

In: H. Balzert, G. Heyer, R. Lutze (Eds.)
Expertensysteme '87' - Konzepte und Werkzeuge.
Tagung I/1987 des German Chapters of the ACM,
7.-8. 4. 1987, Nürnberg, Germany, Teubner.

- 341 -

Wissensbasierte Entscheidungsunterstützung
in der Anästhesie mit dem AES

H. Klocke, Th. Shecke, M. Jeusfeld, G. Rau
Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik, RWTH-Aachen

U. Hatzky, G. Kalff
Abteilung für Anästhesiologie, RWTH-Aachen

Zusammenfassung: Die Aufgaben des Anästhesisten bei Operationen in der Herzchirurgie sind vergleichbar mit komplexen Prozeßführungsaufgaben wie sie aus dem industriellen Bereich bekannt sind. Zu seiner Unterstützung wird hier ein wissensbasiertes Anästhesie-Entscheidungsunterstützungs-System, das AES, entwickelt. Der Zugriff auf die Funktionen der Entscheidungsunterstützung erfolgt über ein allgemeines Anästhesie-Informationssystem (AIS) mit einer hochinteraktiven, ergonomisch gestalteten Mensch-Maschine-Schnittstelle. Die Wissensakquisition wird durch eine formale Sprache zur Beschreibung des Expertenwissens unterstützt. Die Sätze dieser Sprache sind in natürlicher Sprache formulierten Sätzen sehr ähnlich, sie lassen sich aber in prädikatenlogische Formeln transformieren.

1 Einleitung

Komplizierte operative Eingriffe können mit einer hohen Belastung des Patienten durch die Narkose verbunden sein. Um diese Belastung auf ein Minimum zu reduzieren, sind immer verfeinere Anästhesiemethoden und -techniken sowie wirksamere Medikamente entwickelt worden. Diese Verbesserungen für den Patienten erhöhen allerdings drastisch die Anforderungen an den Anästhesisten, insbesondere an die Qualität seiner Überwachungstätigkeit und seiner Entscheidungen. Sein Aufgabengebiet - Überwachung und Steuerung des Patientenzustandes - besitzt große Ähnlichkeit mit komplexen Prozeßführungsaufgaben zur Beherrschung von technischen Systemen, einige Autoren vergleichen seine Tätigkeit auch mit der eines Piloten im Cockpit /7/.

Um den Anästhesisten bei diesen Aufgaben zu unterstützen, ist am Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik in Aachen unter Mitwirkung der Abteilung für Anästhesiologie ein Anästhesie-Informationssystem (AIS) konzipiert und realisiert worden, das ihm die (vorgeschriebene) Protokollierung und Überwachung der Patientenparameter erleichtert und durch eine geeignete Darstellung der relevanten Informationen eine erste Entscheidungshilfe bietet. Eine besondere Bedeutung gewinnt hierbei die geeignete Gestaltung der hochinteraktiven Schnittstelle zwischen Anästhesist und Computer /10,11,16,17/. Dieses System ist im Operationssaal im "Feldtest" erprobt und weiterentwickelt worden.

Darüberhinaus ist eine weitere Unterstützung durch die Integration von Wissen aus ausgewählten Gebieten der Anästhesie in ein derartiges Informationssystem sinnvoll. Dies ist als Funktionsmuster mit Hilfe von Methoden aus der Künstlichen Intelligenz bei uns als Anästhesie-Entscheidungsunterstützungs-System (AES) realisiert worden /12/.

Der wissensbasierte Ansatz zur Entscheidungsunterstützung in der Medizin ist vor allem durch das klassische Expertensystem MYCIN /19/ bekannt geworden. MYCIN wurde zur Diagnose von Infektionskrankheiten entwickelt und als Konsultationssystem konzipiert. Die Weiterentwicklung führte zu EMYCIN, einer Expertensystem-Shell ohne bereichsspezifisches Wissen. Mit Hilfe von EMYCIN sind unter anderem 2 weitere medizinische Expertensysteme entwickelt worden: PUFF /1/ zur Interpretation von Lungenfunktionstests und VM /5/ zur Überwachung der maschinellen Beatmung von Patienten auf der Intensivstation.

In neuerer Zeit sind zahlreiche problembereichsunabhängige Expertensystem-Shells vorgestellt worden (z.B. OPS5, Twaice, Babylon, KEE etc.), die zum Teil aus Expertensystem-Shells für bestimmte Anwendungsgebiete hervorgegangen sind (z.B. MED2 /15/).

Das im folgenden beschriebene System AES arbeitet nicht wie z.B. MYCIN als Konsultationssystem, sondern als Monitoring-System ähnlich VM, im Gegensatz zu diesem wird es nicht auf der Intensivstation, sondern im OP für die Anästhesie bei kardiochirurgischen Eingriffen eingesetzt (Bild 1).

2 Spezifische Randbedingungen und Anforderungen

Besondere Bedingungen für eine wissensbasierte Entscheidungsunterstützung ergeben sich aus dem Einsatz im OP:

- a) Während einer Herzoperation durchlaufen die meßtechnisch erfaßten Parameter des Patienten (div. Blutdrücke, Puls, Temperaturen, Blutwerte etc.) sehr unterschiedliche, zum Teil nicht mehr physiologische Zustände, die abhängig vom Operationstyp und von der Operationsphase nach unterschiedlichen Kriterien beurteilt werden. Bereits akquiriertes Wissen in bestehenden Expertensystemen für weniger extreme Situationen (z.B. Intensivstation) ist nur sehr begrenzt anwendbar.
- b) Die moderne Anästhesie verlangt in der Therapie sorgfältig dosierte und aufeinander abgestimmte Kombinationen von Medikamenten sowie die gezielte Anwendung medizintechnischer Geräte. Eine Entscheidungsunterstützung muß deshalb sowohl Wissen über komplexe logische Zusammenhänge enthalten wie auch - aus KI-Sicht scheinbar triviales - Formel-Wissen. Der Benutzer muß die Möglichkeit haben, sich einen Überblick über das jeweils verwendete Formel-Wissen zu verschaffen und dieses zu kontrollieren.
- c) Während der Operation hat der Anästhesist häufig keine Zeit, in Terminalsitzungen den Informationsbedarf eines Expertensystems zu befriedigen, da er sich vor allem auf Überwachung, Beurteilung und Steuerung des Patientenzustandes konzentrieren muß, Entscheidungen müssen u.U. schnell getroffen werden. Eine wissensbasierte Entscheidungsunterstützung hat wenig Erfolg, wenn sie den Anästhesisten durch aufwendige Interaktion zusätzlich belastet. Ein Konsultationssystem scheidet demnach aus. Daher ist es sinnvoll, möglichst nur die Informationen auszuwerten, die ohnehin protokolliert werden müssen. Die Eintragung sollte nicht aufwendiger sein als die bisherige Protokollierung von Hand.
- d) Die Ergebnisse der Entscheidungsunterstützung müssen schnell zur Verfügung stehen. Wenn die zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten begrenzt sind (im vorliegenden Fall ein 16/32-Bit-Rechnersystem CADMUS 9230), dann sind dem Umfang und der Tiefe der Wissensbasis vergleichsweise enge Schranken gesetzt.
- e) Die Experten sind stark in die klinische Routine eingespannt und haben

erfahrungsgemäß wenig Zeit für die Wissensakquisition. Um ihre knappe Zeit intensiv zu nutzen, ist es sehr hilfreich, wenn eine Sprache zur Verfügung steht, die von den beteiligten Kommunikationspartnern (Experten, Wissens-Ingenieur, Rechner) gleichermaßen verstanden wird. Auf der Grundlage von allen verstandener Formulierungen lassen sich Verfälschungen der Inhalte auf dem Weg vom Experten über den Wissens-Ingenieur zum Rechner eher vermeiden.

3 Mensch-Maschine-Schnittstelle

Um der Anforderung c) gerecht zu werden, arbeitet die wissensbasierte Entscheidungsunterstützung eng mit einem allgemeinen Anästhesie-Informationssystem, dem AIS, zusammen (Bild 2).

Das AES stellt sich für den Benutzer als Komponente des AIS dar, insbesondere wird es über dieselbe interaktive Mensch-Maschine-Schnittstelle bedient. Dieses Informationssystem unterstützt den Anästhesisten bei der Überwachung des Patientenzustandes und bei der Protokollierung des Anästhesieverlaufs. Dazu werden bestimmte Meßwerte des Patienten (Blutdruck, Puls, etc.) automatisch erfaßt; die Maßnahmen des Anästhesisten (Verabreichung von Medikamenten, Steuerung der Beatmung, usw.) sowie bestimmte Operationsereignisse (Intubation, Bypassbeginn etc.) werden von Hand eingetragen. Die Eingabe erfolgt über einen berührungsempfindlichen hochauflösenden Farb-Rastergrafik-Bildschirm, dabei werden die betreffenden Informationselemente in Form von virtuellen Tasten und Analog-Schiebern direkt manipuliert /20/ - eine Tastatur mit Kenntnis der entsprechenden Kommando-Sprache oder Menü-Strukturen ist nicht erforderlich. Die Gestaltung dieser Mensch-Maschine-Schnittstelle, insbesondere der gezielte Einsatz der Farbkodierung von Information, ist in /10,11/ eingehend beschrieben worden, sie wird im folgenden nur kurz skizziert.

Das AIS präsentiert sich in Form von Informationsseiten, die alle nach demselben Schema aufgebaut sind (Bild 3). Der Kern besteht aus den Fenstern zur Darstellung der Vitalparameter und der Beatmung. Um diese Fenster herum gruppieren sich in Form von virtuellen Tasten eine "Begriffsleiste" (links) und eine "Funktionsleiste" (unten). Über dem Vitalparameterfenster befindet sich ein Meldefenster. Die Begriffsleiste enthält in den virtuellen Tasten die Bezeichnungen der zu protokollierenden Maßnahmen und Aktionen, Einträge werden als Fähnchen über der Zeit den

Kurven der Vitalparameter überlagert.

Bild 4 zeigt das Interaktionsschema zur Protokollierung der Verabreichung von 0.1 mg Fentanyl /10/:

1. Das Medikament Fentanyl wird durch Berühren der entsprechenden Taste aktiviert.
2. Soll die Eintragung nicht zur Echtzeit erfolgen, dann wird die virtuelle Zeitlinie auf den entsprechenden Zeitpunkt geschoben.
3. Die Dosierung 0.1 mg wird auf dem virtuellen Mengenschieber in der Funktionsleiste eingetragen.
4. Durch Betätigen der Taste "Fertig" wird die Transaktion abgeschlossen.

Das AES liefert über dieses Informationssystem hinaus zusätzliche Informationen, es stützt sich bei der Anwendung seines Wissens aber nur auf die Informationen, die dem AIS ohnehin bekannt sind. Der Benutzer wird also nicht durch zusätzliche Eingaben beansprucht.

Die Ausgaben des AES werden ebenfalls in das AIS integriert: Diagnosen und Therapie-Empfehlungen werden im Meldefenster dargestellt, Dosierungs-Empfehlungen für die Medikamente erscheinen als Zahlen innerhalb der entsprechenden Begriffs-Tasten.

Der Benutzer kann sich die Ergebnisse des AES erklären lassen. Dazu berührt er das Meldefenster und aktiviert damit das Fenster zur Erklärungs-komponente im unteren Teil der Informationsseite (Bild 5). Mit dem Pfeil kann man sich durch die logischen Komponenten der Meldung (Diagnosen, Therapie-Empfehlungen) durchtasten und durch Betätigen der Taste "???" die Erklärung für die angewählte Komponente anfordern. Dargestellt wird dann die Diagnose- oder Therapie-Regel, die zu der Komponente geführt hat, sowie der Zustand der zur Herleitung benutzten Meß- und Hilfsgrößen. Derzeit lassen sich nur die Diagnosen und Therapie-Empfehlungen erklären, weitere Hilfsregeln noch nicht.

4 Wissensstruktur

Im wesentlichen umfaßt das AES heuristisches Wissen zur Bewertung der Elektrolyte und des Säure-Basen-Status des Blutes. Zu diesem medizinischen Problemkreis wird von Patil /14/ für die Innere Medizin ein

sehr tief und umfangreich angelegter Ansatz zu einem komplexen kausalen Modell verfolgt. Da allerdings für den Einsatz im OP anderes Spezialwissen als in der Inneren Medizin herangezogen wird (vgl. Randbedingung a) und der Anästhesist nicht durch aufwendige Kommunikation mit dem Entscheidungsunterstützungs-System belastet werden soll (vgl. Randbedingung c) ist dieser Ansatz in der hier dargestellten Situation nicht realisierbar.

Stattdessen wird ein einfacheres Modell zugrunde gelegt. Die während der Operation ermittelten Blutwerte werden zunächst bewertet und bestimmte Ergebniskombinationen führen zu Diagnosen. Im Kontext der bisher getroffenen Maßnahmen und weiterer Patientendaten (wie Gewicht, Alter etc.) ergeben sich Therapie-Empfehlungen, zum Beispiel die Einstellung des Respirators (Beatmungsgerät) oder Vorschlag und Dosierungsempfehlung bestimmter medikamentöser Maßnahmen. Die Monitoring-Aufgabe verlangt dabei einen datengesteuerten Ablauf, getriggert durch die Eintragungen neuer Werte.

Bewertung und Dosierungsempfehlungen beruhen nicht nur auf logischen, sondern auch auf numerischen Zusammenhängen, die die Integration des eingangs erwähnten Formel-Wissens verlangen.

Die Modellierung des AES-Wissens umfaßt die folgenden Strukturelemente:

- Parameter: Als Parameter werden im folgenden alle Informationen bezeichnet, die vom AIS erfaßt (s.o.) und von der Entscheidungsunterstützung ausgewertet werden.
- Diagnose- und Therapie-Regeln: Die Ergebnisse der Diagnose- und Therapie-Regeln erscheinen als Meldungen im Meldfenster.
- Hilfsregeln: Mit den Hilfsregeln werden Zwischenergebnisse gefolgert, die in den Diagnose- und Therapie-Regeln sowie in anderen Hilfsregeln weiter verwendet werden. Die Ergebnisse erscheinen aber nicht als explizite Meldungen.
- Bereichsdefinitionen: Die Meßwerte werden relativ zu bestimmten symbolischen Charakterisierungen (Wertebereiche) bewertet. Diese Bereiche können ihrerseits von weiteren Parametern und Zwischenergebnissen abhängen.
- Definitionen von Hilfsparametern: In Abhängigkeit vom Kontext erhalten Hilfsparameter einen nach einer Formel zu berechnenden Wert, der seinerseits in weitere Wissens Elemente einfließt.

- Definitionen der Gültigkeitsdauer: Manche Meßwerte sind nach ihrer Erfassung nur eine bestimmte Zeit gültig; wenn sie danach nicht erneut übermittelt werden, dürfen aufgrund der alten Werte keine Schlußfolgerungen mehr gezogen werden.

- Ungültigkeitsbedingungen: Einige therapeutische Maßnahmen des Anästhesisten beeinflussen bestimmte Meßwerte sehr schnell relativ zu ihrer Abtastperiode, so daß nach einem entsprechenden Eintrag neue Meßwerte abgewartet werden müssen, bevor sie in weiteren Folgerungen verwendet werden dürfen. Z.B. beeinflußt eine Veränderung der Respirator-Einstellung sofort den Sauerstoffgehalt des Blutes (PO₂-Wert), der nur in bestimmten Abständen im Labor ermittelt wird.

- Dosierungsempfehlungen. Sie werden abhängig vom Patientenzustand aus den Patientendaten (wie Alter, Gewicht) berechnet. Die Ergebnisse gelangen allerdings nicht zum Meldefenster, sondern werden direkt in die Begriffs-Tasten der entsprechenden Maßnahmen eingetragen.

Der Faktor Zeit spielt in zwei Punkten eine Rolle: Einmal werden die Werte einiger Parameter nach Ablauf bestimmter Zeitintervalle ungültig (Definition einer Gültigkeitsdauer). Weiterhin können bestimmte Situationen erst dann für Entscheidungen relevant werden, wenn sie eine Zeit lang bestanden haben (Verlaufsbeurteilung).

5 AES/L: Sprache zur Beschreibung des Wissens

Eine formale Beschreibung des so strukturierten Anästhesie-Wissens ist für die Repräsentation auf dem Rechner erforderlich. Dazu wurde die Sprache AES/L entwickelt, die folgenden Anforderungen genügt:

1. Mit den zur Verfügung gestellten Konstrukten der Sprache AES/L lassen sich die skizzierten Zusammenhänge adäquat beschreiben.
2. Die Sätze dieser Sprache ähneln in natürlicher Sprache formulierten Sätzen, so daß sie als gemeinsame Kommunikationsbasis zwischen Mediziner und Wissens-Ingenieur dienen.
3. Es handelt sich um eine formale Sprache, die sich maschinell übersetzen läßt.

Im folgenden werden die Konstrukte dieser Sprache anhand einfacher Beispiele kurz vorgestellt, die formale Definition der Syntax und Semantik findet sich in /12/.

Das erste Beispiel zeigt das allgemeine Format der Regeln:

```
diagnoseregeln 14 heisst
wenn
  'PO2' < 'O2-Grenzwert'
dann
  "Hypoxie".
```

Die Klassifizierung der Regeln nach Diagnose-, Therapie- und Hilfsregeln erleichtert die Strukturierung der Wissensbasis. Als Folgerung ergibt sich ein Text, der in den Bedingungsteil weiterer Regeln einfließen kann. Darüberhinaus werden die Folgerungstexte der Diagnose- und Therapie-Regeln an das AIS gesendet und im Meldfenster dargestellt. Der Hilfsparameter 'O2-Grenzwert' ließe sich wie folgt über eine Formel definieren:

```
'O2-Grenzwert' := 108.86-0.26*'Alter'
                -7.30*('Gewicht')/('Laenge'-1)-15.10.
```

(Gewicht in kg, Länge in cm).

Die anzuwendende Formel kann von Bedingungen abhängig gemacht werden:

```
wenn
  'Geschlecht' = "weiblich"
dann
  'O2-Grenzwert' := 108.86-0.26*'Alter'
                  -7.30*('Gewicht')/('Laenge'-1)-15.10.
```

Wie die folgende Therapieregeln zeigt, können auch in die "Ausgabe" ("dann"-Teil) einer Regel Formeln integriert werden:

therapieregeln 23 heisst

wenn

"Hyperkaliaemie" und

'Gewicht' >= 20 und

"LASIX ist bereits eingetragen worden" und

"metabolische Azidose"

dann

"Gabe von ", abs('BE')*10, " ml NaBic 8.4% ?".

Zur Charakterisierung des zeitlichen Verlaufs steht das Konstrukt "seit N min" zur Verfügung:

diagnoseregeln 25 heisst

wenn

'mittl.Blutdruck' ist unter 'normal fuer HLM' seit 5 min

dann

"mittl.Blutdruck zu niedrig: ", 'mittl.Blutdruck'.

Die Beurteilung von Parametern relativ zu charakteristischen Bereichen (wie "normal fuer HLM" - HLM: Herz-Lungen-Maschine) wird sehr häufig in Bedingungen eingesetzt. Diese Bereiche lassen sich z.B. wie folgt definieren:

wenn

"Patient ist an Herz-Lungen-Maschine"

dann

'mittl.Blutdruck' ist 'normal fuer HLM' innerhalb 40 bis 90.

Die beiden folgenden Sätze sind Beispiele zur Formulierung von Dosierungsempfehlungen:

empfohlen 'FENTANYL' := 0.004 * 'Gewicht'.

wenn

'Plat.druck' > 20 und 'Rect.Temp.' > 37.50

dann

empfohlen 'Min.Vol.' := (0.0672 * 'KO' * 'Energieverbrauch' +
'Frequenz' * (0.05 * 'KO' + 0.10)) *
(1 + 0.10 * ('Rect.Temp.' - 37.50)) +
'Frequenz' * 0.005 * ('Plat.druck' - 20).

(FENTANYL in mg, Gewicht in Kg, Plat.druck in cm H₂O, Rect.Temp. in grad C,
Min.Vol. in l/min, KO in qm, Frequenz in 1/min).

Die oben dargestellten Gültigkeitsbeziehungen lassen sich mit den
Konstrukten "gueltig fuer", "gueltig bis" und "ungueltig wenn" formulieren:

'Blutdruck' ist gueltig fuer 3 min.

'PO₂' ist gueltig bis veraendert.

'PO₂' ist ungueltig

wenn

'Seufzer', 'I/E', 'PEEP', 'Min.Vol.', 'Frequenz',
'Atemgase', 'EUPHYLLIN'

eingetragen wird.

Die Sätze dieser Sprache lassen sich in prädikatenlogische Formeln
transformieren /12/, die Ergebnisse dieser Transformation sind Horn-Klausen.
Sie können damit auf der Grundlage einer Relation zur Bestimmung der
aktuellen Parameter-Werte von einem Laufzeitsystem in effektiver Weise
interpretiert werden.

6 Realisierung

6.1 Übersetzung

Die somit mögliche Lesart der Sätze in AES/L als Horn-Klausen legt
die Übersetzung in PROLOG nahe. Die Syntax von AES/L ist so gestaltet, daß
jeder gültige Satz einen PROLOG-Term darstellt. Durch eine geeignete
Definition der Schlüsselworte wie "wenn", "dann", "ist unter", "ist gültig"
als PROLOG-Operatoren ergibt sich der natürlichsprachliche Charakter der
Sätze. Da PROLOG einen recht mächtigen Mechanismus zur Unifizierung von
Strukturen zur Verfügung stellt, läßt sich mit relativ geringem Aufwand ein

Übersetzer in PROLOG entwickeln.

Während der Übersetzung wird ein Abhängigkeitsgraph aufgebaut und ausgewertet, so daß für jeden Parameter angegeben werden kann, welche Folgerungen (Regeln, Hilfsparameter, Definitionen etc.) dieser Parameter beeinflußt. Dabei werden zirkuläre Abhängigkeiten gefunden und als Fehler gemeldet.

6.2 Laufzeitsystem

Die Anwendung dieses Wissens ist dann eine Kombination aus Vorwärtsverkettung und "Backtracking": Bei jeder Eintragung von Parametern in das AIS werden auf der Basis des ausgewerteten Abhängigkeitsgraphen die in Frage kommenden Diagnose-, Therapie- und Empfehlungsregeln ausgewählt (Vorwärtsverkettung), diese Schlußfolgerungen werden dann angestoßen. Die Ausführung (Beweis) einer Folgerung lehnt sich dann an den Resolutions-Mechanismus von PROLOG an: Um die Bedingungen einer Regel zu überprüfen, wird versucht, sie aufgrund anderer Regeln zu erschließen (Backtracking).

Eine Folgerung kann nur bewiesen werden, wenn die Parameter, die in sie einfließen, gültig sind, d.h. wenn ihre Gültigkeitsdauer noch nicht abgelaufen ist und kein Parameter aufgrund einer Ungültigkeitsbedingung explizit ungültig geworden ist. Die dabei bewiesenen Ergebnisse (Diagnosen und Therapie-Empfehlungen) und Zwischenergebnisse (Hilfsparameter und -regeln, Charakterisierungen) werden als "Lemmata" abgelegt. Die Idee dieser Lemma-Generierung wurde in /8/ angeregt und um einen Mechanismus zur Aktualisierung der Lemmata erweitert, der auch die dynamische Berücksichtigung der Gültigkeits- und Ungültigkeitsbeziehungen erlaubt.

7 Erfahrungen und Ausblick

Das AES umfaßt zur Zeit ein Wissen von 272 Sätzen in AES/L, das 37 der vom AIS zur Verfügung gestellten Parameter auswertet. Zu diesen Sätzen gehören:

- 29 Diagnoseregeln
- 58 Therapieregeln
- 22 Dosierungsempfehlungen
- 8 Hilfsregeln
- 155 sonstige (Definitionen von Bereichen, Hilfsparametern, Gültigkeitsdauern, Ungültigkeitsbedingungen)

Mit diesem Wissensumfang genügt das AES bei den Erprobungen im OP den gegebenen Anforderungen an das Echtzeitverhalten (einige Sekunden nach Parametereintragung). Einen wesentlichen Beitrag zur Effizienz liefert die Lemmata-Verwaltung mit einer Trefferquote von ca. 95 %.

Einige der befragten Experten sind z.T. mit klassischen Programmierkonzepten vertraut. Das dadurch geprägte algorithmen-orientierte (imperative) Modell vom Computer stand anfangs der Vermittlung der Mächtigkeit des wissensbasierten Ansatzes im Wege. Zur Vermittlung der prinzipiellen Möglichkeiten dieses Ansatzes hat sich der deklarative, logik-orientierte Charakter der Sprache AES/L als deutliche Hilfe erwiesen.

Weitere Arbeiten laufen zur ergonomischen Gestaltung der Ausgaben des AES und zum weiteren Ausbau des AES-Wissens.

Literatur:

- /1/ Aikins, J.S.; Kunz, J.C.; Shortliffe, E.H.; Fallat, R.J.: PUFF: An expert system for interpretation of pulmonary function data. Technical Report STAN-CS-82-931, Stanford University, 1982.
- /2/ Bauer, J.; Herczeg, M.: Software-Ergonomie durch wissensbasierte Systeme. in: H.-J. Bullinger: Software-Ergonomie '85, Teubner 1975, 108-118
- /3/ Bernotat, R.; Rau, G.: Ergonomics in Medicine. In: Perspectives in Biomechanics (Reul, Ghista, Rau, eds.), Harwood Academic Publications, N.Y. 1980, 381-398
- /4/ Fähnrich, K.-P.; Ziegler, J.: Direkte Manipulation als Interaktionsform an Arbeitsplatzrechnern. in: H.-J. Bullinger: Software-Ergonomie '85, Teubner 1975, 75-85
- /5/ Fagan, L.M.; Kunz, J.C.; Feigenbaum, E.A.; Osborn, J.J.: Extensions to the Rule-Based Formalism for a Monitoring Task. In: B. Buchanan, E. Shortliffe: Rule Based Expert Systems, Addison-Wesley 1984, 397-423
- /6/ Forgy, C.L.: OPS-5 user's manual. Technical Report CMU-CS-81-135, Carnegie-Mellon University 1981
- /7/ Gravenstein, J.S.: As for pilots, instruments important. Engineering in Medicine & Biology (IEEE), March 1982, 23-25
- /8/ Hogger, C.: Introduction to Logic Programming. Academic Press 1984
- /9/ Jacob, W.: Wissensgrundlagen für ein entscheidungsunterstützendes Anästhesie-Informationssystem. Med. Dissertation RWTH Aachen (in Bearbeitung) 1987

- /10/ Klocke, H.; Trispel, S.; Rau, G.: Entwicklung einer Mensch-Rechner Schnittstelle für ein Anästhesie-Informationssystem unter Berücksichtigung ergonomischer Gesichtspunkte. *Angewandte Informatik*, Mai 1984, 197-208
- /11/ Klocke, H.; Trispel, S.; Hatzky, U.; Daub, D.; Rau, G.: An Anesthesia-Information-System (AIS) for Monitoring, Recording, and Decision Support Tasks during Surgical Anesthesia. *J. Clin. Monit.* October 1986.
- /12/ Klocke, H.: Konzeptentwicklung eines Anästhesie-Informationssystems zur Dokumentation, Überwachung und Entscheidungsunterstützung während der Narkose. *Diss. RWTH Aachen (in Bearbeitung) 1987*
- /13/ Kunz, J.C.; Fagan, L.M.; Feigenbaum, E.A.; Osborn, J.J.: Knowledge Engineering in Clinical Care. In: *Computers in Critical Care and Pulmonary Medicine*, Plenum Press 1980 217-222
- /14/ Patil, S.R.; Szolovits, P.; Schwartz, W.B.: Modeling Knowledge of the Patient in Acid-Base and Electrolyte Disorders. in P. Szolovits: *Artificial Intelligence in Medicine*, 1982
- /15/ Puppe, F.: Expertensysteme. *Informatik-Spektrum 2 (1986) 1986*, 1-13
- /16/ Rau, G.: Ansätze für die ergonomische Gestaltung medizintechnischer Instrumentierung. *Schriftenreihe der Rheinisch-Westfälischen Akademie der Wissenschaften*, Westdeutscher Verlag, N311, 1982, 41-78
- /17/ Rau, G.; Trispel, S.: Ergonomic Design Aspects in Interaction Between Man and Technical Systems in Medicine. In: *Medical Progress through Technology 9 (1982) 153-159*
- /18/ Shneiderman, B.: The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. *Behav. & Inf. Technol.* 3 (1982) 237-256
- /19/ Shortliffe, E.H.: *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*. Elsevier North-Holland, New York, 1976.
- /20/ Trispel, S.; Rau, G.: User Guidance Strategies for the Visuell Interface with virtual control Elements. *Proc. Int. Zürich Seminar on Dig. Comm. and Man-Machine-Interactions*, March 9-11, 1982 247-252

Dipl.-Inform. H. Klocke, Dipl.-Ing. Th. Schecke,
cand. infom. M. Jeusfeld, Prof. Dr. rer. nat. G. Rau
Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik
Pauwelsstraße
D-5100 Aachen

Uwe Hatzky, Prof. Dr. med. G. Kalff
Abteilung für Anästhesiologie
Pauwelsstraße
D-5100 Aachen

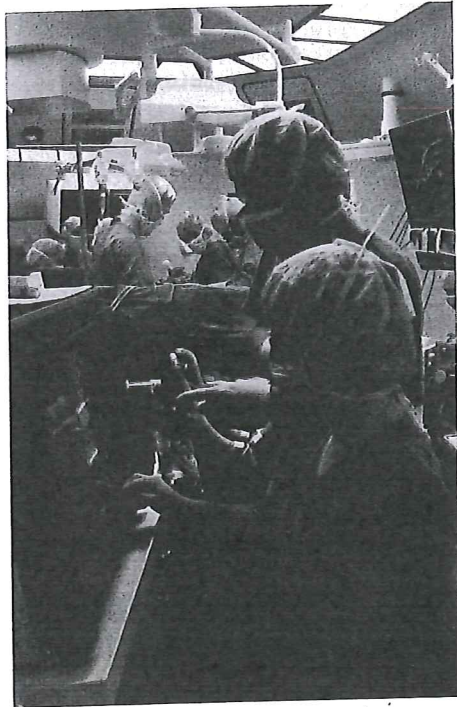


Bild 1
Erprobung des
AIS/AES im OP

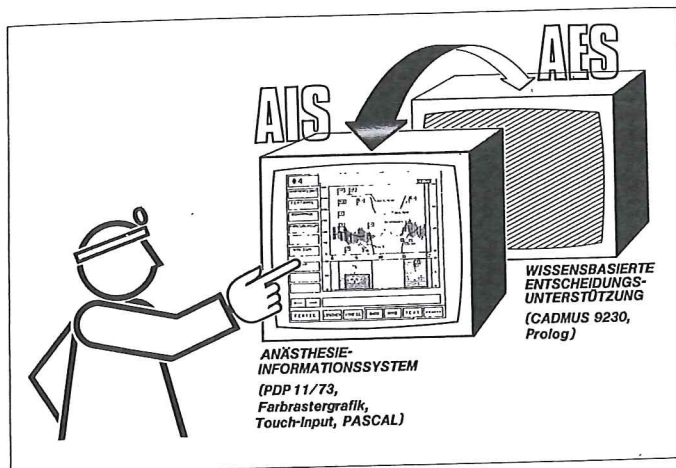


Bild 2
Das AIS als Benutzerschnittstelle zum AES

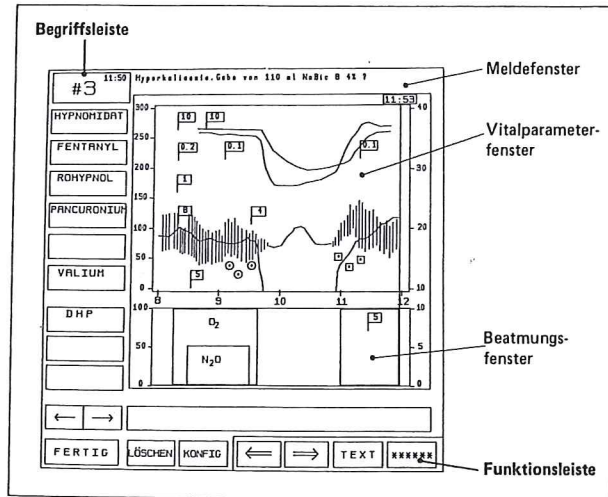


Bild 3
Schematischer Aufbau einer AIS-Information-Seite nach /12/

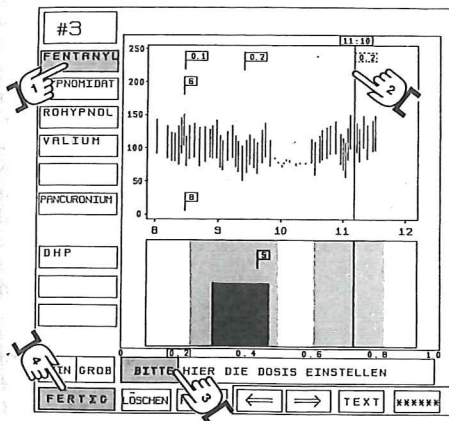


Bild 4
Interaktionsschema zur
Protokollierung von 0,1 mg
Fentanyl um 11:10 Uhr
nach /10/.

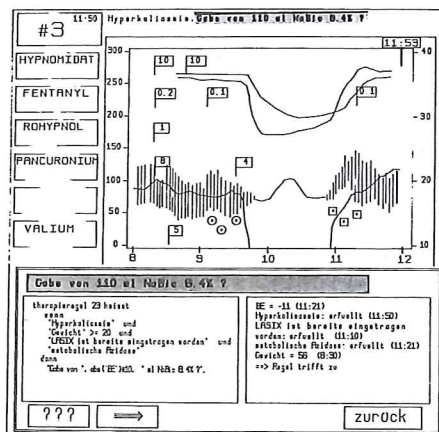


Bild 5
Erklärungskomponente des
AES nach /12/.