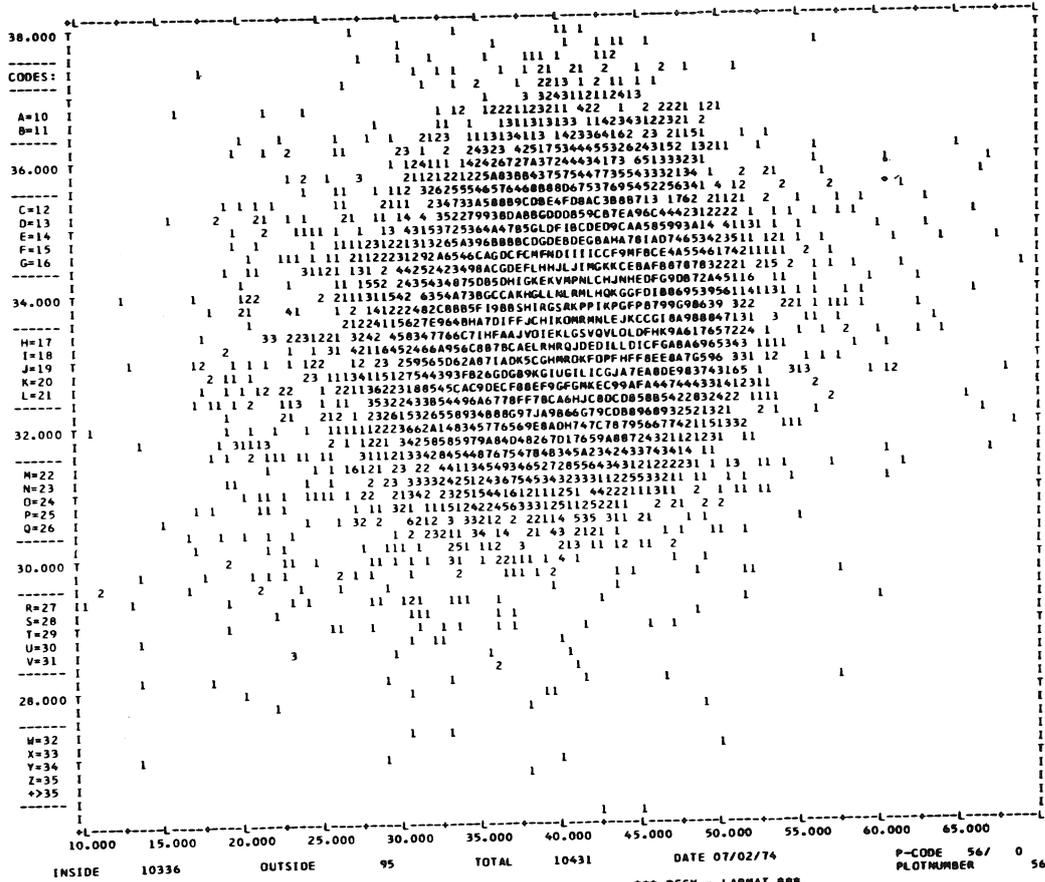


Abb. 25 Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung für die mittlere Hämoglobin-Konzentration der Erythrozyten (in g/100 cm<sup>3</sup>) und den Hämatokrit (in %) für ein Kollektiv von 10 300 Patienten

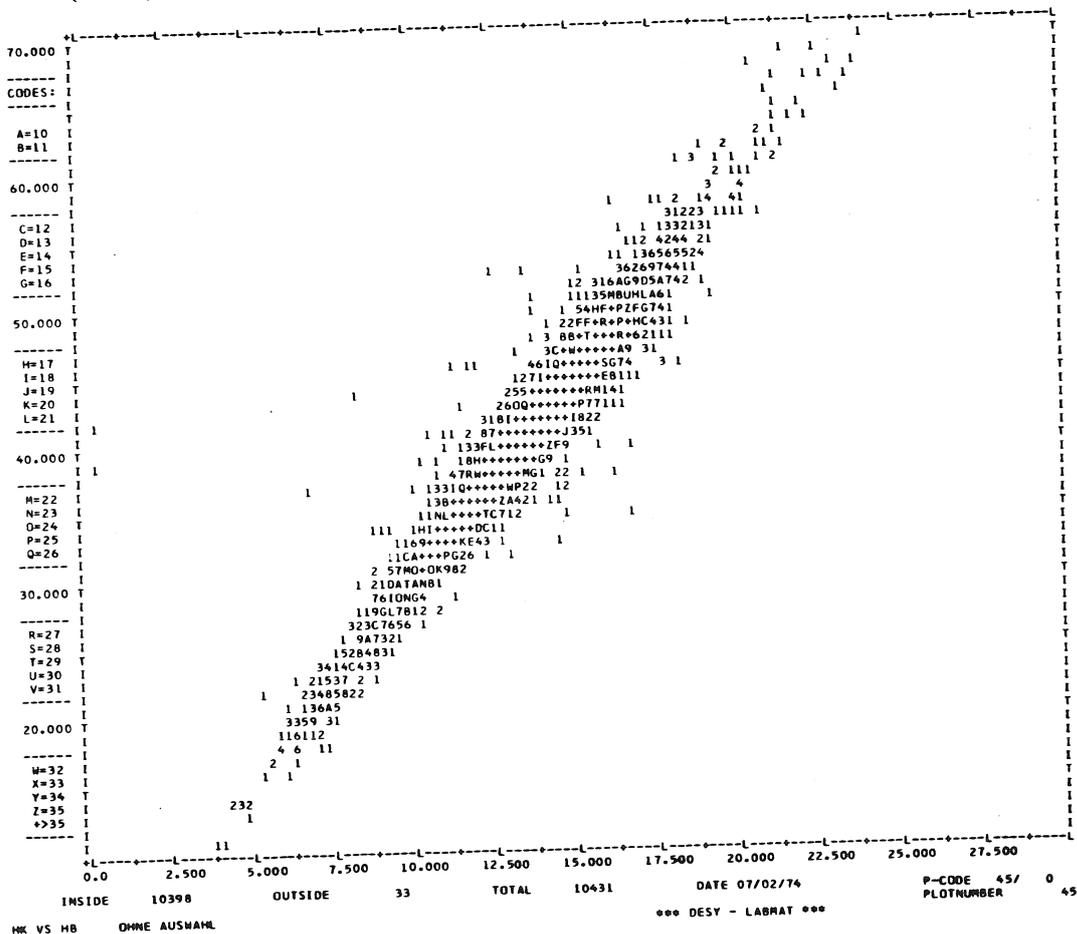


Abb. 26 Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung für den Hämatokrit (in %) und die Hämoglobin-Konzentration (in g/100 cm<sup>3</sup>) für ein Kollektiv von 10 400 Patienten

nen Histogramms. Die nahezu symmetrische Verteilung der Meßwerte von mehr als 10 000 Patienten um den Schwerpunkt bestätigt die Unabhängigkeit dieser Parameter. Dieselbe Darstellung (Abb. 26) für den Hämatokrit und die Hämoglobinkonzentration zeigt geradezu eine Proportionalität zwischen den beiden Parametern.

Wenn auch die Beispiele aus der Hämatologie keine neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse darstellen, so zeigt sich doch, daß die on-line Erfassung und Rückgewinnung der Daten in Echtzeit dem wissenschaftlich interessierten Arzt die Möglichkeit bietet, sowohl prospektiv als auch retrospektiv große Datenbestände wissenschaftlich auszuwerten.

#### 4.1.2.3. Labormanagement

Äußerst nützlich erweist sich die gewonnene Transparenz für den Laborarzt. Die ständig wachsenden Analysenzahlen, der Trend zu zentralisierten Laboratorien und die wachsenden Forderungen an die Qualität der Ergebnisse zwingen ihn zur Verantwortung über Vorgänge, die er mit konventionellen Mitteln nicht immer übersehen kann. Sie fordern von ihm auch Entscheidungen, z. B. über die Personaleinteilung oder die Zusammenstellung der Analysenprogramme, für die er quantitative Grundlagen braucht. Das Auskunftssystem von LABMAT ist hier eine entscheidende Hilfe.

Um sich vom reibungslosen Fortgang des Betriebes zu überzeugen, kann sich der Laborarzt jederzeit ausgeben lassen, wieviele Messungen von welcher Methode bisher ausgeführt wurden. Neben der automatischen Qualitätskontrolle bei der Messung kann er aber auch aktiv die Qualität der durchgeführten Messungen überwachen, indem er eine Häufigkeitsverteilung der in die Meßserien eingestreuten Kontrollproben bekannter Konzentration anfordert. Abb. 27 zeigt das Ergebnis einer solchen Anfrage für die Glukosebestimmung. Die schmale Verteilung zeigt dem Laborarzt zunächst qualitativ, daß die Streuung der Meßwerte gering ist, die quantitative Ausgabe des Mittelwertes und der Standardabweichung zeigen ihm sofort, daß die Präzision innerhalb der erlaubten Grenzen ist.

Interessiert sich der Arzt für das Langzeitverhalten einer Meßart, so kann er z. B. die Abhängigkeit der Mittelwerte vom Meßdatum anfordern. Abb. 28 zeigt ein solches Diagramm für die mittlere Erythrozytenzahl für das gesamte Krankengut

--- DESY - LABMAT ---

04.10.73 17.20 H  
 IHRE ANFRAGE: ART: RETRIEVAL AUSGABE:HISTO.  
 PATIENTENNAME GS STATION MESSART GERAET  
 K2 GLU 2  
 GEB. VON BIS MESS-DT. VON BIS MESSWERT VON BIS  
 17. 5. 72 17. 5. 72 60 90

7	I			X			
6	I			X			
5	I			X			
4	I			X			
3	I			X			
2	I			XX			
1	I			XX			

GLU +-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

59.000	69.000	79.000	89.000	99.000	109.000	MG%
--------	--------	--------	--------	--------	---------	-----

oooooooooooooooooooooooooooooooooooo72oo

MITTELWERT: 86.891 STANDARDABWEICHUNG: 0.538  
 VERTRAUENSBEREICH: 0.351  
 ANZAHL DER WERTE: 9  
 AUSSERHALB LINKS: 0, AUSSERHALB RECHTS:

Abb. 27 Beispiel für eine Häufigkeitsverteilung der Meßergebnisse für Glukose-Kontrollproben

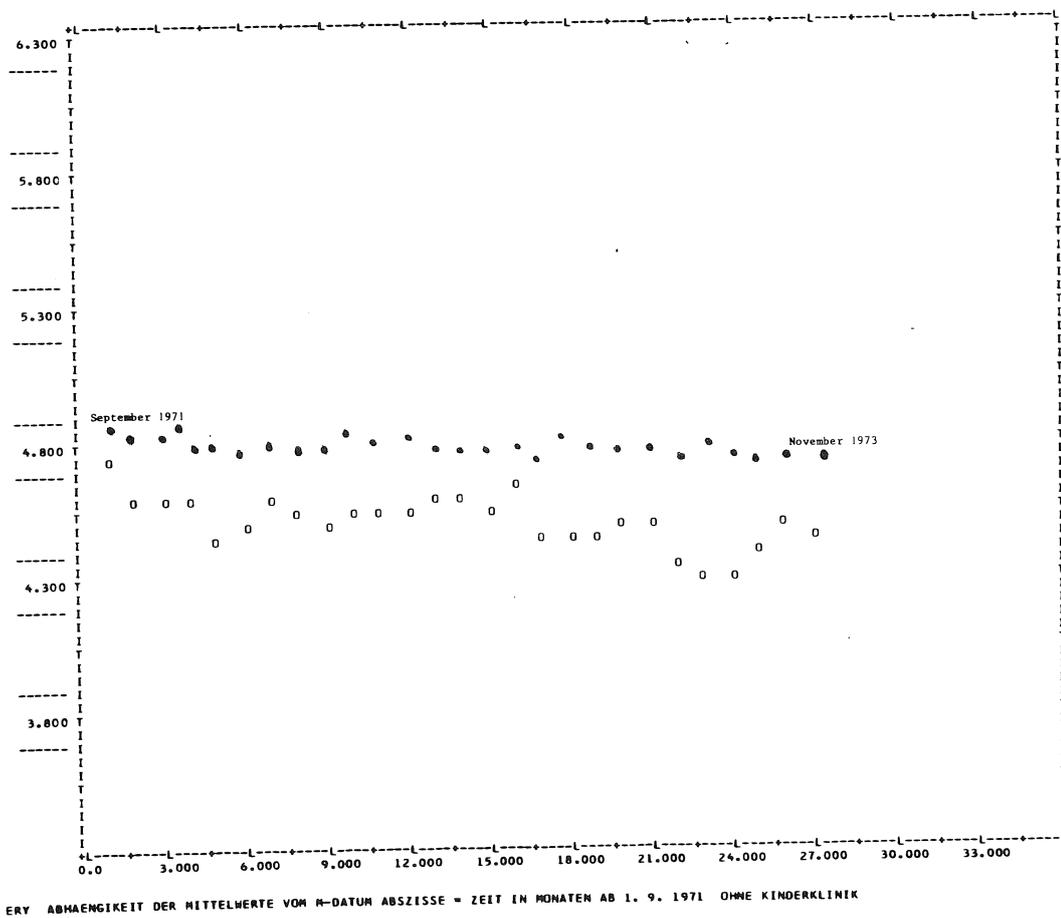


Abb. 28 Abhängigkeit des Mittelwerts der Erythrozytenzahl (in Millionen/mm<sup>3</sup>) (0 = gesamtes Patientengut des Hämatologischen Labors, . = nur Poliklinik)

(10 000 Patienten) ohne die Patienten der Kinderklinik über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren. Die relativ großen Schwankungen geben zunächst zu Spekulationen über jahreszeitliche Schwankungen und auf einen Trend des Meßgerätes Anlaß. Letzteres ist jedoch durch die Qualitätskontrolle ausgeschlossen. Wenn man das Diagramm nur für Poliklinikpatienten anfordert, so zeigt dieses ein anderes Muster und keinen Trend. Die beschriebenen Effekte stammen also aus Änderungen im Krankengut, die durch das ständige Hinzukommen neuer Kliniken zum Zentrallabor besonders ausgeprägt sind. Dieses Beispiel zeigt Gefahren auf, die die unreflektierte Betrachtung der Ergebnisse mit sich bringen kann.

Die Möglichkeit, die Meßwerte der Patientenkollektive der verschiedenen Kliniken und Stationen zu vergleichen, ist von Bedeutung für die Optimierung der Analysenprogramme<sup>28</sup>. Vergleicht man zum Beispiel die Häufigkeitsverteilungen verschiedener klinisch-chemischer Parameter für die Poliklinik und eine medizinische Aufnahmestation, so ergibt sich zunächst, wie erwartet, daß die Mittelwerte im allgemeinen stark abweichen und die Streuungen bei der Aufnahmestation wesentlich größer sind. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei der Glukose (Abb. 29) und dem Harnstoff-Stickstoff im Blutserum. Bei der Natrium-Bestimmung jedoch ist der Unterschied kaum merkbar. Das heißt, daß man überlegen muß, ob die Natrium-Bestimmung im Programm eines Notfalllabors nicht durch eine Bestimmung mit höherer Trefferquote für pathologische Werte ersetzt werden sollte. Diese Information wurde allein durch die Kenntnis des zunächst medizinisch nicht relevanten Kennzeichnes der Stationszugehörigkeit gewonnen. Ein weiteres Beispiel für die Durchschaubarkeit der Relevanz von klinisch-chemischen Parametern ergibt sich aus dem im Kapitel 4.1.2.2. gezeigten Zusammenhang zwischen der Hämoglobinkonzentration und dem Hämatokrit (Abb. 26). Wenn auch der Zusammenhang der beiden Parameter eine bekannte Tatsache ist, so wird hier doch anhand einer sehr großen Zahl von Fällen beim heterogenen Krankengut des UKE bewiesen, daß die Messung eines der beiden Parameter genügt.

Da die Anzahl der erfaßten Parameter jedoch wesentlich größer ist, wird klar, daß im vorhandenen Datenmaterial noch erheblich mehr für den Laborarzt wichtige Information verborgen ist. Da aber nur er die Problemstellungen kennt, aber auch gegen die Gefahren der Fehlinterpretation (siehe oben) am besten geschützt ist, muß die Analyse durch ihn erfolgen. Die Praxis bestätigt, daß er dies nur tun kann, wenn er ohne seinen Arbeitsplatz zu verlassen schnell und unkompliziert

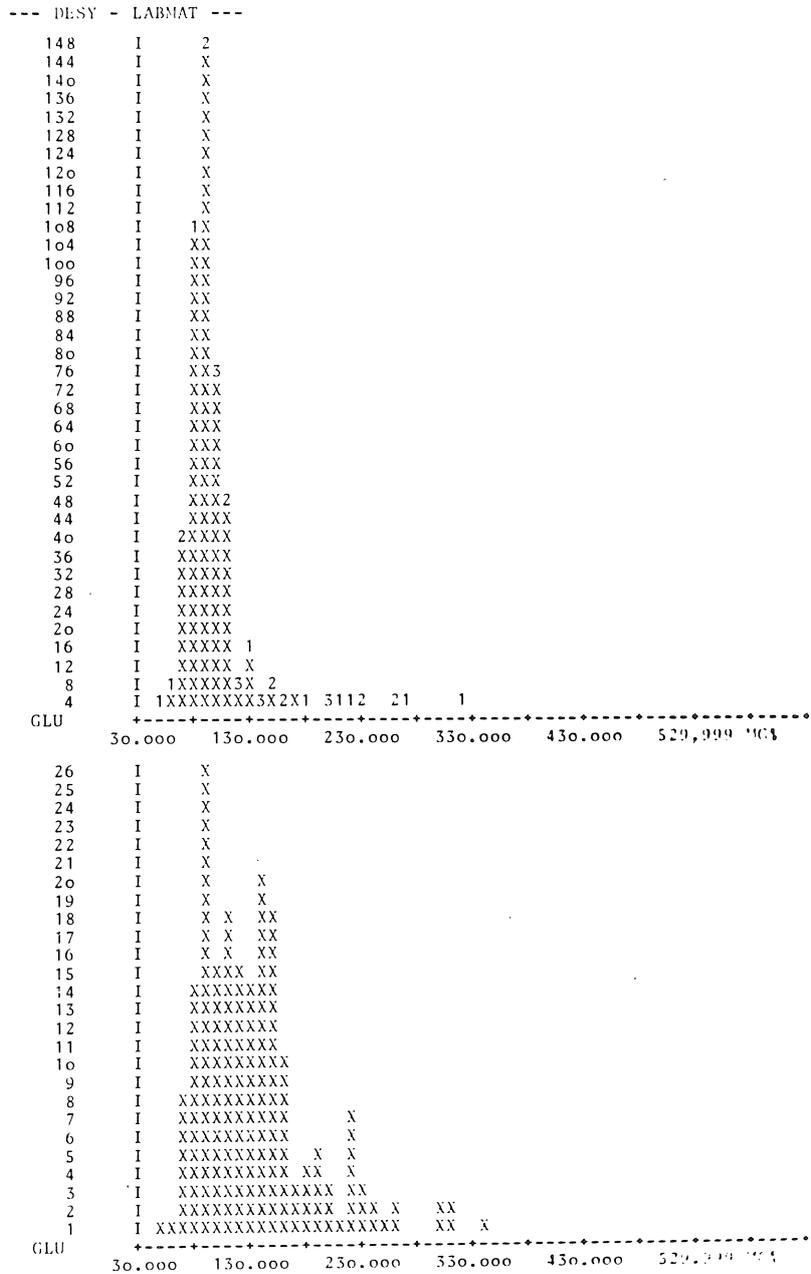


Abb. 29 Häufigkeitsverteilung von Glukose im Blutserum  
(oben: Poliklinik, unten: Aufnahmestation)

Zugang zu den Daten hat. Diese Aufgabe wird von LABMAT zu einem sehr großen Maße erfüllt.

#### 4.1.3. Probleme

Durch die gewonnene Transparenz der Daten wurden Verbesserungsmöglichkeiten des Systems aufgedeckt und Erweiterungswünsche geweckt. Die Verbesserungsmöglichkeiten beziehen sich zunächst auf die bereits in Kap. 3.4.4.1. angesprochene Verallgemeinerung des Dialogs für das Auskunftssystem, so daß auch kompliziertere Anfragen beantwortet werden können. Ein Beispiel für eine sinnvolle, jedoch über das Auskunftssystem zur Zeit nicht beantwortbare Frage wäre z. B. die nach einer Häufigkeitsverteilung des Kreatinin für Patienten, deren Harnstoff-Stickstoff-Wert in einem bestimmten Bereich liegt. Die Realisierung dieser Verbesserung ist verhältnismäßig einfach gegenüber den weiteren Wünschen, die sich auf die Miteinbeziehung weiterer Informationen in die Auswertung richten.

Einen wesentlichen Fortschritt würde der Zugriff zu Merkmalen wie Diagnose, Medikation, Größe und Gewicht usw. bedeuten. Dieser wird im Rahmen des Aufbaus des Systems zunehmend möglich sein, da seine Struktur auf eine Integration hin angelegt ist. Der Beginn dieses stufenweisen Prozesses soll mit der Verknüpfung von nuklearmedizinischen und klinisch-chemischen Parametern gemacht werden.

### 4.2. Ergebnisse in der Nuklearmedizin

#### 4.2.1. Bestätigung bekannter Ergebnisse

In einer fast zweijährigen Erprobungsphase mit täglich bis zu 40 Gamma-Kamera-Aufnahmen wurden beim System ISAAC wie beim System LABMAT zunächst bekannte Vorteile der Rechneranwendung bestätigt. An erster Stelle steht die Korrektur gerätebedingter Fehler. Abb. 30a zeigt die Gamma-Kamera-Aufnahme eines homogenen Strahlers. Die in der Aufnahme auftretenden Inhomogenitäten sind von einer Größenordnung, wie sie von echten Anomalien erzeugt werden können. Die durch diese Aufnahme gewonnene Erkenntnis der Inhomogenität erlaubt jedoch ihre Korrektur. Abb. 30b zeigt das korrigierte Bild des Phantoms. Die jetzt noch auftretenden Strukturen sind nicht mehr systematischer, sondern statistischer Natur und können in sehr viel geringerem Maße Befunde vortäuschen, wie es beim unkorrigierten Bild der Fall ist.

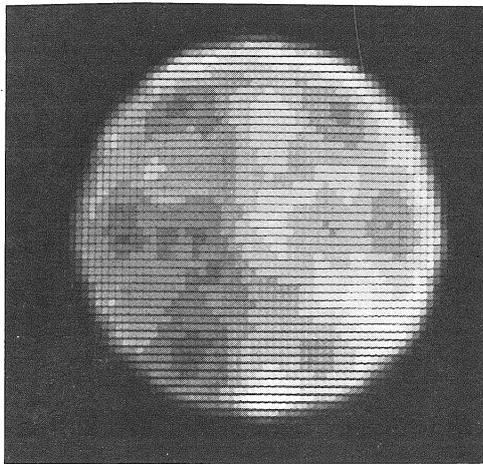


Abb. 30a) Gamma-Kamera-Aufnahme  
eines homogenen Strahlers

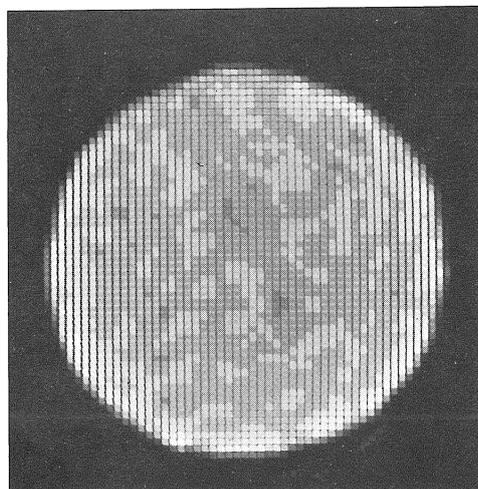


Abb. 30b) Gamma-Kamera-Aufnahme eines  
homogenen Strahlers nach  
der Korrektur

Als weitere Vorteile werden die verbesserte Darstellung und die Möglichkeit der quantitativen Auswertung bestätigt. Abb. 31 zeigt als Beispiel hierfür die auf einem Zeilendrucker ausgegebene Isointensitätsliniendarstellung eines Leberszintigramms. Gegenüber einer konventionellen Darstellung (Abb. 3) gestattet eine solche Darstellung dem Arzt, mehr und vor allem Dingen quantitative Informationen aus den zugrundeliegenden Daten zu entnehmen. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß die jeweils für die Befundung günstigste Darstellung nicht von vornherein bekannt ist, sondern vom Befund und den Aufnahmebedingungen abhängt. Sie kann deshalb nur durch Probieren gefunden werden. Wenn der Arzt also ein Maximum an Information aus den Daten entnehmen will, muß er schnell und einfach im Dialog mit dem System die geeignetste Darstellung ermitteln können. Die diagnostische Effektivität wird noch erhöht, wenn im gleichen Arbeitsgang auch frühere Aufnahmen des untersuchten Organs zur Verfügung stehen.

#### 4.2.2. Neue Möglichkeiten

Diese und noch weitere für eine Universitätsklinik wichtige Eigenschaften sollten beim System ISAAC verwirklicht werden. Im einzelnen lauteten die Forderungen:

- Die Daten müssen von der Erfassung an jederzeit verfügbar sein und im Dialog mit dem Rechner von Ärzten ohne Programmierkenntnisse an ihrem Arbeitsplatz ausgewertet werden können.
- Es muß die Erprobung auch komplizierter Bildverarbeitungsmöglichkeiten und die systematische Auswertung großer Datenmengen im Hinblick auf eine spätere computergestützte Differentialdiagnostik möglich sein.

Die erste Forderung wird vom System ISAAC sowohl für den klinischen Betrieb als auch für die Forschung verwirklicht. Für die zweite Forderung wurde die Grundlage durch die Integration des Systems in das Gesamtsystem gelegt.

##### 4.2.2.1. Klinik

Im klinischen Routinebetrieb wird ISAAC nach einem festen Zeitplan benutzt. Am Morgen nimmt der verantwortliche Arzt die Daten von etwa 10 Patienten (30 - 40 Aufnahmen) auf. Das System erlaubt ihm sofort im Anschluß an die Aufnahme die interaktive Auswertung der Daten. Er kann das jeweilige Ergebnis zur Entscheidung heranziehen, welche Aufnahmen noch vom Patienten zu machen sind. Diese Möglichkeit führt dazu, daß

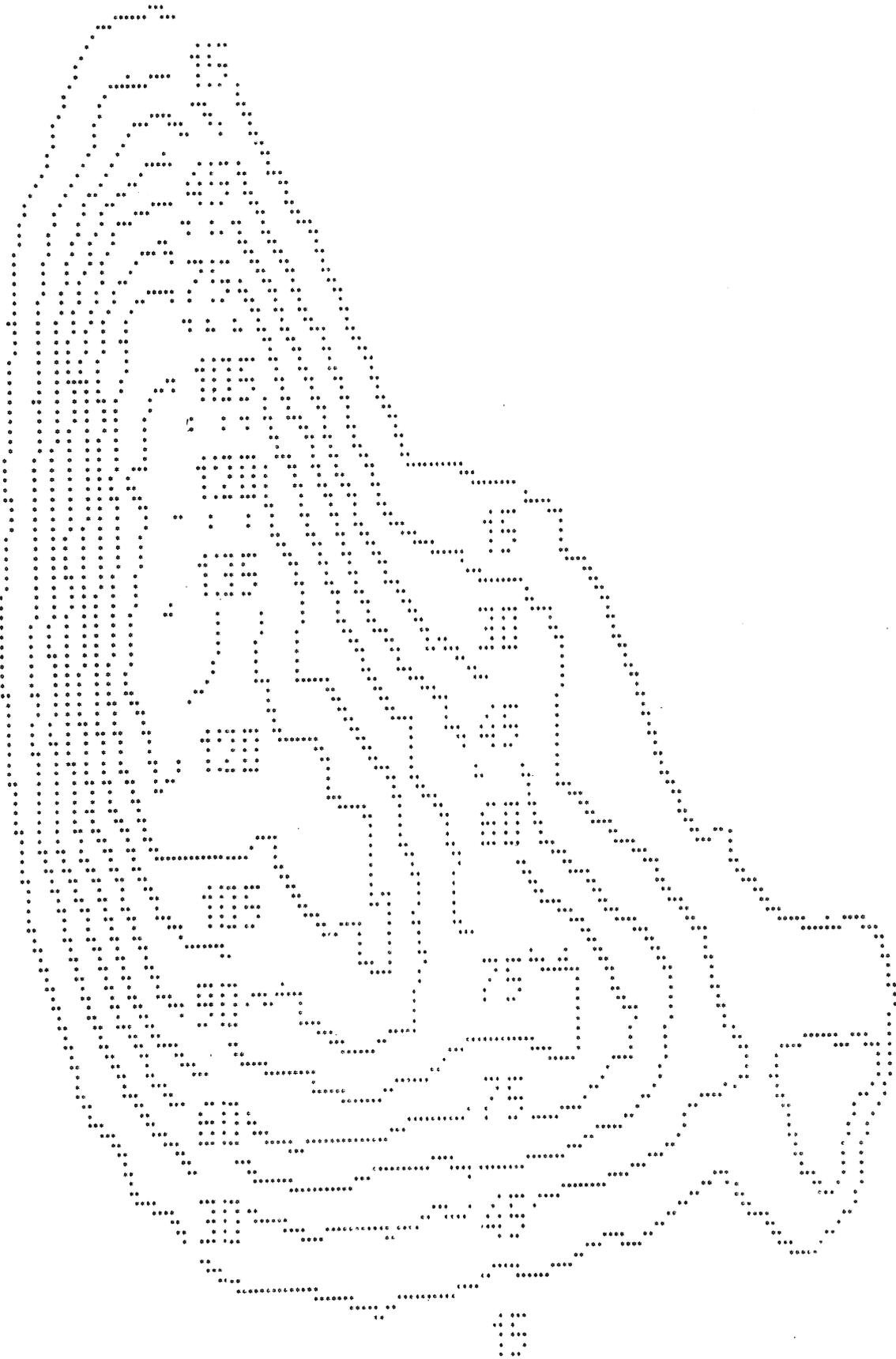


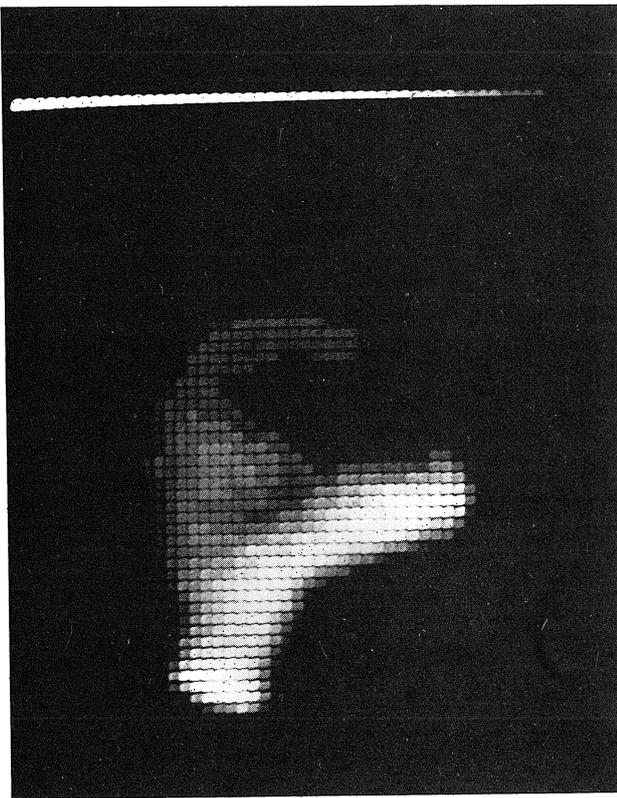
Abb. 31 Isointensitätsliniendarstellung eines Leberszintigramms  
(erstellt auf dem Zeilendrucker des Zentralrechners)

- die Daten gezielt erfaßt werden können, da in die Art der Erfassung bereits Ergebnisse einer Teilauswertung einfließen,
- der Patient geschont wird und
- ökonomischer gearbeitet wird, da Wiederholungen von Aufnahmen selten werden.

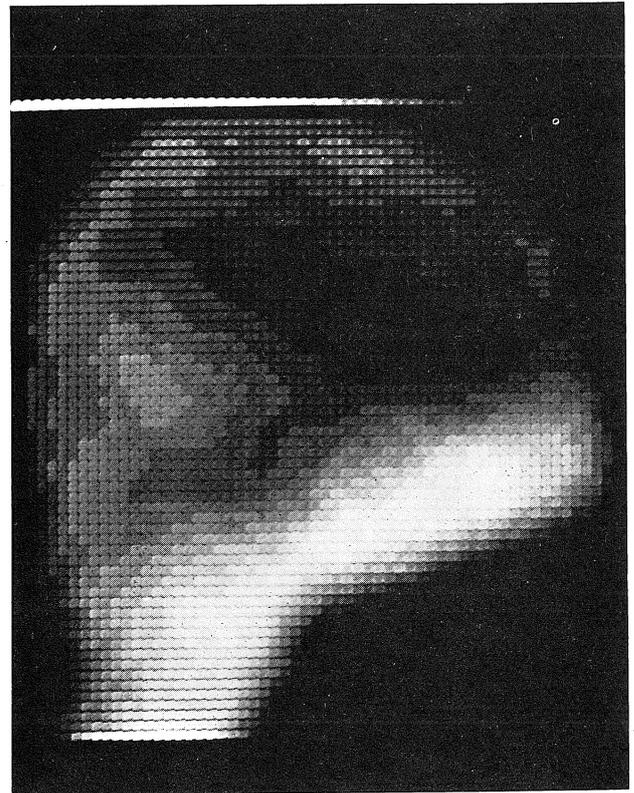
Im allgemeinen werden die am Morgen gesammelten und auf dem Plattenspeicher des Rechners gespeicherten Daten am Nachmittag von einem Team von Ärzten ausgewertet.

Bei der Beurteilung eines Hirnszintigramms zum Beispiel verlangt der Arzt am Terminal zunächst eine Grautondarstellung (Abb. 32a, Reaktionszeit  $\sim 1$  sec). Im allgemeinen interessiert er sich jedoch nur für einen bestimmten Bereich des Hirns und erwählt eine Ausschnittsvergrößerung (Abb. 32b, Reaktionszeit  $\sim 3$  sec). Wenn - wie im gezeigten Bild - uninteressante Teile des Bildes sehr hell sind, ist der Kontrast in den interessierenden Gebieten gering. Durch Setzen einer oberen und/oder unteren Schwelle für die darzustellende Strahlungsdichte (Abb. 32c, Reaktionszeit 100 ms/Helligkeitsstufe) wird der Kontrast verstärkt, so daß ein Tumor (Pfeil) deutlich sichtbar wird. Eine semiquantitative Aussage über diesen Sachverhalt erhält der Arzt durch Anforderung einer Isointensitätsflächendarstellung (Abb. 32d, Reaktionszeit 50 ms) oder durch eine gemischte Grauton-Isointensitätsdarstellung (Abb. 32e, Reaktionszeit 50 ms). Er kann hierbei die Anzahl der Isointensitätskonturen frei wählen. Die günstigste Anzahl hängt sehr stark von der Struktur des Szintigramms ab. Abb. 32f zeigt eine Darstellung, die den Sachverhalt sehr gut wiedergibt und aus der der mit dem System vertraute Arzt erkennen kann, daß die Aktivität im Tumor dreimal so hoch ist wie in der Umgebung. In den meisten Fällen ist nach diesem Schritt (nach ca. einer Minute) die Befundung bereits abgeschlossen, weil entweder kein Befund festgestellt oder der Befund gesichert wurde. Wenn dies nicht der Fall ist, kann der Arzt weitere Auswertungsschritte vornehmen, wie etwa den quantitativen Vergleich von interessierenden Regionen. Abb. 33 zeigt eine Gamma-Kamera-Aufnahme einer Lunge mit drei vom Arzt markierten Gebieten, Abb. 34 das vom Rechner ausgegebene Ergebnis des Vergleichs. Mit dieser Methode wird z. B. der quantitative Nachweis der Lungenperfusion mit  $^{99m}\text{Tc}$ -markierten Humanalbumin-Mikrosphären durchgeführt.

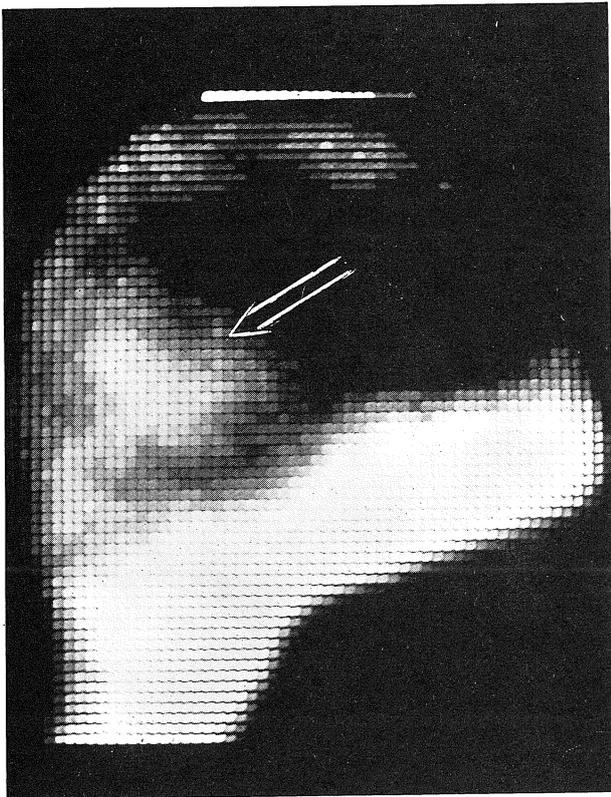
Abb. 35a zeigt eine Thorax-Röntgenaufnahme eines Patienten mit klinischen Symptomen einer Lungenembolie<sup>46</sup>. Röntgenologisch konnten keine definitiven Anzeichen



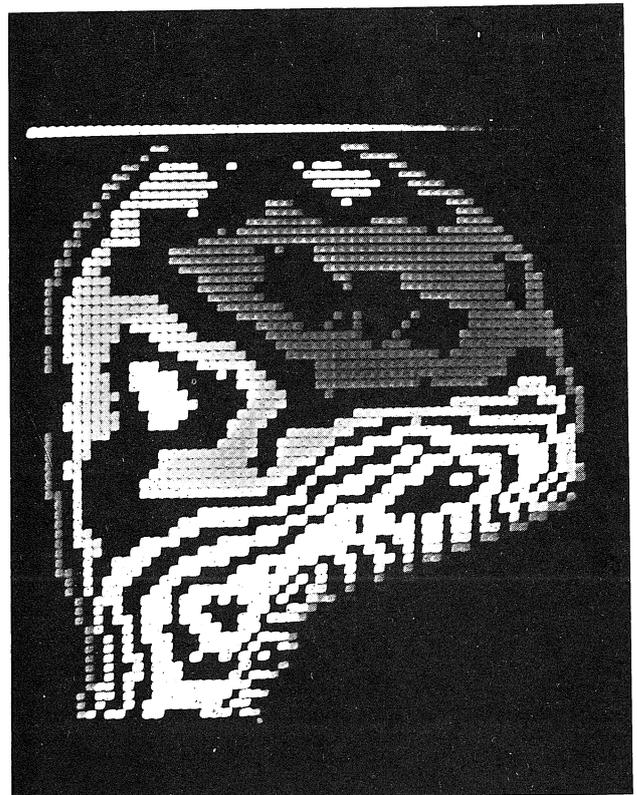
a) Gesamtbild



b) Ausschnitt



c) Kontrastverstärkt



d) Isointensitätsflächen-darstellung

Abb. 32 Beispiele für verschiedene Darstellungsmöglichkeiten einer Gamma-Kamera-Aufnahme

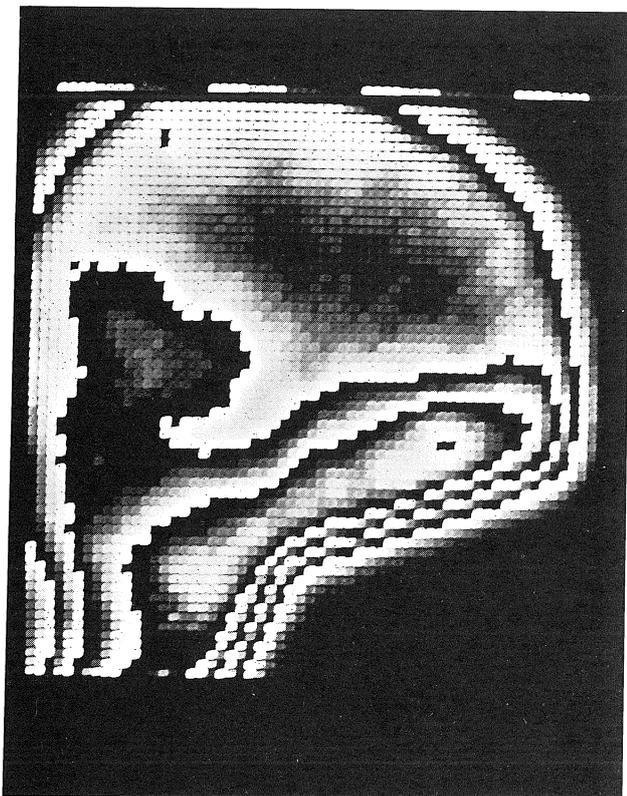


Abb. 32e) Granton-Isointensitäts-  
darstellung  
4 Isointensitätskonturen

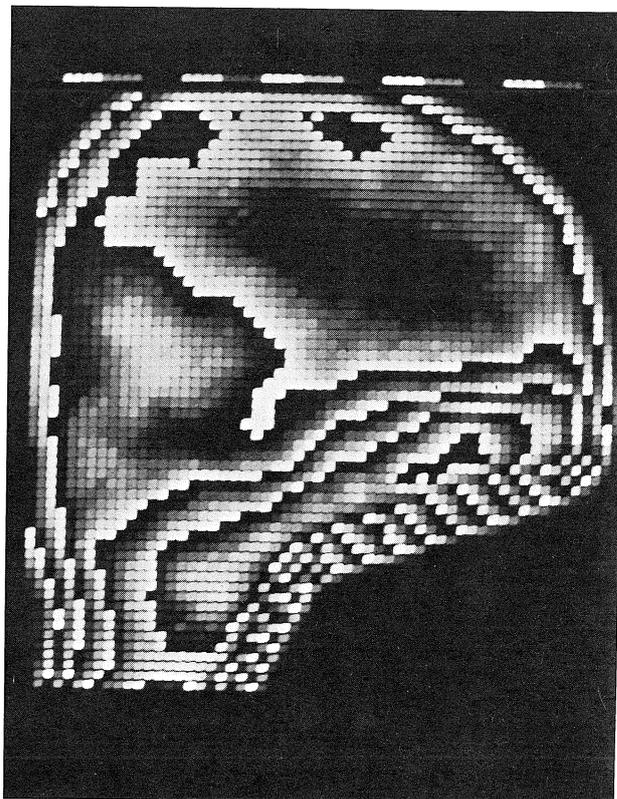


Abb. 32f) Granton-Isointensitäts-  
darstellung  
5 Isointensitätskonturen

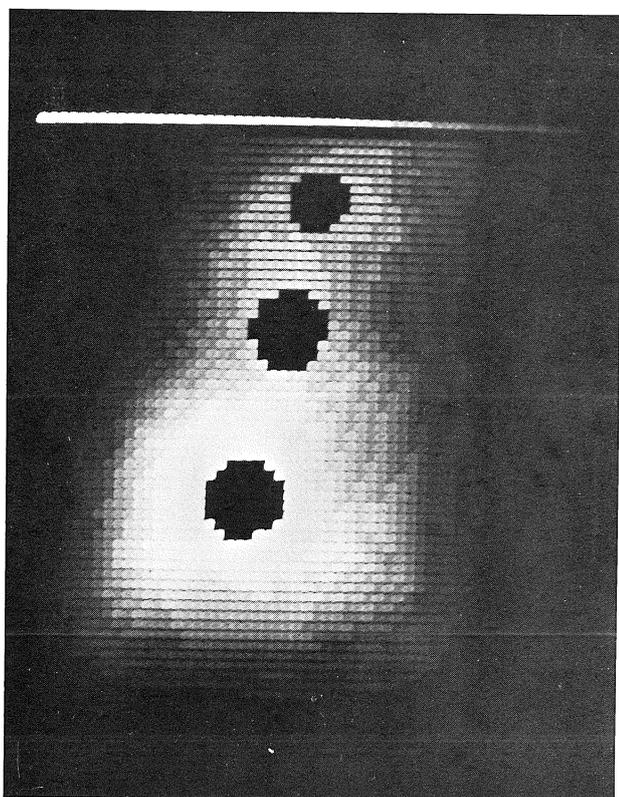


Abb. 33 Gamma-Kamera-Aufnahme  
einer Lunge mit  
3 markierten Bereichen

BEREICH 1

NORMIERUNG	
TOTAL	= 1887.0
PUNKTE	= 31
MITTEL	= 60.9
MAXIMUM	= 65
MINIMUM	= 53

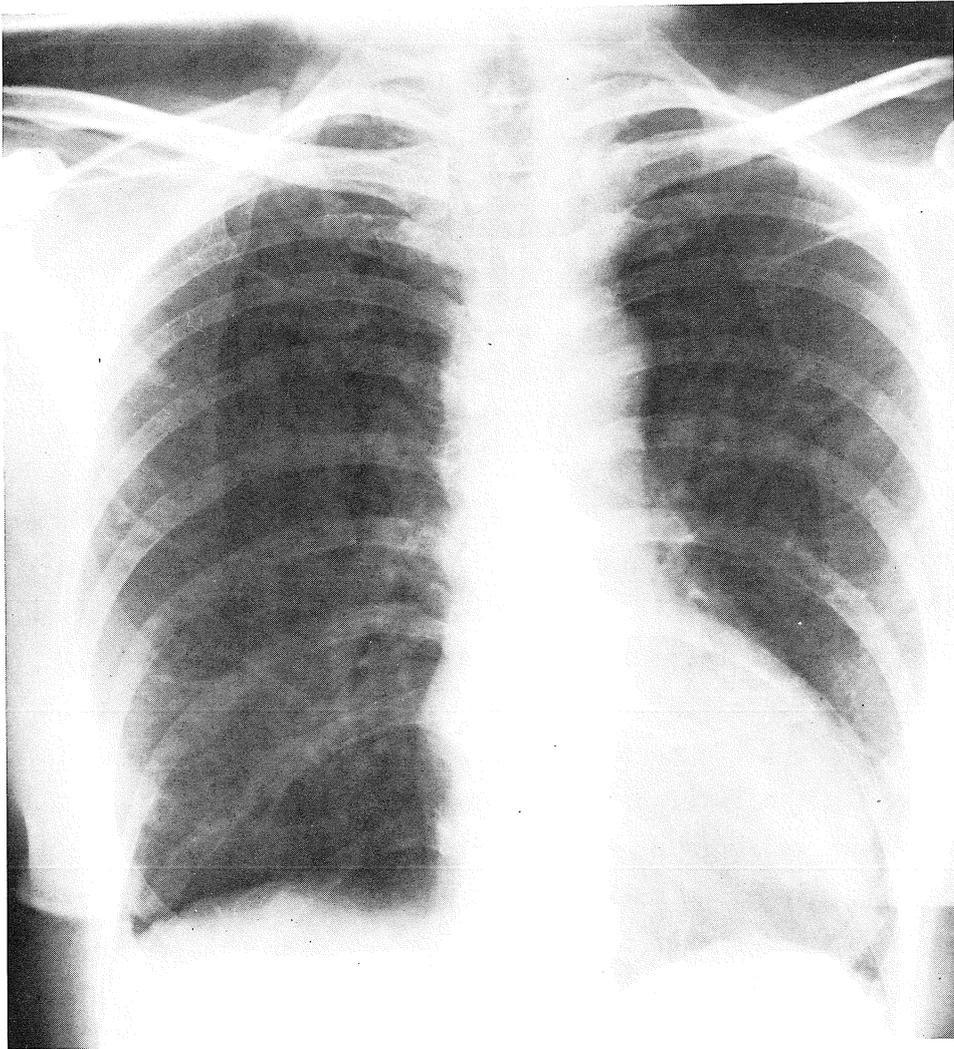
BEREICH 2

TOTAL	= 3224.0
PUNKTE	= 39
MITTEL	= 82.7
MAXIMUM	= 101
MINIMUM	= 71
ABW. NORM=	35.3 PRZ

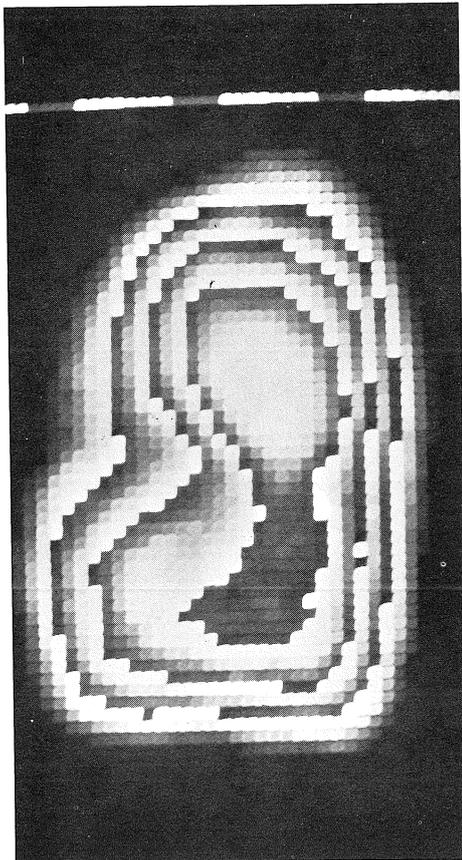
BEREICH 3

TOTAL	= 5906.0
PUNKTE	= 36
MITTEL	= 164.1
MAXIMUM	= 170
MINIMUM	= 155
ABW. NORM=	169.5 PRZ

Abb. 34 Ergebnis der quantitativen  
Auswertung aus Abb. 33



a)



b)

Abb. 35 Thorax-Röntgen-Aufnahme (a) und Szintigramm einer Lunge (b) bei einem Patienten mit den klinischen Symptomen einer Lungenembolie

für einen Lungeninfarkt nachgewiesen werden. Das Perfusionsszintigramm (Abb. 35b) zeigt einen starken Defekt in der Mitte der rechten Lunge. Die quantitative Auswertung ergibt eine um 35 % reduzierte Perfusion in der Mitte und um 25 % im unteren Feld der rechten Lunge. Die linke Lunge ist normal.

Diese Beispiele zeigen, daß durch die interaktive Auswertungsmethode die räumliche Struktur eines Szintigramms schnell und erschöpfend untersucht werden kann.

Geradezu unerlässlich ist das interaktive Vorgehen bei der Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Radioaktivität. Das integrale Szintigramm gibt dem Arzt keinen Hinweis darauf, welches Zeitintervall die für ihn wichtige Information enthält. Bei ISAAC kann der Arzt sich einen interessierenden Bereich auswählen und sich den zeitlichen Verlauf hierfür auf dem Sichtgerät ausgeben lassen. Diesem entnimmt er nun das Zeitintervall, das ihm am interessantesten erscheint, und läßt sich vom System einen "Schnappschuß" für dieses Intervall ausgeben. Auf diesem kann er nun die ihn interessierende Region genauer definieren und den endgültigen zeitlichen Verlauf für diese verlangen. Abb. 36 zeigt als Beispiel ein Nierenszintigramm mit einem markierten Bereich. Die verminderte Aktivität an der durch den befundenden Arzt mit einem Rechteck bezeichneten Stelle legt die Vermutung auf einen umschriebenen Schaden nahe. Die quantitative Auswertung des zeitlichen Verlaufs der Aktivität durch den Rechner, deren Ergebnis in Abb. 37 gezeigt wird, bestätigt den Verdacht. Während die Funktionskurve der rechten Niere (Symbol R) den typischen Anstieg mit einem anschließenden Abfall durch die Ausscheidung zeigt, fehlt bei der linken Niere (Symbol O = oben, U = unten) dieses für die normale Funktion typische Maximum.

Welche Bearbeitungsschritte der Arzt auch ausführt, so steht am Ende der Auswertung immer eine Darstellung, die den Befund in der bestmöglichen Weise darstellt. Fast immer ist sie nicht diejenige, die der Arzt am Anfang gewählt hat, sondern sie zeigt das, was der Arzt während des Auswertungsvorganges herausgefunden hat. Diese Tatsache stellt den entscheidenden Unterschied zwischen einer interaktiven und einer statischen Auswertung dar.

Neben den der Diagnostik unmittelbar zugutekommenden Möglichkeiten stellt die vom Rechner übernommene Speicherung und Verwaltung der erfaßten Daten eine Arbeitser-

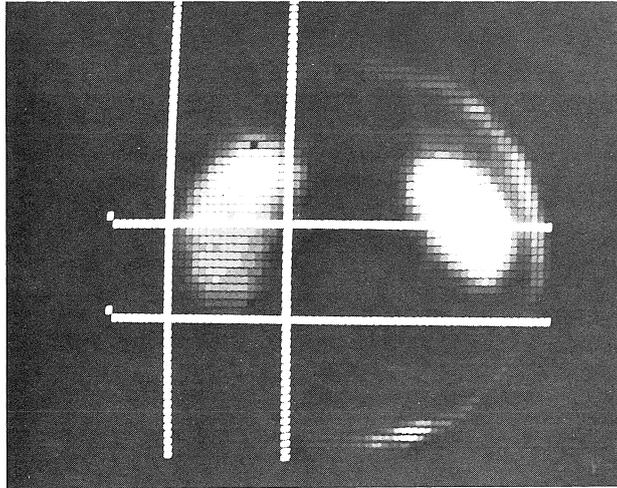


Abb. 36 Nierenszintigramm mit einem vom Arzt markierten rechteckigen Bereich

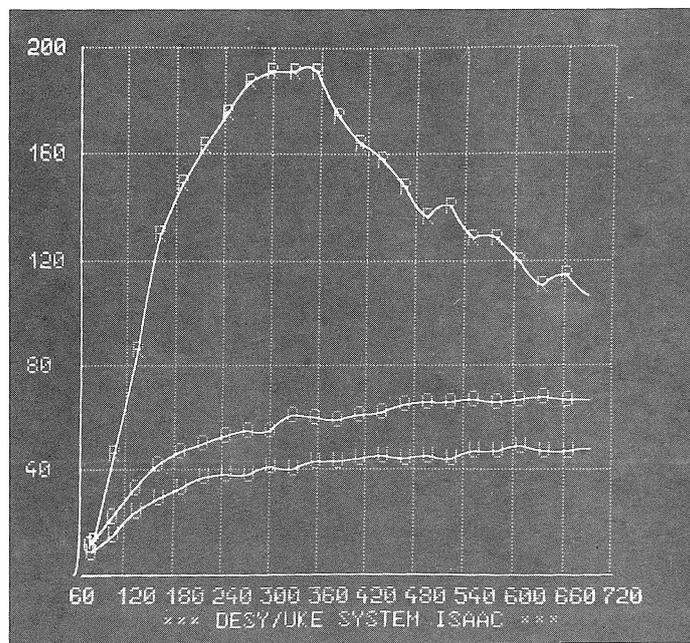


Abb. 37 Zeitlicher Verlauf der Aktivität im Szintigramm von Abb. 36  
 (R = rechte Niere, O = linke Niere oben, U = linke Niere unten  
 (= markierter Bereich))

leichterung dar. Sie kommt der Diagnostik jedoch auch mittelbar zugute, da sie den Zugriff zu früheren unter gleichen Bedingungen erfaßten Daten erlaubt.

#### 4.2.2.2. Forschung

Die Datenspeicherung ermöglicht überhaupt erst die Sammlung einer großen Zahl von normalen und krankhaften Fällen, aus der später die Extraktion der Parameter für eine computergestützte Differentialdiagnose möglich sein soll. Während wir hiermit erst am Anfang stehen, wurden mit dem System ISAAC Forschungsarbeiten ausgeführt, die mit konventionellen Mitteln nicht möglich gewesen wären. So wurde die Anwendung des <sup>131</sup>J-19 Jodcholesterins für die morphologische und funktionelle Analyse von Nebennieren-Gewebe untersucht<sup>47</sup> und seine Eignung für Lokalisations- und Funktionsdiagnostik unter verschiedensten Bedingungen bewiesen. Als Beispiel werden Untersuchungsergebnisse bei einem 36-jährigen Mann gezeigt. Bei ihm erfolgte Jahre vor der Untersuchung wegen eines Cushing Syndroms linksseitig eine totale und rechtsseitig eine subtotale Adrenalektomie. Da kein Abklingen der Symptome eintrat, wurde vor 4 Jahren die verbleibende Nebenniere rechts operativ entfernt, was die Symptome jedoch nicht veränderte. Abb. 38a zeigt nun die beiden Nieren mit einem deutlich dargestellten Nebennierenrest rechts (Pfeil). Nach der therapeutischen totalen Hypophyseektomie war keine Jodcholesterinanreicherung mehr zu erkennen (Abb. 38b). Im Funktionsstudium (Abb. 39) zeigte sich eine Anreicherung im rechts gelegenen Nebennierenrest wie in einer normalen Nebenniere (Kurve 1). Nach seiner Entfernung war keine Anreicherung mehr nachweisbar.

Schließlich wurden Untersuchungen zur Bestimmung des dissoziierten Hirntodes bei Organspendern durchgeführt<sup>36</sup>. Es wurde eine Methode entwickelt, gleichzeitig mit dem Hirntod die Funktion und Morphologie der zu transplantierenden Niere mit Hilfe der Technetiumverbindung <sup>99m</sup>Tc-DTPA zu untersuchen. Abb. 40 zeigt eine frontale Gamma-Kamera-Aufnahme eines normal durchbluteten Hirns. Abb. 41 zeigt eine typische Gamma-Kamera-Aufnahme eines Hirntodes. Innerhalb des Schädels findet sich keine Aktivität, lediglich die Schädelkontur und das Gesichtsmassiv, die über die äußeren Blutwege versorgt werden, sind zu erkennen. Dieser Befund läßt sich untermauern, wenn man den zeitlichen Verlauf in der Gegend der arteria cerebri media in beiden Fällen betrachtet (Abb. 42a). Bei normaler Durchblutung (Symbol +) beobachtet man das durch den Blutz- und -abfluß erzeugte Maximum, welches beim

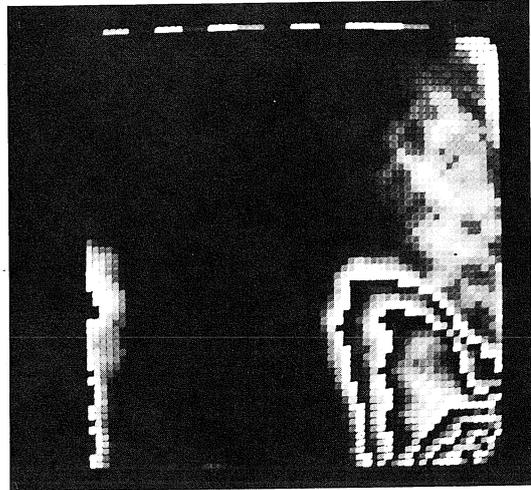
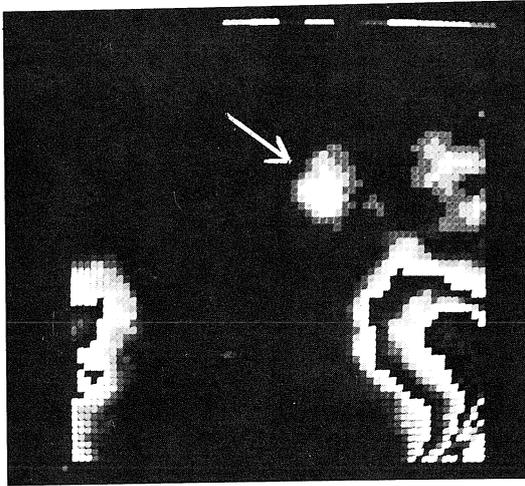
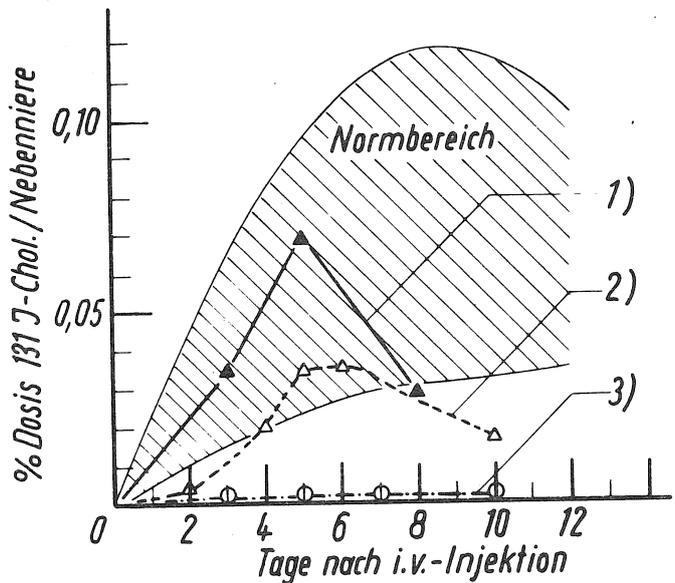


Abb. 38 Szintigramm einer Nebenniere vor (a) und nach Hypophysektomie (b)

*Quantitative Sequenzszintigraphie der Nebennieren mit  $^{131}\text{J}$ -19-Jodcholesterin*

*$^{131}\text{J}$ -Chol.-Anreicherung im Nebennierenrest bei einem Patienten mit M.Cushing-Rezidiv nach Adrenaektomie.*



- 1) 1. Untersuchung
- 2) 2. Untersuchung unter Dexamethason (7,5 mg/d)
- 3) 3. Untersuchung nach totaler Hypophysektomie

Abb. 39 Zeitliche Abhängigkeit der Aktivität im Nebennierenrest

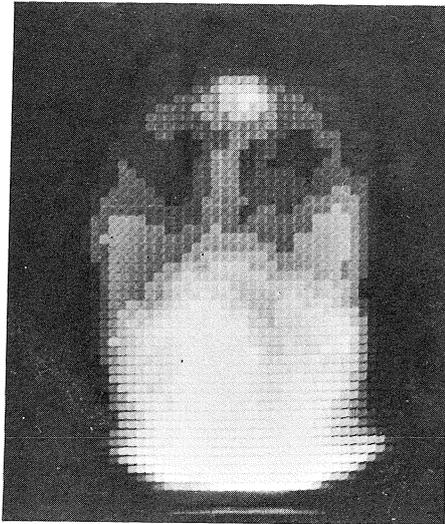


Abb. 40 Gamma-Kamera-Aufnahme eines normal durchbluteten Hirns

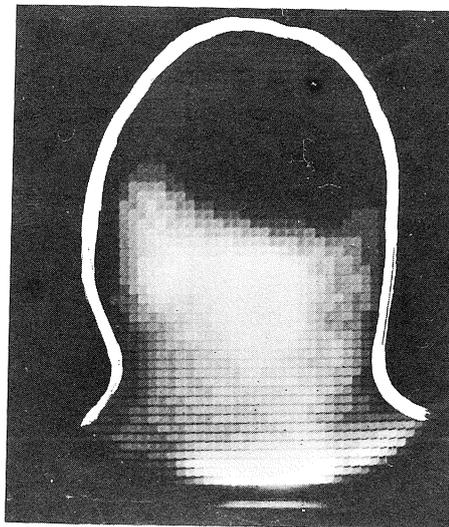
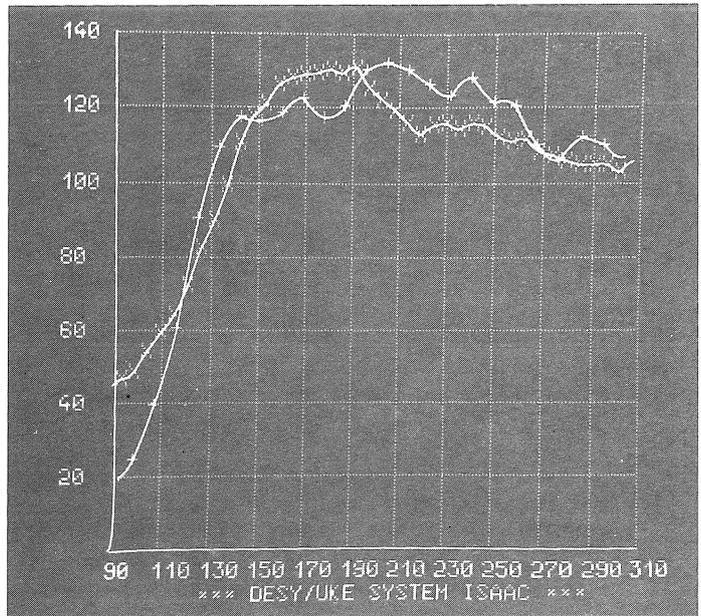


Abb. 41 Gamma-Kamera-Aufnahme des Hirns bei einem Patienten im Zustand des dissoziierten Hirntodes

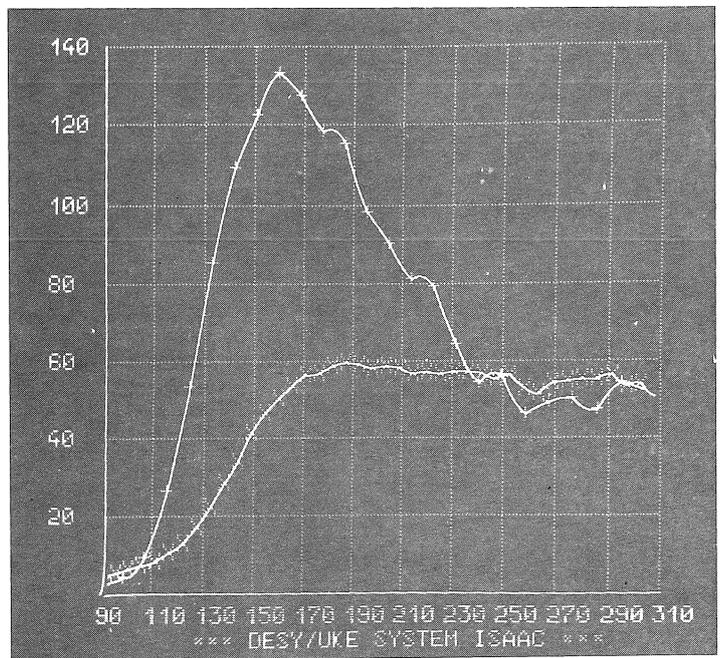
Abb. 42

Zeitlicher Verlauf der Aktivität in verschiedenen Bereichen des Hirns bei normaler Durchblutung (+) und beim Zustand des dissoziierten Hirntodes (x)

- a) im Halsbereich (carotis communis)
- b) im Bereich des arteriellen Zuflusses (arteria cerebri media)
- c) im Bereich des venösen Abflusses (sinus sagittalis)



a)



b)

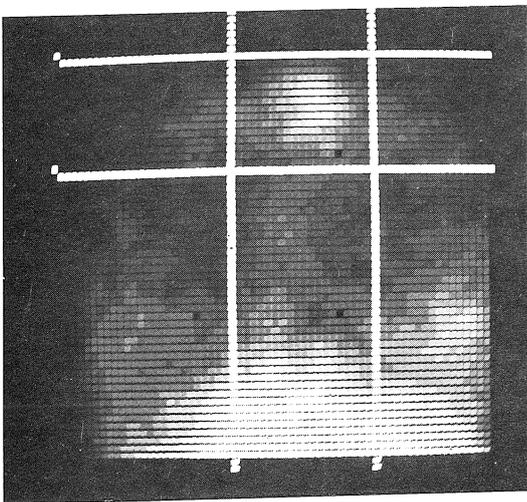
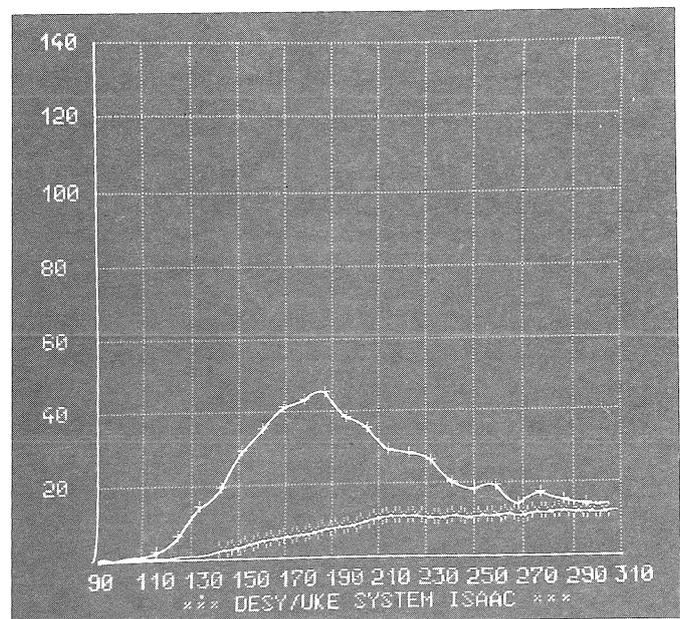


Abb. 43 Markierung des Bereiches sinus sagittalis



dissoziierten Hirntod (Symbol x) fehlt. Die gleichzeitige Verfolgung der Konzentrationsminderung  $^{99m}\text{Tc-DTPA}$  im Serum ermöglicht die Feststellung der Nierenfunktion im selben Untersuchungsgang, da diese Verbindung ausschließlich durch die Nieren ausgeschieden wird.

Insgesamt zeigt sich, daß die interaktive graphische Auswertung eine erschöpfende Extraktion von diagnostischen Informationen aus den Daten erlaubt. Die Qualität der Routinediagnostik wird hierdurch wesentlich erhöht, und für die Forschung werden neue Möglichkeiten geschaffen.

#### 4.3. DESY-UKE-System

Wenn auch die beiden Subsysteme die an sie gestellten Anforderungen in hohem Maße erfüllen, so ist dennoch zu fragen, ob das Gesamtkonzept einen gangbaren Weg darstellt. Diese Frage soll anhand der eingangs gestellten Kriterien beantwortet werden.

##### 4.3.1. Anwendung im Universitätskrankenhaus

Die Erfahrung mit dem Modellsystem zeigt, daß das System durch seine Dezentralisierung den vielen und sehr verschiedenartigen Anwendungen der Informatik in einem Universitätskrankenhaus entgegenkommt. Gegenüber einem zentralen System können disziplinspezifische Arbeits- und Vorgehensweisen angemessen unterstützt werden - da die Hard- und Software der jeweiligen Anwendung angepaßt ist - ohne daß auf die Vorteile eines gemeinsamen Hilfsmittelpotentials verzichtet werden muß. In diesem Zusammenhang wird nochmals auf die Verschiedenheit der beiden beschriebenen Anwendungen verwiesen.

Bei der Hardware bezieht sich diese Anpassungsfähigkeit auf die Auswahl der geeigneten Rechner und Peripheriegeräte. Bei der Software können die der Anwendung am besten angepaßten Programmiersprachen und Betriebssysteme verwendet werden. Es hat sich sogar gezeigt, daß für eine noch bessere Anpassung an die medizinische Anwendung und eine ökonomische Implementierung über vorhandene Sprachen hinaus neue am speziellen medizinischen Problem orientierte Sprachen sinnvoll sind (wie bei der Bildauswertung in der Nuklearmedizin).

Die für ein Universitätskrankenhaus besonders wichtige Forschungs- und Entwicklungstätigkeit wird durch die Dezentralisierung des beschriebenen Systems erleich-

tert. Routinemäßig laufende Teile werden nicht beeinflusst, wenn andere im Teststadium befindliche Teile Systemzusammenbrüche hervorrufen. Die medizinische Forschung wird unter anderem dadurch unterstützt, daß die Kapazität eines Großrechners über die Satellitenrechner am Arbeitsplatz des Arztes zur Verfügung steht. Durch die Entkopplung von Routinebetrieb, Forschung und Entwicklung wird die Grundlage für ein kontinuierliches und reibungsarmes Wachsen des Systems gelegt. Ein Nachteil eines solchen dezentralisierten Systems ist der erhöhte Verwaltungsaufwand, der jedoch durch die beschriebene Einschränkung der Kommunikationsmöglichkeiten gering gehalten werden kann. Die zugelassene Verschiedenheit der Rechartypen bringt einen gewissen Mehraufwand an Hardware, der aber mit zunehmender Standardisierung der Schnittstellen in Zukunft verringert werden wird.

#### 4.3.2. Integration der Hilfsmittel und der Informationen

Während bei zentralen Systemen im allgemeinen die gemeinsamen Hilfsmittel wie etwa die zentrale Rechnerkapazität oder die Datenbank Ausgangspunkt der Entwicklung sind, geht beim beschriebenen Konzept die Entwicklung von den Anwendungsschwerpunkten aus. Diese bedienen sich im Laufe der Entwicklung in steigendem Maße des gemeinsamen Potentials.

In der gegenwärtigen Ausbaustufe des DESY-UKE-Systems ist bisher die gemeinsame Nutzung der Zentralrechnerkapazität realisiert. Sie verhilft den Satellitenrechnern zu hoher Rechen- und Speicherkapazität, zur Benutzung komfortabler Programmiersprachen und Programmsysteme und zur Unterstützung der Datenorganisation. Da diese Hilfsmittel zu einem sehr geringen zeitlichen Anteil (zur Zeit etwa 0,1 %) benutzt werden, kann angenommen werden, daß die beschriebene Struktur auch vom wirtschaftlichen Standpunkt Vorteile aufweist.

Der wichtigere Aspekt der Integration, nämlich der Integration der Informationen, ist im gegenwärtigen Ausbaustadium des DESY-UKE-Systems noch nicht realisiert. Zwar können im Prinzip die Subsysteme zu den Daten der Nachbarn zugreifen, die Daten sind jedoch in unkorrelierter Form gespeichert. Dieser Nachteil kann sich bei pragmatischer Betrachtungsweise zu einem Vorteil umkehren. Denn der Anspruch, vielen verschiedenartigen Anwendungen sowohl im Routine- als auch im wissenschaftlichen Betrieb zur Verfügung zu stehen, führt zu komplizierten Datenstrukturen und verschiedenartigen Zugriffsmechanismen der Datenbank. Ohne zuvor gesammelte Erfahrungen kann man rasch in eine Sackgasse geraten.

Dennoch wird durch die beschriebene Struktur die Integration der Information vorbereitet: Durch den jetzt schon vorhandenen Zwang zur Benutzung einer standardisierten Hardware- und Software-Schnittstelle zum Zentralrechner wird die spätere Benutzung der gemeinsamen Datenbank erleichtert. Wichtig ist sicherlich auch die Erfahrung, daß die Motivation der Anwender, sich kooperativ in ein übergeordnetes System einzuordnen, durch den Nutzen geweckt wird, der sich schon aus der gemeinsamen Nutzung der Zentralrechnerkapazität ergibt.

#### 4.3.3. Nutzbarkeit im täglichen Betrieb

Neben der Dialogfähigkeit der Datenerfassungs-, Auswertungs- und Verwaltungsprogramme bei den Subsystemen wird beim beschriebenen Modellsystem die Nutzbarkeit im täglichen Betrieb durch eine hohe Betriebssicherheit und Verfügbarkeit sowie durch die Benutzungsmöglichkeit der Rechnerhilfsmittel am Arbeitsplatz des Anwenders erreicht.

Die hohe Betriebssicherheit wird durch die Dezentralisierung des Systems verwirklicht. Fällt ein Großrechner aus, so kann auf einen zweiten umgeschaltet werden. Selbst im wenig wahrscheinlichen Fall, daß beide Großrechner ausfallen, ist ein Notbetrieb mit verminderter Leistungsfähigkeit mit dem Satellitenrechner allein möglich. Bei LABMAT bedeutet das, daß die Erfassung der Daten überhaupt nicht beeinflußt wird, der Zugriff zu den Daten jedoch auf die Laborprotokolle beschränkt bleibt. Der Ausfall eines Satellitenrechners jedoch beeinflußt nur seinen eigenen Bereich. Er könnte wenn nötig durch einen Ersatzrechner ersetzt werden.

Aus dem Vorhandensein zweier Zentralrechner ergibt sich auch eine ständige Verfügbarkeit des Systems, die nur durch die Zeiten unterbrochen wird, in denen Einrichtungen, die beiden Zentralrechnern gemeinsam sind, gewartet werden müssen (ca. 20 Stunden im Jahr). Bei den Satellitenrechnern lassen sich im allgemeinen Wartungszeiten finden, die den Betrieb nicht entscheidend beeinflussen.

Die Verfügbarkeit der Hilfsmittel (z. B. Auswertungsprogramme) am Arbeitsplatz des Arztes ist wesentlich für die Durchsetzung einer praktischen Benutzung. Beim System LABMAT möchte man meinen, off-line Methoden würden zumindest bei wissen-

schaftlichen Fragestellungen genügen. Dies ist zwar richtig bezüglich der noch tolerierbaren Verzögerungen, jedoch nicht bezüglich der Benutzerfreundlichkeit. Off-line Auswertung verlangt im allgemeinen das Stanzen von Karten, Erstellen von Programmen und das (oft sehr lange) Warten auf Ergebnisse. Diese Hürde, die in vielen Fällen die Benutzung von Rechnern durch Mediziner verhindert, wird hierdurch abgebaut.

#### 4.3.4. Aufbau "von unten nach oben"

Mit dem Aufbau "von unten nach oben" wurden bisher gute Erfahrungen gemacht. Sie besagen, daß die für den Aufbau eines funktionsfähigen Systems unerläßliche Zusammenarbeit zwischen Medizin und Informatiker nur durch den unmittelbar sichtbaren Nutzen für den Arzt zu erreichen ist. Mit Vorleistungen von seiten der Anwender kann im allgemeinen nicht gerechnet werden. Lange Vorlaufzeiten sind nicht tolerierbar. Neben der Motivation ist das gegenseitige Verständnis von großer Wichtigkeit. Die Erfahrung zeigt, daß beim gegenwärtigen Ausbildungsstand von Mediziner und Informatikern im Fach des Partners eine Kommunikation am besten anhand konkreter und begrenzter Probleme zustandekommt. Beiden Effekten kommt das hier gewählte Vorgehen entgegen, indem nämlich die arzt- und patientennahen Subsysteme zuerst funktionstüchtig gemacht werden.

Die hierbei gemachten Erfahrungen können nun in die Weiterentwicklung weit besser einfließen, wie es bei einem zentral und für alle Anwendungen parallel geplanten System möglich ist. Ein solches Vorgehen wäre ohnehin im beschriebenen Fall aus personellen und finanziellen Gründen nicht möglich gewesen.

Ein Aufbau von unten nach oben birgt die Gefahr in sich, daß die Integration der Subsysteme in ein Gesamtsystem aufgrund ihrer unterschiedlichen Konzepte zu Kompatibilitätsschwierigkeiten führt. Bei der ersten bisher realisierten Stufe der Integration der Hilfsmittel wurden solche Schwierigkeiten nicht festgestellt. Die zweite, bisher noch nicht verwirklichte Stufe der Integration der Informationen in einer Datenbank könnte möglicherweise zu Problemen führen. Diese könnten jedoch dadurch aufgewogen werden, daß praktische Erfahrungen aus dem Betrieb in den Aufbau der Datenbank einfließt.

Die vorangegangenen Betrachtungen lassen den Schluß zu, daß das beschriebene

System als ein erfolgversprechendes Modell für die integrierte Verarbeitung von Informationen aus verschiedenen Bereichen eines Universitätskrankenhauses gelten kann.

#### 4.4. Erfahrungen in der Zusammenarbeit von Informatikern mit Ärzten und medizinisch-technischem Personal

Die Anwendung der Informatik in der Medizin erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Medizinern und Informatikern. Die Erfahrung zeigt, daß der Kontakt sehr eng sein muß, damit das Wissen und die Wünsche des Mediziners zusammen mit den Fähigkeiten des Informatikers in Form von funktionsfähigen Systemen realisiert werden können. Es zeigt sich jedoch, daß - von wenigen Ausnahmen abgesehen - der Mediziner von vornherein nicht zu einer Zusammenarbeit motiviert ist, sondern nur durch den unmittelbar sichtbaren Nutzen für seine ihm natürlich nahestehende medizinische Arbeit zu aktiver Zusammenarbeit zu bewegen ist. Das spontane Interesse der Informatiker an medizinischen Anwendungen ist - wie die Erfahrung zeigt - wesentlich größer. Dies kommt unter anderem daher, daß für ihn die jeweilige Anwendung die Hauptbeschäftigung darstellt, während sie für den Mediziner nur ein Hilfsmittel unter vielen ist.

Wenn aus welchen Motiven auch immer die Zusammenarbeit zustandekommt, trifft die Kommunikation auf folgende Schwierigkeiten: Den Medizinern fällt es im allgemeinen schwer, ihre Probleme zu quantifizieren und die Möglichkeiten der Informatik richtig einzuschätzen. Der Informatiker hingegen kommt nicht umhin, die medizinische Anwendung zu durchschauen. Dies ist ein Unterschied zu anderen Wissenschaften, die in die Medizin Eingang gefunden haben. Der klinische Chemiker muß nicht im Detail wissen, was der Kliniker mit dem von ihm erstellten Befund macht. Der Informatiker, der für den Mediziner ein System zur automatischen Verarbeitung von Informationen erstellt, muß die medizinischen Gesichtspunkte in jeder Phase des Informationsflusses kennen. Insofern kommt der Ausbildung von Informatikern in Medizin eine besondere Rolle zu.

Im beschriebenen Fall wurde die Kommunikation dadurch erleichtert, daß es sich vorwiegend um naturwissenschaftlich orientierte Anwendungen handelte. Darüberhinaus war es von Vorteil, daß man sich auf konkrete, wohldefinierte Probleme und deren konkrete Lösungen im Klinikbetrieb bezog, weil hier in einem iterativen Prozeß recht schnell ein gemeinsamer Nenner gefunden werden konnte.

Die Mitarbeit des medizinisch-technischen Personals hing in der Aufbauphase, also in der Zeit, in der der Einsatz von Rechnern in jedem Fall mehr Arbeit bringt, von der Fähigkeit der leitenden Ärzte ab, das Personal für die neue Aufgabe zu motivieren. Aktives Interesse wurde nur wach, wenn die Rechneranwendung merkliche Arbeitseinsparung brachte. Dies hing davon ab, ob die Systeme benutzerfreundlich waren, ihre Bedienung also leicht erlernbar und Fehlermöglichkeiten weitgehend ausgeschlossen waren und wenn sie betriebssicher waren. Auch relativ seltene Ausfälle führten leicht zu einem überproportionalen Motivationsverlust.

Im beschriebenen Fall konnte die Schwelle zur aktiven Mitarbeit fast durchweg überschritten werden, wenn auch an manchen Stellen zeitweise auf eine externe Motivation nicht zu verzichten war. Auffallend war, daß sich das Personal um so mehr mit der Rechnerbenutzung anfreundete, je mehr "rechnernah" es arbeitete. Die medizinisch-technischen Assistentinnen, die vom Rechnersystem nur den Fernschreiber sahen, identifizierten sich weniger damit als der Operateur der Gamma-Kamera, der das System startete, Bänder auflegte und bei Fehlern den Wartungsdienst anrief.

Als Gesamteindruck ergibt sich, daß sich die Zusammenarbeit zwischen Informatikern und medizinischem Personal durch Ausbildung und Aufklärung verbessern läßt, daß sich die Motivation zur engen Kooperation jedoch nur durch den praktischen Nutzen im täglichen Betrieb erreichen läßt, der bisher leider an zu wenigen Stellen sichtbar geworden ist.

## 5. Schlußfolgerungen

### 5.1. Konzept

Zum heutigen Zeitpunkt scheint es zumindest für ein großes Universitätskrankenhaus nicht möglich zu sein, ein integriertes Informationssystem zu schaffen. Der stufenweise Aufbau eines hierarchischen Mehrrechnersystems zeigt dennoch einen Weg zur Nutzbarmachung der Methoden der Informatik in einem Universitätsklinikum, da es

- den Aufbau in kleinen Schritten "von unten nach oben" erlaubt,
- den heterogenen Anforderungen eines Universitätskrankenhauses entgegenkommt,
- disziplinspezifische Arbeits- und Vorgehensweise adäquat unterstützen kann und
- dennoch die Integration der in verschiedenen Bereichen gewonnenen Informationen zuläßt.

Auf Grund seiner Dezentralisierung zeichnet sich das System durch

- hohe Verfügbarkeit,
- Betriebssicherheit,
- Ausbaubarkeit und
- Anpassungsfähigkeit aus.

Die genannten Eigenschaften sind weder von zentralen noch von verteilten Systemen erreicht. Nachteile des genannten Konzepts sind

- erhöhter Verwaltungsaufwand,
- Heterogenität der Hard- und Software.

Zumindest der letzte Nachteil wird im Zuge einer zunehmenden Standardisierung an Bedeutung verlieren.

Die überwiegend positiven Erfahrungen führen zu Planungen und Vorarbeiten für die Öffnung des Systems für weitere medizinische Bereiche (Abb. 44). Die wesentliche Neuerung ist die Installation eines Knotenrechners, der die Verwaltung der den Satelliten gemeinsamen Hilfsmittel übernehmen und den Anschluß weiterer Satellitenrechner ermöglichen wird. Vorgesehen sind ein weiterer Rechner in der Nuklear-

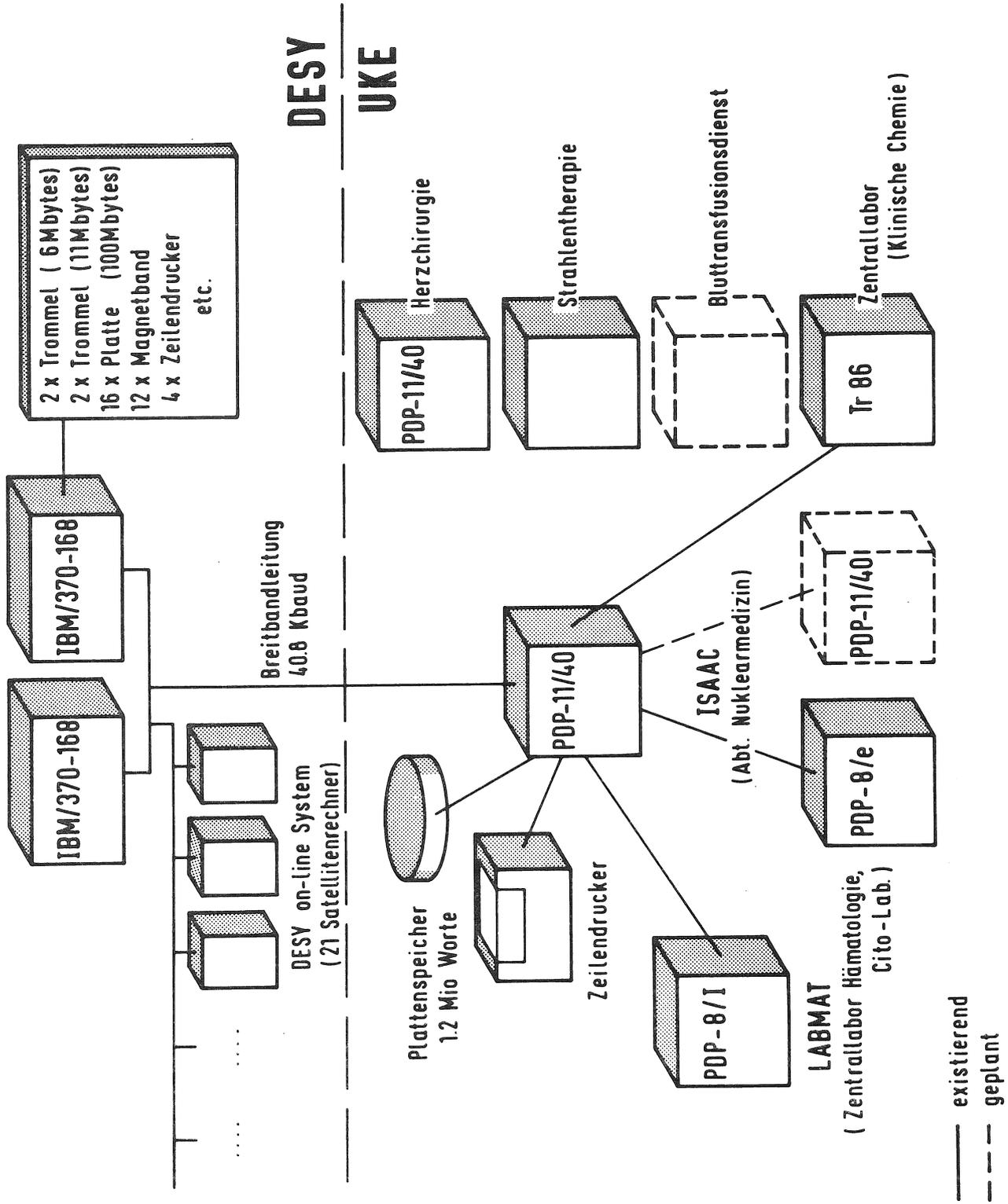


Abb. 44 Überblick über Pläne und Möglichkeiten der Weiterentwicklung des DESY-UKE-Systems

medizin sowie eine Verbindung zur zentralen Aufnahme über den Rechner TR86 der Abteilung Medizinische Dokumentation und Statistik des UKE. Für Rechner aus anderen Kliniken und Instituten besteht die Möglichkeit, sich am System zu beteiligen.

### 5.2. Medizinische Anwendungen

In beiden beschriebenen Anwendungen zeigen sich zunächst Verbesserungen, die sich durch die Quantifizierung von Untersuchungsverfahren ergeben. Den wesentlichen Fortschritt stellt jedoch die gewonnene Transparenz der Daten dar, die dem Arzt einfacher und schneller zu Informationen verhilft, die bisher nur schwer - also nicht im täglichen Betrieb - zugänglich waren.

Im klinisch-chemischen Labor äußert sich dieser Fortschritt auf dreifache Weise: Im klinischen Betrieb wird der Informationswert der Befunde erhöht, in der Forschung ist die schnelle Analyse nach allen erhobenen Parametern am Arbeitsplatz des Arztes möglich und auf der Ebene des Labormanagements werden Entscheidungsgrundlagen für eine effektivere Labororganisation geliefert. Mögliche Verbesserungen liegen hier in der verbesserten graphischen Präsentation der Daten sowie in einer Verallgemeinerung des Abfragedialogs im Auskunftssystem.

In der nuklearmedizinischen Anwendung zeigt sich, daß die interaktive graphische Auswertung eine erschöpfende Extraktion von diagnostischen Informationen aus den Daten erlaubt. Sie kombiniert in idealer Weise die Fähigkeit des Menschen, rasch komplizierte Zusammenhänge zu erfassen, mit denen von Rechnern, eine Vielzahl von Rechenoperationen in kurzer Zeit auszuführen. Die Qualität der Routinediagnostik wird hierdurch wesentlich erhöht, und es werden neue Möglichkeiten für Forschungsprojekte geschaffen. Mögliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten liegen hier in der Verbesserung der interaktiven Auswertung durch eine spezielle Dialogsprache sowie in der Ermöglichung der gezielten Sammlung großer Zahlen von Befunden für eine spätere computergestützte Differentialdiagnose.

### 5.3. Informatikanwendung

Die Ergebnisse wurden allein durch die Erfassung der Daten unter gleichbleibenden Bedingungen, ihrer jederzeitigen Verfügbarkeit und insbesondere ihrer adäquaten

Präsentation der Daten erreicht. Voraussetzung hierfür ist die Bedienbarkeit der Systeme durch medizinisches Personal ohne spezielle Kenntnisse in der Bedienung von Rechnern. Diese wurde ermöglicht durch:

- Dialogfähigkeit und Interaktivität der Systeme.
- Anwendung graphischer Methoden.
- Benutzerfreundliche Datenverwaltung.

Diese Eigenschaften sind im Interesse einer noch größeren Benutzerfreundlichkeit und der Ausbaufähigkeit des Systems noch zu verbessern durch die Einführung

- einer Datenbank, die für Daten aus heterogenen medizinischen Quellen geeignet ist,
- einer Abfragesprache für die Datenbank,
- einer Sprache für die Manipulation graphischer Daten.

Diese Aufgaben sind zum Teil schon in Angriff genommen worden.

Literatur

- 1) Akolk, F., Dilcher, H., Frese, H., Hochweller, G., Kuhlmann, P., Raubold, E.:  
DESY On-line System.  
Computer Phys. Commun. 4 (1972) 275 - 278.
  
- 2) Assheuer, J., Knopp, R., Winkler, C.:  
Programmsystem zur Schilddrüsendiagnostik und -therapie.  
In: Fuchs, G., Wagner, G. (Hrsg.):  
Krankenhausinformationssysteme.  
Schattauer Stuttgart - New York 1972.
  
- 3) Ball, M.J.:  
A Review of Total Medical Information Systems.  
Meth. Inform. Med. 10 (1971) 73 - 82.
  
- 4) Ball, M.J.:  
How to Select a Computerized Hospital Information System.  
Data Processing in Medicine Vol 2, S. Karger, Basel 1973.
  
- 5) Ball, M.J.:  
Selecting a Computer System for the Clinical Laboratory.  
C.C. Thomas Publisher, Springfield, Illinois, 1971.

- 6) Bartels, P.H., Layton, J.M., Jarkowski, T.L., Bellamy, J.C., Bahr, G.F.,  
Wied, G.L.:  
Cell Recognition by Multivariate Gray Value Analysis in Digitized Images.  
Acta Cytol.(Baltimore) 15 (1971) 284 - 288.
- 7) Bauer, P., Gangl, A., Grabner, G.:  
Ein Computerverfahren zur Zuordnung eines Krankheitsbildes zu einer  
Diagnosegruppe.  
Wiener Z. inn. Med. 51 (1970) 497 - 509.
- 8) Bitter, F., Adam, W.E.:  
Fast Data Acquisition with a Camera-Computer-System.  
Proceedings 2nd Symp. Sharing of Computer Programs and Technology in  
Nuclear Medicine (Oak Ridge, Tennessee, 1972), U.S.A.E.C. Rep.  
CONF-720430, 1972, und weitere dort veröffentlichte Arbeiten.
- 9) Bock, H.E., Eggstein, M.:  
Diagnostik-Informationssystem.  
Springer, Berlin 1970.
- 10) Borner, K., Klein, E.:  
Elektronische Datenerfassung im klinisch-chemischen Laboratorium.  
Datenerfassung bei manuellen Methoden.  
Z. klin. Chem. 7 (1969) 185 - 188.
- 11) Brunnstein, K., Dahlmann, K., Höhne, K.H., Holzhausen, K.F., Bartsch, E.:  
Erfahrungen mit dem on-line Betrieb von Autoanalyzern.  
Technicon Symposium Frankfurt 1971.

- 12) Van Brunt, E.E.:  
The Kaiser-Permanente Medical Information System.  
Comp. and Biomed. Res. 3 (1970) 477 - 487.
- 13) Budinger, R.F.:  
Clinical and Research Quantitative Nuclear Medicine System.  
Proceedings Symposium on Medical Radioisotope Scintigraphy,  
Monte Carlo 1972 und weitere dort veröffentlichte Arbeiten.
- 14) Caceres, C.A.:  
Large versus Small, Single versus Multiple Computers.  
Comput. Biomed. Res. 3 (1970) 445.
- 15) Collen, M.F.:  
General Requirements for a Medical Information System.  
Comp. and Biomed. Res. 3 (1970) 393 - 406.
- 16) Dahlmann, K., Höhne, K.H.:  
Einsatz der Datenfernverarbeitung bei der Automatisierung eines klinisch-  
chemischen Labors im Universitätskrankenhaus Eppendorf.  
German Chapter of ACM, Lectures I-1972 (1972) 29.

- 17) Dahlmann, K., Höhne, K.H.:  
LABMAT - Data Acquisition and Retrieval in a Clinical Laboratory  
Using the DESY on-line System.  
DESY-Bericht DV 71/3 (1971).
- 18) Davis, L.S.:  
A System Approach to Medical Information.  
Methoden der Informatik in der medizinischen Datenverarbeitung.  
Fachtagung der GMDS und der GI Hannover 12. - 14. Oktober 1972.
- 19) Ebenritter, W., Höhne, K.H.:  
A Display Controller for the Interactive Analysis of Scintigrams  
with a PDP8-Computer.  
Kerntechnik 15 (1973) 499 - 502.
- 20) Eisenhauer, P., Habermehl, A., Graul, E.H.:  
Control of Scintigram Presentations by Means of a Digital Computer.  
Med. biol. eng. 10 (1972) 409.
- 21) Frese, H.:  
PDP-8 Supervisor (Task-Management).  
DECUS Proceedings of the Second European Seminar Aachen 1966.

- 22) Gelsema, E.S., Powell, B.W., Berrini, P.L.:  
Procedures for the Automation of the White Blood Cell Differential  
Count.  
Fachtagung "Cognitive Verfahren und Systeme" Hamburg 1973.  
Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer New York 1973.
- 23) Grabner, G.:  
WAMIS - Wiener allgemeines Medizinisches Informationssystem.  
Aufbau und Zielsetzung.  
Methoden der Informatik in der medizinischen Datenverarbeitung.  
Fachtagung der GMDS und der GI Hannover 12. - 14. Oktober 1972.
- 24) Griesser, G.:  
On-line-Datenverarbeitung in einem Krankenhaus-Informationssystem.  
IBM-Nachrichten 21 (1971)
- 25) Haga, E. (Hrsg.):  
Computer Techniques in Biomedicine and Medicine.  
Auerbach, Philadelphia 1973.
- 26) Hall, D.L., Lodwick, G.S., Kruger, R.P., Dwyer, S.J., Towner, J.R.:  
Direct Computer Diagnosis of the Rheumatic Heart Disease.  
Radiology 101 (1971) 497 - 509.

- 27) Hall, P., Mellner, Ch., Danielsson, T.:  
J5 - a Data Processing System for Medical Information.  
Meth. Inform. Med. 6 (1967) 1 - 6.
- 28) Harm, K., Dahlmann, K., Dix, W.R., Höhne, K.H.:  
On-line-Verarbeitung von SMA-Analysendaten in einem Großklinikum.  
Technicon Symposium, Frankfurt 1974.
- 29) Harm, K., Höhne, K.H., Dahlmann, K.:  
Computeranwendung im hämatologischen Laboratorium.  
II. Rückgewinnung der Meßwerte für die Erfordernisse der  
Routine und für wissenschaftliche Auswertung.  
Ärztl. Labor 19 (1973) 237 - 245.
- 30) Hjelm, M.:  
The Handling and Processing of Data in a Clinical Chemical Laboratory.  
Z. klin. Chem. u. klin. Biochem. 7 (1969) 96 - 100.
- 31) Höhne, K.H., Dahlmann, K., Dix, W.R.:  
Anwendung einer dezentralisierten Rechnerstruktur in der medizinischen  
Datenverarbeitung.  
Methoden der Informatik in der medizinischen Datenverarbeitung.  
Fachtagung der GI und GMDS, Hannover 1972.

- 32) Höhne, K.H., Dahlmann, K., Harm, K.:  
Computeranwendung im hämatologischen Laboratorium.  
I. Möglichkeiten der on-line Erfassung und Auswertung  
hämatologischer Daten mit dem System LABMAT.  
Ärztl. Labor 19 (1973) 198 - 205.
- 33) Höhne, K.H., Lipps, H., Pfeiffer, G., Ebenritter, W., Schneider, C.,  
Montz, R., Novak, D.:  
ISAAC - Ein System für die interaktive Szintigrammaufnahme und Auswertung  
mit einem Computer.  
DESY-Bericht DV 73/1 (1973).
- 34) Höhne, K.H., Pfeiffer, G.:  
The Role of the Physician-Computer Interaction in the Analysis of  
Scintigraphic Data.  
Meth. Inform. Med. 13 (1974) 65 - 70.
- 35) Hofmann, M.J.A.:  
Medizinische Informationsverarbeitung.  
W. de Gruyter, Berlin 1974.
- 36) Hupe, W., Montz, R., Ruedas, R., Reisewitz, H., Doehn, M., Höhne, K.H.,  
Pfeiffer, G.:  
Bestimmung des dissoziierten Hirntodes und Untersuchung der Clearance  
und Morphologie der zu transplantierenden Niere mittels  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA.  
Internationaler Urologenkongreß Amsterdam 1973.

- 37) Knedel, M.:  
Datenverarbeitung im Klinisch-Chemischen Institut.  
Siemens AG, Erlangen 1972.
- 38) Koeppe, P., Schäfer, P., Gutenmorgen, W.:  
Das System ORVID.  
Der Versuch einer Real-Time-Lösung für die Röntgendiagnostik.  
Fortschr. Röntgenstr. Nukl. Med. 112 (1970) 103 - 110.
- 39) Lange, H.-J.:  
Computergestützte ärztliche Diagnostik -  
Einführung in das Thema.  
Deutsche Gesellschaft für medizinische Dokumentation und Statistik,  
17. Jahrestagung, München 1972 im Druck.
- 40) Leiber, B.:  
Medizinische Informatik und Informationssysteme.  
Ringelh. Biol. Umschau 26 (1971) 105 - 148.
- 41) Lipps, H., Höhne, K.H., Pfeiffer, G., Niekrens, H.E.,  
Schneider, C., Novak, D.:  
Ein System zur interaktiven graphischen Auswertung von Szintigrammen.  
Methoden der Informatik in der medizinischen Datenverarbeitung,  
Fachtagung der GMDS und der GI Hannover, 12. - 14. Oktober 1972.

- 42) Lodwick, G.S., Reichertz, P.L., Paquet, E., Hall, D.L.:  
ODARS, a Computer Aided System for Diagnosing and Reporting.  
In: de Haene, R., Wambersie, A.:  
Computers in Radiology (Proc. Internat. Meeting on the Use of Computers  
in Radiology, Brüssel 1969) Basel 1970.
- 43) Möhr, J.R., Odriozola, Y., Ries, P., Reichertz, P.L.:  
Einsatz und Erfahrungen mit einem System für klinische Entscheidungshilfe.  
In: Fuchs, G., Wagner, G. (Hrsg.):  
Krankenhausinformationssysteme.  
Schattauer Stuttgart - New York 1972.
- 44) Natarajan, T.K., Wagner, H.N.:  
A New Image Display and Analysis System (IDA) for  
Radionuclide Imaging.  
Radiology 93 (1969) 823.
- 45) Novak, D., Höhne, K.H., Lipps, H., Pfeiffer, G.:  
Quantification of Regional Lung Perfusion in Sarcoidosis of the Lung  
Using a Scintillation Camera and a Digital Computer System.  
Radiol. Clin. Biol. 43 (1974) 257 - 264.
- 46) Novak, D., Scherer, K., Höhne, K.H., Pfeiffer, G.:  
Quantification of Regional Lung Perfusion Using a Scintillation Camera  
and a Computer System.  
III. International Symposium on Nuclear Medicine Karlsbad 1973.

- 47) Nowakowski, H., Montz, R., Mischke, W., Haug, H.P., Höhne, K.H.,  
Pfeiffer, G.:  
Weiblicher Hirsutismus: Darstellung kleiner Nebennierenrindentumoren mit  
Hilfe von  $^{131}\text{J}$ - $^{19}\text{J}$ -Jodcholesterol.  
Deutsche Gesellschaft für Endokrinologie, 19. Symposium Berlin 1973.
- 48) Pistor, P., Georgi, P., Walch, G.:  
The Heidelberg Scintigraphic Image Processing System.  
Proceedings 2nd Symp. Sharing of Computer Programs and Technology in  
Nuclear Medicine (Oak Ridge, Tennessee, 1972), U.S.A.E.C. Rep.  
CONF-72043, 1972.
- 49) Reichertz, P.L.:  
Aufbau eines Informations- und Terminal-Systems in einem Klinikum.  
IBM-Form F12-1054, 1972.
- 50) Reichertz, P.L.:  
Auswirkungen der elektronischen Datenverarbeitung auf die  
Struktur der Medizin.  
Arzneim. Forsch. 21 (1971) 173 - 181.
- 51) Reichertz, P.L.:  
Medizinische Informatik.  
Aufgabe, Wege und Bedeutung.  
Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher  
und Ärzte 1972, 106 - 120.

52) Reichertz, P.L.:

Requirements for Configuration and Management of an  
Integral Medical Computer Center.

Meth. Inform. Med. 9 (1970) 1 - 8.

53) Scheer, K.E., Wagner, G.:

Nuklearmedizinische Datenerfassung und -auswertung.

Projekt Datenverarbeitung in der Medizin, Projektplan.

München 1973.

54) Schneider, B.:

Studie über die Anwendung der Datenverarbeitung in der Medizin.

BMWB-Forschungsbericht DV 72-03, 1972.

55) SNOP:

Systematized Nomenclature of Pathology.

College of American Pathologists, 1965.

56) Turnblade, R.C.:

The Case for Dedicated Computers.

Data Processing Magazine, May 1971, 41 - 44.

57) Winkler, C.:

Datenerhebung, -verarbeitung und Informationsübermittlung in der klinischen Nuklearmedizin.

Projekt Datenverarbeitung in der Medizin, Projektplan.

München 1973.

58) Wingert, F.:

Kriterien für die Systemauswahl in der Medizin.

Vortrag auf Systems 73, München 1973.

Wird veröffentlicht in Münch. med. Wchschr. 1974.

59) Wolfe, R.E.:

Multiple Minicomputers Go to Work for Large Timesharing Applications.

Data Processing Magazine Sept. 1970, 33 - 37.