

DIREKTE MANIPULATION DURCH BERÜHREINGABE BEI EINEM ANÄSTHESIE-INFORMATIONSSYSTEM- UND ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNGS-SYSTEM

Heiner Klocke, Günter Rau & Thomas Shecke, Aachen

Zusammenfassung: Die Benutzerschnittstelle des Anästhesie-Informationssystems AIS basiert auf direkter Manipulation. Auf einem berührungsempfindlichen Farbmonitor werden Patientenvariablen wie Blutdruck sowie Bedienelemente zur Eingabe von Daten graphisch dargestellt. Alle während der Anästhesie benötigten Informationen sind auf mehrere Bildseiten verteilt, deren Inhalt der Benutzer selbst festlegen und damit an seine persönliche Arbeitsweise anpassen kann. In das AIS integriert ist das Anästhesie-Entscheidungsunterstützungs-System AES, das während der Operation Diagnosehinweise und Therapieempfehlungen liefert. Die Systeme werden in einem kardiochirurgischen OP erprobt.

Einführung

Beim Einsatz von Computersystemen in der Anästhesie werden hohe Anforderungen an die Mensch-Rechner Schnittstelle gestellt. Die Kommunikation mit einem computergestützten Informationssystem darf den Anästhesisten nicht von seiner eigentlichen Tätigkeit ablenken. Diese besteht während der Operation darin, den Zustand des Patienten so zu steuern, daß der Chirurg unter möglichst optimalen Bedingungen arbeiten kann und der Patient so wenig wie nötig durch die Anästhesie belastet wird.

Gravenstein (1982) vergleicht die Tätigkeiten des Anästhesisten mit denen eines Piloten: "Both must respond quickly to changing conditions in order to avoid disaster; both work in a confined area where the interpretation of signals calls for small mechanical actions that can produce large changes. The biggest difference is that the pilot suffers graver consequences if he errs than does the anesthesiologist."

Das Anästhesie-Informationssystem AIS soll den Anästhesisten bei der Überwachung und Dokumentation des Anästhesieverlaufs unterstützen und ihm dadurch mehr Freiraum für die Beschäftigung mit dem Patienten geben. Durch adäquate Darstellungen der während der Anästhesie relevanten medizinischen

Parameter soll das AIS bei der Diagnose- und Therapiefindung behilflich sein. Direkte Entscheidungshilfen erhält der Anästhesist von dem Anästhesie-Entscheidungsunterstützungs-System AES (Klocke u.a. 1987), dessen Benutzerschnittstelle in das AIS integriert ist (siehe Abschnitt 4).

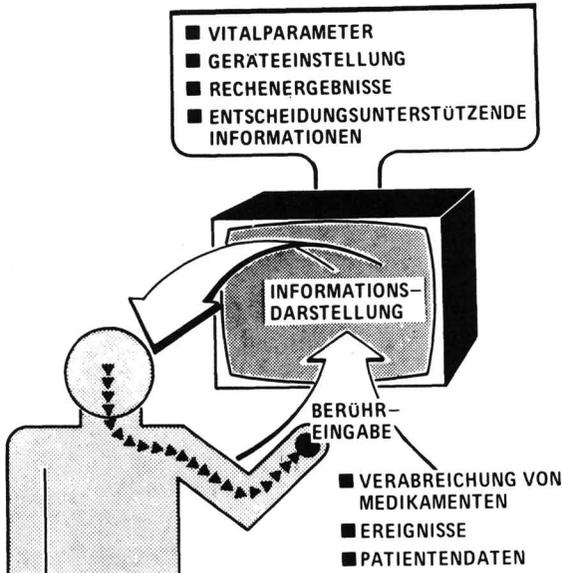
Bei der heute üblichen Anästhesie-Dokumentation werden die relevanten Daten von Hand in mehrere Formulare eingetragen. Informationen über den Patientenzustand erhält der Anästhesist von verschiedenen Quellen wie medizin-technische Geräte, Blutgasanalysen, direkte Beobachtung des Patienten etc.

Die Entwicklung eines computergestützten Informationssystems für einen intensivmedizinischen Anwendungsbereich wie die Anästhesie erfordert die Gestaltung einer an die Arbeitsumgebung und die ärztlichen Tätigkeiten angepaßten Mensch-Rechner Schnittstelle. Diese darf dem Benutzer keine Kommunikationsbarriere (Oberquelle 1983) entgegenstellen, sondern sie muß die gewünschten Informationen über den Patientenzustand und die für den Dialog benötigten Interaktionsfunktionen in geeigneter Weise präsentieren. Zur Konstruktion ergonomisch gestalteter Mensch-Rechner Schnittstellen ist eine intensive Zusammenarbeit zwischen Systementwicklern und zukünftigen Benutzern notwendig (Bernotat und Rau 1980). Das Anästhesie-Informationssystem AIS sowie das Anästhesie-Entscheidungsunterstützungs-System AES entstanden daher in Zusammenarbeit zwischen dem Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik und der Abteilung für Anästhesiologie am Klinikum in Aachen.

Die Dialog-Schnittstelle des AIS

Die Interaktion zwischen Anästhesist und AIS erfolgt ausschließlich über einen berührempfindlichen Farbmonitor (Rau 1979). Vitalparameter des Patienten wie Blutdruck, Puls etc. werden in einem Fenster auf dem Monitor angezeigt. Die für die Eingabe von Daten erforderlichen Bedienelemente wie Tasten und Werteschieber stellt das System auf demselben Monitor graphisch dar. Die Betätigung dieser sogenannten virtuellen Bedienelemente geschieht durch Berühren der Bildschirmoberfläche, d.h. durch Zeigen mit dem Finger auf die gewünschte Information. Die Interaktionstechnik der direkten Manipulation (Shneiderman 1982) durch Berühreingabe (Rau und Trispel 1982) ermöglicht die Inte-

Bild 1: Integration von Informationseingabe und -darstellung durch Verwendung einer Touch Input Dialogschnittstelle (nach Klocke u.a. 1984)



gration von Informationseingabe und -darstellung (Bild 1). Untersuchungen über Handlungs- und Entscheidungsabläufe des Anästhesisten (Redecker 1985) haben u.a. gezeigt, daß direkte Manipulation durch Berührungseingabe (Touch Input) für die Anforderungen der Anästhesieüberwachung eine geeignete Interaktionsform ist.

Bei der Gestaltung einer Touch Input Schnittstelle muß die Syntax und die Semantik der Interaktions- und Informationsdarstellungsfunktionen in Einklang mit der Technik "Berührungseingabe" gebracht werden, um ihre Eigenschaften vorteilhaft zu nutzen. Am Beispiel der AIS-Dialogschnittstelle werden einige Gestaltungsprinzipien für die Interaktion und Informationsdarstellung bei direkter Manipulation vorgestellt.

Für die Darstellung wird beim AIS ein Farb-Raster-Graphiksystem mit einer Auflösung von $512 * 512$ Bildpunkten und 8 Bit Speichertiefe verwendet. Der Farbmonitor hat eine Größe von 19 inch, die Auflösung der Berührungseingabe beträgt 2 mm.

Die während der Operation vom Anästhesisten benötigten

Informationen sind auf mehrere Bildseiten verteilt, wobei alle Seiten dasselbe Layout besitzen. Dies bewirkt beim Seitenwechsel eine "optische Beruhigung" und gibt dem Benutzer ein Sicherheitsgefühl, da er vor dem "Umblättern" bereits weiß, wo sich die gesuchten Informationen oder Bedienelemente auf der neuen Seite befinden. Dies entspricht einer Codierung durch den "Ort" (allocation). Die Struktur der Bildseiten ist planar (d.h., es gibt keine Hierachiestufen wie bei menügesteuerten Schnittstellen), wobei von einer übergeordneten Verteilerseite jede Seite in einem Schritt erreicht werden kann. Ebenso kann die Verteilerseite von jeder Seite aus aufgeschlagen werden. Bestimmte Seiten können auch direkt von anderen erreicht werden. Für den Wechsel zu einer beliebig ausgewählten anderen Bildseite werden somit maximal zwei Schritte benötigt. Ein "Verirren" in tiefgeschachtelten Menüs ist nicht möglich, da die Verteilerseite immer direkt erreichbar ist.

Jede Seite des AIS hat die in Bild 2 dargestellte Struktur. Zentrale Komponente ist das "Patientenzustandsfenster". Links neben dem Fenster befinden sich 9 Tasten, denen medizinische Parameter zugeordnet sind. Unterhalb des Fensters und der Parametertasten sind digital und analog arbeitende, virtuelle Bedienelemente zur Dateneingabe sowie Verzweigungstasten zu anderen Seiten angeordnet. Alle Interaktionsseiten, d.h. Seiten, die für die Anästhesiedokumentation benötigt werden, sind nach diesem Schema aufgebaut. Beim Seitenwechsel werden lediglich den 9 Funktionstasten andere Parameter zugeordnet.

Informationsdarstellung

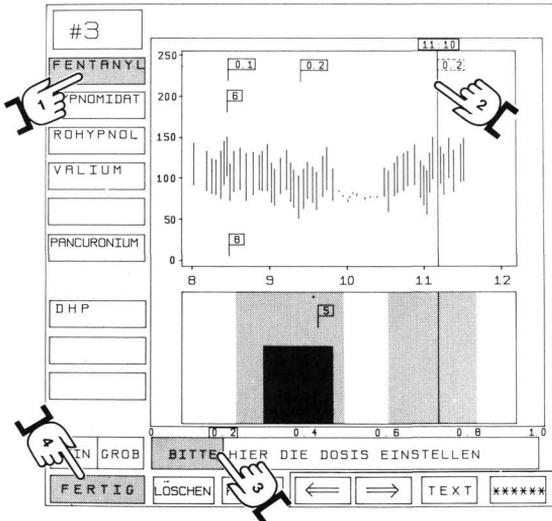
Das Patientenfenster zeigt von links nach rechts den zeitlichen Ablauf der Anästhesie. Der Verlauf der Vitalparameter (die Vektoren im oberen Teil des Fensters repräsentieren systolische und diastolische Blutdruckwerte) wird während der Operation automatisch aufgezeichnet. Die aktuelle Zeit wird durch die Position der Zeitlinie (Bild 2: Hand 2) repräsentiert.

Ebenfalls im Patientenfenster dargestellt werden die Therapiemaßnahmen des Anästhesisten. Die zu einem Parameter eingetragenen Daten sind als Fähnchen mit Digitalwert in dem Fenster zu sehen. Die Fähnchenstange repräsentiert den Zeitpunkt der Maßnahme. Der logische Zusammenhang zwischen Patientenvariablen

und Therapiemaßnahmen wird durch diese Overlaydarstellung graphisch verdeutlicht, so ist erkennbar, daß die Gabe von 0.1 mg Fentanyl um etwa 8.30 Uhr einen Blutdruckabfall bewirkte.

Bild 2: Beispiel eines Touch Input Dialogzyklus:

- Hand 1: Auswahl des Parameters Fentanyl
 - Hand 2: Verschieben der Zeitlinie auf 11.10 Uhr
 - Hand 3: Einstellen des Werteschiebers auf 0.2 mg
 - Hand 4: Abschluß des Dialogzyklus durch die FERTIG-Taste
- (nach Klocke u.a. 1986)



Interaktion

Die Protokollierung einer Therapiemaßnahme, wie "das Medikament Fentanyl wurde dem Patienten um 11.10 Uhr mit der Dosis 0.2 mg gegeben", erfolgt nach dem in Bild 2 dargestellten Schema. Das Patientenfenster dient, wie das Beispiel zeigt, nicht nur der Informationsdarstellung, vielmehr beinhaltet es mit der Zeitlinie auch ein analogbewegliches Bedienelement zum Einstellen der Zeit. Die Zeit läßt sich praktisch stufenlos einstellen durch Verschieben der Zeitlinie auf dem Bildschirm. Die Position der Zeitlinie ist der aktuelle Bezugspunkt des Systems. Die Aufmerksamkeit des Benutzers soll in diese Region des Patientenfensters gelenkt werden, da hier der aktuelle Patientenzustand repräsentiert ist. Eine wichtige Eigenschaft der Zeitlinie besteht darin, daß sich der Anästhesist bei der

Zeiteinstellung sowohl an dem Digitalwert der Zeitlinie als auch am Verlauf der Vitalparameter orientieren kann, d.h.: um 11.10 Uhr wurde Fentanyl verabreicht, oder beim vorletzten Blutdruckabfall wurde Fentanyl verabreicht. Die Orientierung am Verlaufsmuster wird von Anästhesisten bevorzugt, da bei nachträglichen Eintragungen der genaue Zeitpunkt meist nicht mehr bekannt ist, wohl aber das Muster der Vitalparameterdarstellung, denn hierauf war u.a. die Therapieentscheidung begründet. Die direkte Manipulationsmöglichkeit der Zeitlinie unterstützt damit diese Vorgehensweise.

Alle Interaktionsfunktionen des AIS basieren auf dem in Bild 2 gezeigten einfachen Interaktionsschema. Der Benutzer muß sich keine Syntaxstrukturen wie bei einer Kommandosprache einprägen. Er lernt die Interaktion durch "spielerischen" Umgang mit dem System. Dabei unterstützt das AIS den Benutzer durch Verwendung von Farbintensitätscodes für verschiedene Zustände von Bedienelementen (Benutzerführung); es gilt: dunkle Farbintensität = Taste ist nicht aktivierbar, mittlere Farbintensität = Taste ist aktivierbar, helle Farbintensität = Taste ist aktiviert. Beim Berühren eines aktivierbaren Bedienelementes ändert sich spontan seine Farbintensität; ein leiser Ton gibt dem Benutzer zusätzlich eine akustische Rückmeldung. Das Berühren einer nicht aktivierbaren Taste wird vom System ignoriert. In Abhängigkeit vom momentanen Dialogzustand gibt das System durch Veränderung der Farbcodes Gruppen von Bedienelementen für die Eingabe frei oder sperrt sie. Der Benutzer sieht somit vor dem Dialog, welche Tasten aktivierbar bzw. nicht aktivierbar sind.

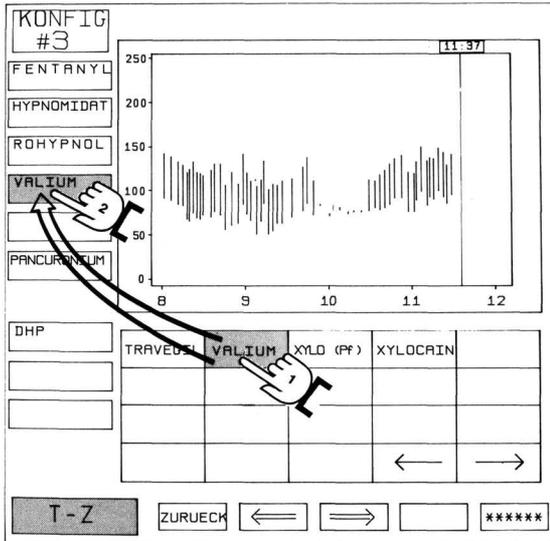
Ein Fehlermanagement, wie es bei Kommandosprachen zur Kontrolle der Eingabesyntax erforderlich ist, entfällt beim AIS. Syntaktisch falsche Eingaben sind aufgrund der Benutzerführung von vornherein ausgeschlossen. Realisiert ist die Benutzerführung durch endliche deterministische Automaten, wobei das Berühren einer (nicht) aktivierbaren Taste einem in der Überföhrungsfunktion (nicht) definierten Zustandsübergang entspricht.

Konfigurierung der Informationsstruktur

Das AIS bietet dem Benutzer die Möglichkeit, eine persönliche Informationsstruktur an der Dialogschnittstelle selbst aufzubauen (Konfigurierung) und diese bei jeder Benutzung

des Systems wieder zu verwenden. Ziel der Konfiguration ist es, die Inhalte der Interaktionsseiten, d.h. die Zuordnung von Parametern zu Seiten und Funktionstasten, so festzulegen, wie es der persönlichen Arbeitsweise entspricht. Auf diese Weise können Parameter zu für bestimmte Operationstypen sinnvollen Gruppen auf einer Bildseite zusammengefaßt werden.

Bild 3: Konfigurierung des Parameters "Valium":
 Hand 1: Auswahl des Parameters
 Hand 2: Zuordnung des Parameters zu einer Taste

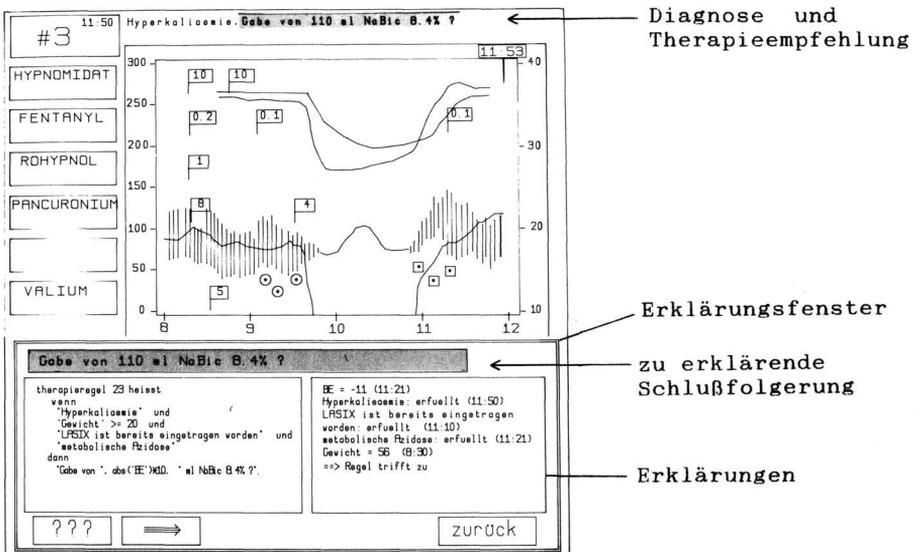


Eine bereits konfigurierte Struktur läßt sich während der Arbeit mit dem System jederzeit verändern, z.B. um zur Erhöhung der Übersichtlichkeit nicht benötigte Parameter von Bildseiten zu entfernen. Nach der Verzweigung zur Konfigurationsseite werden alle dem System bekannten und zu einer vorher spezifizierten Buchstabengruppe (in Bild 3: "T-Z") gehörenden Parameter eingabelndet. Die Auswahl erfolgt, wie in Bild 3 schematisch dargestellt, durch Zeigen mit dem Finger. Nach Beendigung der Konfigurierung wird mit der Taste "ZURUECK" zur entsprechende Interaktionsseite verzweigt. Das Vitalparameterfenster bleibt während der Konfiguration erhalten. Eine ständige Sicht auf den Patientenzustand ist damit gewährleistet.

Der Dialog mit dem Expertensystem AES

Das AIS kann mit einem Anästhesie-Entscheidungsunterstützungs-System "AES" (Klocke u.a. 1987) gekoppelt werden. Das AES hat die Aufgabe, den Anästhesieverlauf zu "beobachten" und im Fall einer erkannten Störung des Patientenzustandes dem Anästhesisten einen Diagnosehinweis oder eine Therapieempfehlung zu liefern. Alle Informationen, die das AES für Schlußfolgerungen benötigt, erhält es aus der Datenbasis des AIS (intern wird hieraus ein aktueller Zustandsraum aufgebaut) und aus einer regelbasierten medizinischen Wissensbasis.

Bild 4: Erklärungsseite des Expertensystems AES



Kommt das AES zu einer Schlußfolgerung, so wird diese als Text über dem Patientenfenster des AIS dargestellt (Bild 4). Wünscht der Anästhesist die Erklärung eines Diagnose- oder Therapiehinweises, so kann er von jeder AIS-Interaktionsseite aus das Erklärungsfenster öffnen und dort direkt mit der Erklärungskomponente des AES kommunizieren. Nach Auswahl der zu erklärenden Schlußfolgerung (Bild 4) wird die "???"-Taste betätigt, worauf das AES im linken Fenster die in der Schlußfolgerungskette zuletzt gefeuerte Regel darstellt (Bild 4: Therapieregul 23). Im rechten Fenster wird der für die Schlußfol-

gerung relevante Ausschnitt des AES-Zustandsraumes dargestellt. Über die Taste ZURUECK wird das Erklärungsfenster geschlossen.

Ergebnisse und Diskussion der Erprobung

AIS und AES werden in einem kariochirurgischen OP im Aachener Neuen Klinikum bei Herzoperation parallel zur herkömmlichen Anästhesiedokumentation (Papier-Bleistift) eingesetzt. Durch die hierbei gewonnenen Erfahrungen können Erweiterungen und Modifikationen der Systemfunktionen und der Dialogschnittstelle mit dem AIS-Laborsystem schnell realisiert und kurze Zeit später in realer OP-Umgebung erneut getestet werden. Ungünstige Informationsdarstellungen oder nicht gut handhabbare Interaktionsfunktionen werden so schrittweise in Zusammenarbeit mit den Benutzern optimiert. Die schnelle Adaptionsmöglichkeit hat die Akzeptanz des Systems durch Anästhesisten und Pflegepersonal wesentlich erhöht, denn es wurde keine Dialogschnittstelle vorgegeben, sondern gemeinsam mit zukünftigen Benutzern erarbeitet und an deren Wünsche angepaßt. Positiv bewertet wurde der einfache und ohne Handbuch zu erlernende Dialog mit dem System. Die Konfigurierbarkeit gibt dem Benutzer das Gefühl: "Das ist meine ganz persönliche Dialogschnittstelle, die ich selbst auf meine Arbeitsweise zugeschnitten habe."

Zu Beginn der Erprobungsphase zeigte sich, daß auf die ursprünglich nicht vorgesehene Klartexteingabe nicht verzichtet werden kann. Es wurde daher eine virtuelle Tastatur entworfen, die von jeder Interaktionsseite aus direkt aufgerufen werden kann (siehe Bild 2: Taste TEXT). Der Anästhesist kann mit Hilfe dieser Tastatur bereits vor Beginn der Operation u.a. Patientendaten wie Name, Alter etc. in das System eingeben.

Die begonnene Überprüfung des beschriebenen Ansatzes hat bereits jetzt gezeigt, daß die medizinischen Benutzer des AIS als "Computerlaien" in bestem Sinne die Möglichkeiten des Systems sehr rasch beherrschen und auch benutzen. Die Benutzung durch die Anästhesisten im OP ist ein Maß für die Akzeptanz, die heuristisch weiter entwickelt werden soll. Das bisher erreichte Ergebnis bestätigt die Notwendigkeit einer sorgfältigen und umfassenden ergonomischen Bearbeitung für die Gestaltung eines so komplexen Mensch-Maschine Systems.

Literatur

- Bernotat, R., Rau, G. (1980): Ergonomics in Medicine. In: Reul, H., Ghista, D.N., and Rau, G., eds. Perspectives in Biomechanics. New York: Harwood Academic Publishers, 381-398
- Gravenstein, J.S. (1982): As for pilots, instrument important. *Engineering in Medicine & Biology* 1(1), 23-25
- Klocke, H., Trispel, S., Rau, G. (1984): Entwicklung einer Mensch-Rechner Schnittstelle für ein Anästhesie-Informationssystem unter Berücksichtigung ergonomischer Gesichtspunkte. *Angewandte Informatik* 5, 197-206
- Klocke, H., Trispel, S., Rau, G., Hatzky, U., Daub, D. (1986): An Anesthesia Information System for Monitoring and Record Keeping during Surgical Anesthesia. *Journal of Clinical Monitoring* 2(4), 246-261
- Klocke, H., Shecke, Th., Jeusfeld, M. et al. (1987): Wissensbasierte Entscheidungsunterstützung mit dem AES. *Proceedings Fachtagung Expertensysteme: Konzepte und Werkzeuge*, Erlangen 7.-8. April 1987, Teubner-Verlag
- Oberquelle, H., Maass, S., Kupka, I. (1983): Schnittstellen als Kommunikationsbarrieren. *Office Management* April 83, 10-12
- Rau, G. (1979): Ergonomische Überlegungen bei der Gestaltung komplexer medizinischer Instrumentierung unter Einsatz von Mikroprozessoren. *Biomedizinische Technik* 24, 10-15
- Rau, G., Trispel, S. (1982): Ergonomic design aspects in interaction between man and technical systems in medicine. *Medical Progress through Technology* 9, 153-159
- Redecker, Th. (1985): Untersuchung von Handlungs- und Entscheidungsabläufen zur Strukturierung eines Informationssystems unter Berücksichtigung ergonomischer Aspekte. Pfaffenweiler: Centaurus-Verlagsgesellschaft
- Shneiderman, B. (1982): The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. *Behavior and Information in Technology* 1(3), 237-256

Heiner Klocke

Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik

Pauwelsstraße

D-5100 Aachen