

KfK 3234  
Oktober 1981

# **Der Faktor Mensch beim Betrieb von Kernkraftwerken mit besonderer Berücksichtigung von Krisensituationen**

H. Schnauder, D. Smidt  
Institut für Reaktorentwicklung

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Institut für Reaktorentwicklung

KfK 3234

Der Faktor Mensch beim Betrieb von Kernkraftwerken mit  
besonderer Berücksichtigung von Krisensituationen<sup>+)</sup>

H. Schnauder, D. Smidt

<sup>+)</sup>  Diese Studie wurde vom BMI als Forschungsvorhaben  
SR 246 unterstützt

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH., Karlsruhe

© 2003 by the author(s).  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the author(s).

1/2003

**Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003**

© 2003 by the author(s). All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the author(s).

## Kurzfassung

Menschliches Verhalten beim Betrieb von Kernkraftwerken wird heute als wesentlicher Faktor in die Sicherheitsnachweise mit einbezogen. Durch ergonomische Wartengestaltung, Automatisierung, klar formulierte Betriebshandbücher und entsprechende Ausbildung und Training des Personals wird eine erhebliche Reduzierung des Einflusses menschlichen Fehlverhaltens erreicht. Diese Vorkehrungen zielen hauptsächlich auf den Bereich des fertigkeit- und regelbedingten Handelns und sind auf den normalen Betrieb und auf die Auslegungstörfälle hin ausgerichtet. Daneben läßt sich ein Bereich ungewöhnlicher und seltener Ereignisse konstruieren, bei denen noch ein teilweises Versagen des Sicherheitsschirms unterstellt wird. Dieses ist der Bereich, der überwiegend kenntnisbedingtes Handeln erfordert.

Der Bericht beschreibt zunächst den Stand in heutigen Kernkraftwerken. Er gibt eine Bewertung und zeigt auf, wo weitere Forschungsaktivitäten empfehlenswert sind. Als wichtigstes Ergebnis unterbreitet er Vorschläge, wie sich Verbesserungen im Bereich des kenntnisbedingten Handelns erzielen lassen.

## Abstract

### The Human Factor in Operating Nuclear Power Plants during Crisis Situations

Human factors in nuclear power plant operation are a main part of safety analyses. A considerable reduction in the influence of human factors has been obtained through ergonomic control room design, automation, clearly formulated operating manuals, and appropriate personnel education and training. These precautions are directed primarily at skill- and rule-based behaviour and are intended for normal operation and design accidents. In addition, one can construct an area of uncommon and very rare events where a partial failure of the safety systems is assumed. This is an area of knowledge-based behaviour. This report describes and assesses the present situation in German nuclear power plants. Recommendations for further research activity are made and, as a main result, for improvements in knowledge-based behaviour.

## I N H A L T

	Seite
1. Einleitung	1
2. Überblick über die verschiedenen Aspekte des menschlichen Verhaltens in Verbindung mit dem sicheren Betrieb eines Kernkraftwerkes	2
3. Personalauswahl	16
4. Organisation und Führungsstruktur	21
5. Ausbildung	25
6. Ergonomische Wartengestaltung	30
7. Diagnosehilfen in der Warte	60
8. Automatisierung	67
9. Streß und menschliches Fehlverhalten	69
10. Ein Trainingskonzept für das kenntnisbedingte Handeln	73
11. Empfehlungen für weitere Forschungsarbeiten	77

## 1. Einleitung

Die hier vorliegende Studie wurde im August 1980 als BMI-Forschungsvorhaben SR-246 "Menschliches Fehlverhalten und Automation in Kernkraftwerken" begonnen. Der BMI finanzierte dabei lediglich die Reisekosten, den Ispra-Kurs und den Simulatorkurs der Verfasser.

Es wurden 3-6stündige Diskussionen mit den Kraftwerks- bzw. Betriebsleitern und den für den Betrieb verantwortlichen Abteilungsleitern der Kernkraftwerke Biblis, Brunsbüttel, Grafenrheinfeld und Neckarwestheim geführt, wobei eine strukturierte Fragenliste zugrunde lag.

Entsprechend ausführliche Diskussionen fanden mit den maßgeblichen Herren der BBC/BBR und der KWU statt.

Weiterhin besuchten wir die Entwicklungsgruppe für die Wartentechnik in Halden und die GRS-Arbeitsgruppe in Garching, die sich mit der STAR-Entwicklung befaßt. Im flugmedizinischen Institut der DFVLR in Hamburg, das für die Eignungsprüfungen der Lufthansa zuständig ist und mit Herrn Prof. Dr. Burkardt, Psychologisches Institut der Universität Frankfurt, konnten ebenfalls Gespräche geführt werden.

Einer von uns (Schnauder) nahm ferner an dem Kurs "Training of Operating Personnel for Technologies with Hazard Potential: Theorie and Practice" in Ispra teil.

Schließlich absolvierten wir einen einwöchigen Simulatorkurs an der Kraftwerksschule Essen.

Wir stellten bald fest, daß die ursprüngliche Fragestellung "Menschliches Fehlverhalten und Automation" rasch in den Hintergrund trat, weil erst einmal geklärt werden mußte, wie sich der Mensch überhaupt in komplexen Situationen verhält (und nur in solchen sind Konflikte mit der Automatik denkbar). Die Literatur hierzu ist zwar umfangreich, aber von einigen Ausnahmen abgesehen nicht sehr ergiebig. Dennoch ist es wichtig, bald praktische Schritte auszuarbeiten, die möglichen Problemen vorbeugen, und konkrete Wege vorzuschlagen, die Ausbildung des Personals der Kernkraftwerke auch für kritische Situationen zu optimieren.

Für das wichtigste Ergebnis unserer Arbeit halten wir deshalb den in Kap. 10 dargestellten Vorschlag für ein Trainingssystem im Bereich des sog. kenntnisbedingten Handelns.

Daneben gehen wir nach einem Überblick über die allgemeine Problematik im 2. Kapitel in den Kap. 3-8 auf verschiedene Einzelaspekte ein, die wir beobachtet haben. Mit Hinweis auf den geringen Aufwand für diese Untersuchung erheben wir nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Wir haben uns um eine knappe Darstellung bemüht und versuchen, konkrete Vorschläge für weitere Forschungsarbeiten zu machen.

Im 9. Kapitel gehen wir dann genauer auf das Streßproblem ein, wobei aus der Fülle der Literatur wieder nur wenige Arbeiten weitergeholfen haben, um dann zur Nutzenanwendung im 10. Kapitel überzuleiten.

Im 11. Kapitel haben wir nochmals unsere Empfehlungen für weitere Forschungsarbeiten zusammengestellt.

Alle unsere Gesprächspartner sind uns mit außerordentlicher Bereitwilligkeit und Offenheit entgegengekommen. Wir haben den Eindruck, daß gerade bei den Betreibern der Kernkraftwerke der Wunsch nach stetig verbesserten Trainingsverfahren sehr groß ist.

Wir haben diesen Bericht vor der Veröffentlichung unseren Gesprächspartnern zur Kritik vorgelegt. Wir möchten allen Beteiligten für die Unterstützung danken.

## 2. Überblick über die verschiedenen Aspekte des menschlichen Verhaltens in Verbindung mit dem sicheren Betrieb eines Kernkraftwerkes

Der Faktor Mensch spielt beim Bau und Betrieb eines Kernkraftwerkes ganz allgemein in den folgenden drei Bereichen, die sich teilweise auch überschneiden, eine Rolle:

- Planung und Bau der Anlage,
- Prüfung und Instandhaltung,
- Betrieb.

In allen Bereichen ist die grundsätzliche Möglichkeit menschlichen Fehlverhaltens in die Sicherheitsnachweise einzubeziehen. Der vorliegende Bericht beschränkt sich auf den letzten der drei genannten Punkte und ist deshalb ausschließlich auf das Personal in der Warte beschränkt, das die Anlage im Normalbetrieb fährt und gegebenenfalls bei auftretenden Störungen die geeigneten Gegenmaßnahmen ergreifen muß. Das Erkennen und Bewältigen von krisenhaften Situationen ist dabei von besonderem Interesse.



## 2.1 Die grundsätzliche Struktur der menschlichen Tätigkeit beim Betrieb eines Kernkraftwerkes

Die Betriebsmannschaft der Anlage (im folgenden auch als Operateure bezeichnet) hat die Aufgabe, laufend den Zustand des Kraftwerkes zu erkennen und, wenn notwendig, die erforderlichen Aktionen auszuführen, die den jeweils gewünschten Betriebszustand herstellen. Bei Störungen hat die Betriebsmannschaft dafür zu sorgen, daß die Sicherheit der Anlage und der Umgebung mit der erforderlichen Zuverlässigkeit gewährleistet ist.

Zur Durchführung dieser Aufgabe steht ihr in der Warte in Gestalt der Anzeigen der Instrumente und Schreiber, der Anzeigelampen und der über die Meldeschlitze bzw. über den Rechner kommenden Meldungen eine Abbildung des Anlagenzustandes zur Verfügung. Die Operateure müssen den so gegebenen Wartenzustand auf den tatsächlichen Anlagenzustand umsetzen und daraus gegebenenfalls die erforderliche Aktion herleiten.

Abb. 2.1 zeigt diese Beziehung in schematischer Form. Zu einem Zeitpunkt  $t_1$  liegt ein bestimmter Zustand der Warte vor, aus dem auf den Anlagenzustand zum gleichen Zeitpunkt geschlossen werden kann. Man kann dies als eine formale Abbildung oder in allgemeinerer Sprechweise als Diagnose bezeichnen. Mit Hilfe der in der Warte verfügbaren Informationen wird der Anlagenzustand diagnostiziert. Man kann deshalb die einzelnen Wartensignale auch als Symptome bezeichnen.

Zur Diagnose gehört dann eine Prognose für den zu erwartenden Anlagenzustand zu einem Zeitpunkt  $t_2 > t_1$ , sei es als Ergebnis der erfolgten Aktion, sei es als Ergebnis der Dynamik des Anlagezustandes selbst. Aus dem erwarteten

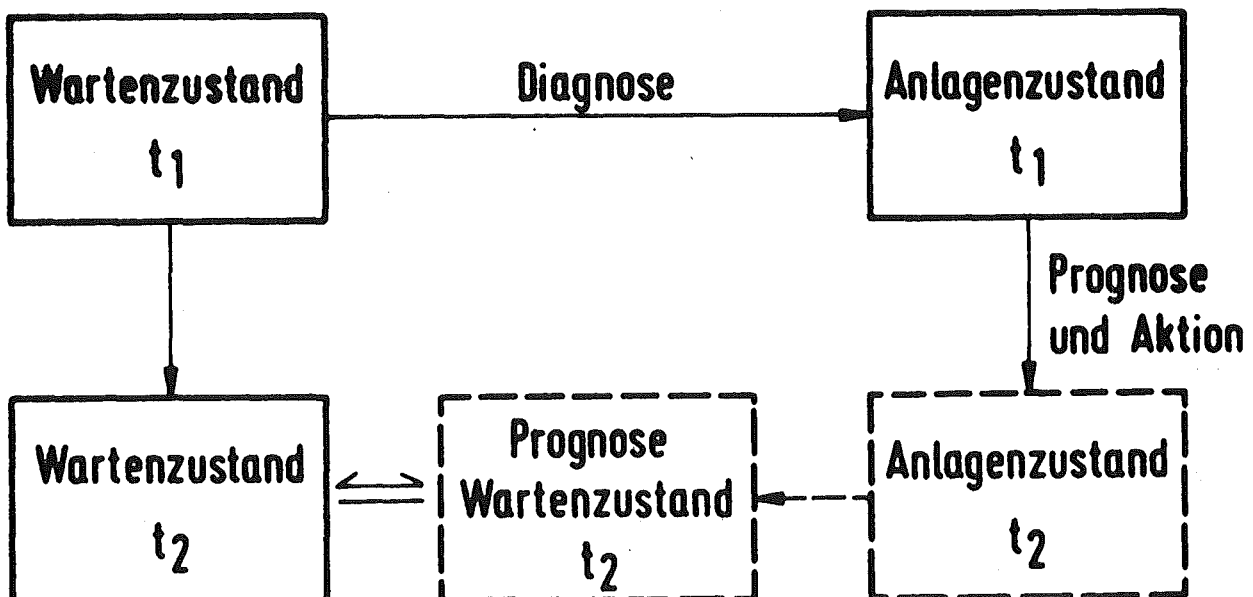


Abb. 2.1 Die menschliche Tätigkeit im KKW-Betrieb als Regelkreis

Anlagenzustand für  $t_2$  muß ein entsprechender Wartenzustand für  $t_2$  hergeleitet werden, und dieser hergeleitete Zustand muß mit dem tatsächlichen Wartenzustand zum Zeitpunkt  $t_2$  verglichen werden. Diagnoseaktion und Prognose sind also Teil eines geschlossenen Regelkreises.

Zum besseren Verständnis des Diagnoseprozesses und der Besonderheiten, die dabei den Menschen auszeichnen, soll zunächst der Diagnoseprozeß in einer vereinfachten Form mathematisch formalistisch dargestellt werden. Wir werden diese Formulierung später nicht weiter benutzen und keine tiefergehenden Schlüsse daraus ziehen, sie erhellt aber das Verständnis bestimmter Aspekte und erlaubt auch eine Abgrenzung zwischen der Diagnose, wie sie etwa durch das Reaktorschutzsystem durchgeführt wird.

Wir benutzen dabei den Formalismus der sogenannten "fuzzy"-Algebra, die von Shahinpoor und Wells [46] erstmals im Hinblick auf die Anwendung in der Reaktorsicherheit dargestellt wurde.

Es bezeichne  $A$  den Zustand der Anlage. In der Warte werde dieser Anlagenzustand durch ein Indiz  $I_A$  angezeigt. Dieses Indiz liegt dann vor, wenn bestimmte Meßwertabweichungen (Symptome)  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$  in der Warte vorliegen. Zur Vereinfachung sagen wir, daß diese Meßwertabweichungen entweder vorliegen ( $x_i = 1$ ) oder nicht vorliegen ( $x_i = 0$ ). Es besteht dann die folgende Beziehung

$$I_A = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + \dots \quad (2.1)$$

Die  $a_i$  sind Gewichtungsfaktoren und derart normiert, daß bei  $I_A \geq 1$  der Zustand  $A$  mit Sicherheit vorliegt.

Wir betrachten zunächst das klassische Beispiel des Kühlmittelverluststörfalls, so wie er durch den Reaktorschutz erkannt wird:

Es sei

$x_1 = 1$  das Absinken des Kühlmitteldrucks.

$x_2 = 1$  das Ansteigen des Containmentdrucks.

$x_3 = 1$  das Absinken des Druckhalterwasserstandes.

In der üblichen Logik des Reaktorschutzes gilt dann  $a_1 = a_2 = a_3 = \frac{1}{2}$ , so daß jeweils das Vorliegen von zwei der drei Symptome die Diagnose Kühlmittelverlust ergibt. +)

+ ) Nach Aussage der BBR gilt dort  $a_1 = a_2 = a_3 = 1$ , d. h. durch eines der Symptome allein wird bereits die Diagnose erfüllt.

Wenn nicht die Automatik, sondern der Mensch die Diagnose stellt, sind weder Symptome noch Gewichtungsfaktoren in dieser Schärfe festgelegt. Auch Werte der  $x_i$  zwischen 0 und 1 könnten wahrgenommen werden und bereits die Diagnose ermöglichen oder doch vorbereiten. Auf diese Weise ist es dem Menschen grundsätzlich möglich, bereits vor dem Eingreifen der Sicherheitssysteme betriebliche Störungen zu erkennen und größere Folgen zu verhindern. Andererseits kann es aber auch sein, daß die Gewichtungsfaktoren, wie sie der Mensch im Prinzip benutzt, unrichtig sind. Die übergroße Bedeutung, die beim TMI-2-Vorfall dem Druckhalterwasserstand zugemessen wurde, ist ein typisches Beispiel.

Man erkennt hier, daß beliebige Zwischenwerte für  $I_A$  möglich sind.  $I_A = 0,9$  würde etwa bedeuten, daß es bereits sehr starke Hinweise auf das Vorliegen des Zustandes A gibt, daß aber eine letzte Bestätigung noch aussteht.

Die Variablen dieser Beziehung sind also unscharf, "fuzzy", und es muß eine besondere formale Vorgehensweise entwickelt werden, um aus derartigen unscharfen Indizien entsprechende Maßnahmen herzuleiten. Entsprechende Beziehungen wie Gl. 2.1 kann man nun auch für die Anlagenzustände B, C usw. herleiten und es ergibt sich so ein Gleichungssystem

$$\begin{aligned} I_A &= a_1 x_1 + \dots + a_i x_i + \dots \\ I_B &= b_1 x_1 + \dots + b_i x_i + \dots \\ I_C &= c_1 x_1 + \dots + c_i x_i + \dots \end{aligned} \quad (2.2)$$

Gl. 2.2 läßt sich als algebraische Beziehung zwischen einem Zustandsvektor  $\underline{I}$  und einem Symptomvektor  $\underline{x}$  schreiben:

$$\underline{I} = \underline{a} \underline{x} \quad (2.3)$$

wobei  $\underline{a}$  die Matrix der Gewichtungsfaktoren bedeutet, die sich aus der Analyse der Anlagenzustände oder auch aus der Betriebserfahrung ergeben. Die Diagnose in der Warte läuft dann darauf hinaus, aus einem gegebenen Symptomvektor  $\underline{x}$  die größte Komponente des Zustandsvektors  $\underline{I}$  zu bestimmen, die auf den mit der größten Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Anlagenzustand hinweist. Die Gl. 2.3 läßt sich auch umkehren, so daß die Symptomkomponenten

$x_i$  bestimmt werden können, die zu einem bestimmten Anlagezustand gehören. Eine solche Inversion würde beispielsweise bei dem mit der Prognose nach Abb. 2.1 verbundenen Rückschluß auf den neuen Wartenzustand erforderlich werden. Es gibt Algorithmen, die eine derartige Inversion eines Gleichungssystems mit unscharfen Variablen auszuführen erlauben [47, 48].

In Wirklichkeit haben wir es mit sich in der Zeit ändernden Vorgängen zu tun. Symptome und Anlagenzustände sind durch eine große Anzahl zusätzlicher, letztlich physikalischer Beziehungen miteinander verknüpft und die Hoffnung, auf diesem Wege zu einer angemessenen Behandlung des Problems zu kommen, ist deshalb sehr gering. Die Betrachtung erlaubt aber deutlich zu machen, wie der Mensch das Diagnoseproblem angeht.

## 2.2 Vorgehensweise des Menschen

Der Mensch merkt sich die Beziehung zwischen den einzelnen angezeigten Größen, den Symptomen, und dem Anlagenzustand sicherlich nicht in Form einer Matrixbeziehung. Die assoziative und die hierarchische Organisation des menschlichen Gedächtnisses erlaubt es, Zusammenhänge auf verschiedenen Ebenen der Abstraktion und bei Berücksichtigung vielfältiger Zusammenhänge festzuhalten. So wird der Systemzusammenhang der Anlage auf dem Hintergrund der funktionalen Wechselwirkung festgehalten, während die ablaufenden Prozesse mit den dahinter liegenden allgemeinen physikalischen Gesetzen verbunden werden. So ist der Mensch in der Lage, zumindest in qualitativer Form die systembedingte Wechselwirkung auch im zeitlichen Ablauf zu erfassen und zu lernen. Aufgrund seiner Fähigkeit, verwandte Elemente in verschiedenen Prozeßzusammenhängen zu identifizieren, kann er aufgrund seines allgemeinen physikalischen Wissens auch Diagnosen aus solchen Symptomkombinationen stellen, die er noch nie zuvor in dieser Konfiguration erlebt hat. An dieser Stelle liegt gerade bei den für ein Kernkraftwerk geltenden Bedingungen die Überlegenheit des Menschen über die Störung automatischer Einrichtungen; hier liegt aber auch die Ursache für sein typisches Fehlverhalten. Neben der Fähigkeit, vom Besonderen auf das Allgemeine zu abstrahieren, spielt hier sicherlich auch das anschauliche Vorstellungsvermögen des Menschen eine Rolle.

Die Warte eines Kernkraftwerkes zeichnet sich gegenüber anderen Steuerungscentren, so etwa auch dem Cockpit eines Verkehrsflugzeuges, dadurch aus, daß

entsprechend dem Umfang der Anlage hier sehr viele Informationen bzw. Anzeigen ankommen. Bei einem modernen Druckwasserreaktor deutscher Bauart gibt es in der Warte etwa:

1500	Anzeigeeinstrumente
150	Schreiber
8000	Anzeigelampen
5500	Zustands- oder Ereignismeldungen.

Im Prinzip sind Kombinationen derartiger Symptome in astronomischer Größe möglich. Wenn auch die meisten keine besondere Relevanz haben, bleibt dennoch eine sehr große Anzahl übrig, die eine Vorherbestimmung aller wesentlichen Möglichkeiten praktisch ausschließt. So beschränkt man sich zunächst darauf, durch redundante und diversitäre automatische Maßnahmen dafür zu sorgen, daß unter allen Umständen der Reaktorkern ausreichend gekühlt und daß insbesondere der Primärkreis im Falle von Leckagen sicher eingeschlossen ist. Dieser Schirm ist im allgemeinen ausreichend für die Verhinderung massiver Spaltproduktfreisetzungen und ist weitgehend unabhängig vom Verhalten der Betriebsmannschaft. Dies gilt gemäß [24] insbesondere für kurzfristige Aktionen.

Es gibt jedoch zwei Bereiche, wo das richtige Verhalten der Betriebsmannschaft schlechthin entscheidend ist:

- Der Bereich des normalen Betriebs und der vielfältigen Störungen und Störungskombinationen, die zwar wegen der Aktion der Sicherheitssysteme nicht die Umgebung beeinträchtigen, wohl aber den Betrieb der Anlage,
- Störungen, bei denen Sicherheitssysteme über das bei der Auslegung vorgesehene Maß hinaus versagen. Diese Störungen sollen Krisensituationen genannt werden.

In diesen Bereichen kann bei einer Anlage von der Komplexität eines Kernkraftwerkes der Mensch mit seinen spezifischen Fähigkeiten nicht durch automatische Einrichtungen ersetzt werden. In diesen Bereichen ist also im einzelnen zu prüfen, wie der Mensch arbeitet und welche Fehlermöglichkeiten dabei auftreten können.

Je nach Art der zu lösenden Aufgabe sind dabei unterschiedliche kognitive Ebenen eingeschaltet. Goodstein und J. Rasmussen [25] unterscheiden

- a) das fertigkeitenbedingte Verhalten (skill-based)
- b) das regelbedingte Verhalten (rule-based)
- c) das kenntnisbedingte Verhalten (knowledge-based).

Die Fertigkeit betrifft dabei Vorgänge, die oft wiederholt und geübt worden sind und mehr oder weniger automatisch ablaufen. Hierzu gehören bei einem geübten Operateur sicherlich die normalen betrieblichen Abläufe. Die regelbedingten Verhaltensformen sind ebenfalls festgelegt und im Betriebshandbuch beispielsweise durch Ablaufdiagramme dargestellt. Sie betreffen spezielle betriebliche Vorgehensweisen, Vorgehensweisen bei Störungen und bei Störfällen, die der Auslegung zugrunde gelegt sind. Die kenntnisbedingten Vorgehens- bzw. Verhaltensweisen bei der Diagnose und Prognose sind dagegen nicht speziell eingeübt oder festgelegt worden, sondern werden aus der allgemeineren physikalisch-technischen Kenntnis der Anlage und der ablaufenden Prozesse hergeleitet. Abb. 2.2 zeigt den in der genannten Arbeit von Goodstein und Rasmussen dargestellten Zusammenhang der verschiedenen Verhaltensebenen. Während im Bereich des regelbedingten Vorgehens die Diagnose in einem Wiedererkennen der vorher festgelegten Kombination von Symptomen besteht, beinhaltet sie im kenntnisbedingten Bereich zunächst

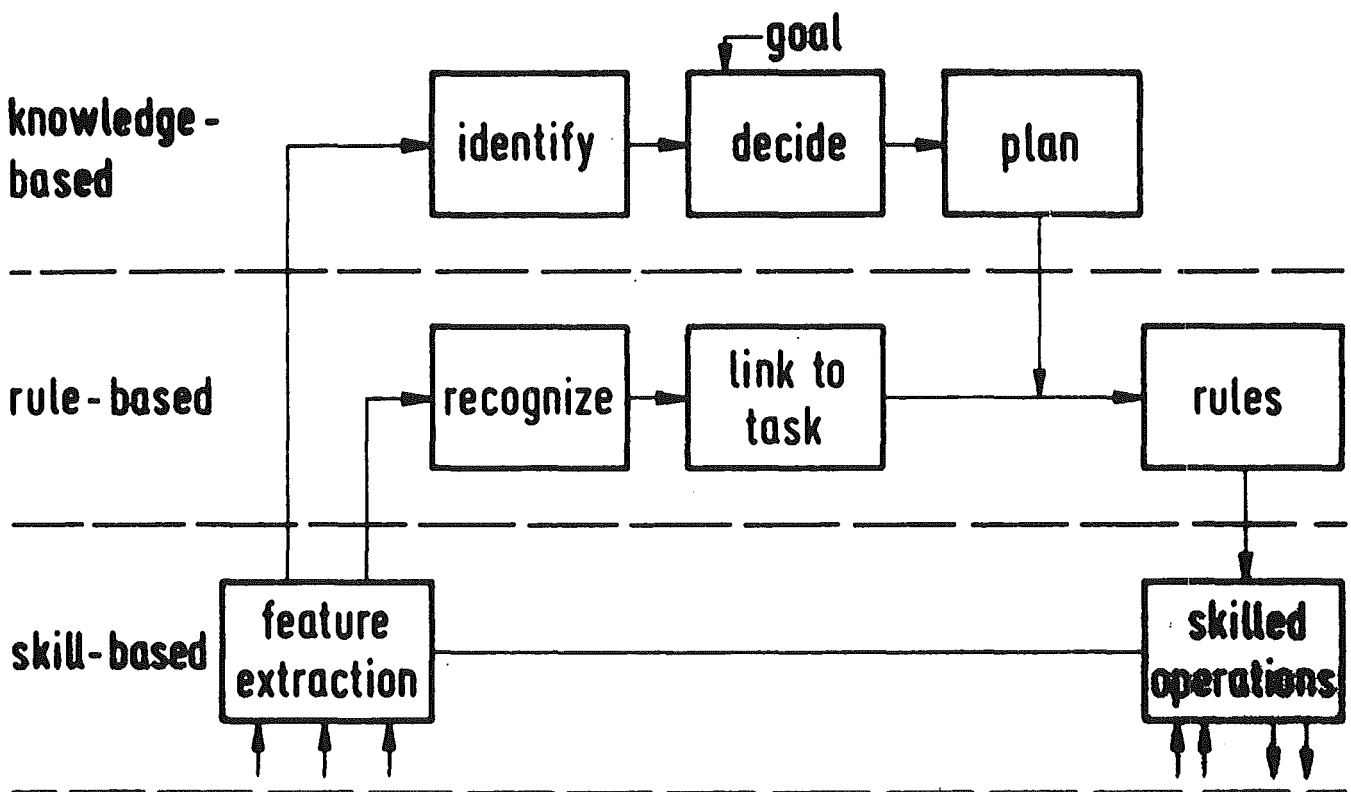


Abb. 2.2 Die drei Kategorien menschlichen Verhaltens beim Betrieb einer komplexen Anlage (nach [25\_7])

eine Identifikation. Die Ausführung des aufgrund der Kenntnis entwickelten Plans bedient sich der Regeln und der Fertigkeiten in der Handhabung der Anlage. Dies setzt allerdings voraus, daß die vorhandenen Regeln (hier als Anweisungen des Betriebshandbuches interpretiert) für den vorliegenden Fall auch geeignet sind. Die vorhandene Tendenz, möglichst viel in schriftlichen Anweisungen zu fixieren, um den Reaktorbetrieb möglichst justitiabel zu machen, könnte sich hier als nachteilig erweisen.

Die Kenntnis, auf der das kenntnisbedingte Handeln basiert, ist keine konstante Größe. Der Mensch baut vielmehr laufend neue Erfahrungen ein, sucht sie zu verallgemeinern und assoziiert sie an die bereits vorhandene Kenntnis. Dies gilt nicht nur für die gezielte Kenntniserweiterung in der Ausbildung, sondern sicherlich auch für die Spezialerfahrungen im Rahmen des fertigungs- und regelbedingten Verhaltens beim normalen Betrieb. So kann es dazu kommen, daß Anzeigen mit sehr unterschiedlichen Gewichten bewertet werden bis hin zu dem Fall, daß bestimmten Anzeigen überhaupt kein Vertrauen geschenkt wird. Wir haben während unseres Simulatortrainings selbst festgestellt, welche große Bedeutung der Druckhalterwasserstand im Rahmen des Normalbetriebs und bei betrieblichen Transienten hat und beobachteten auch bei uns eine starke Tendenz, die entsprechenden Anzeigen bevorzugt zu beachten. Ein derartiger Kenntniszuwachs vollzieht sich individuell, wird u.U. durch die persönliche emotionale Erfahrung verstärkt und muß nicht in jedem Fall mit der allgemeinen gesicherten Erkenntnis in Übereinstimmung stehen. Wir werden deshalb im nächsten Abschnitt daraus Folgerungen für evtl. Fehlermöglichkeiten zu ziehen haben.

Goodstein und Rasmussen [25] weisen auch auf die Aufmerksamkeitsspanne hin, die dem Menschen erlaubt, seine Aufmerksamkeit auf einen begrenzten Informationsbereich zu konzentrieren. Sie vergleichen dies mit dem fototechnischen Begriff des "zooming". Im Hinblick auf die Begrenztheit des Umfangs gleichzeitig aufnehmbarer Information ist diese Eigenschaft besonders wichtig. Im Bereich des fertigungs- und regelbedingten Verhaltens ist sie im allgemeinen gut mit dem zeitlichen Nacheinander der einzelnen durchzuführenden Tätigkeiten koordiniert. Im Bereich des kenntnisbedingten Verhaltens wird sie zwangsläufig von den Gewichtsfaktoren beeinflusst sein, die mit einzelnen Anzeigen assoziiert sind. Hier ist sehr darauf zu achten, daß diese Assoziation nicht zu rigide wird und die gegebenenfalls erforderliche Flexibilität und das kritische Hinterfragen der Diagnose beeinträchtigt.

### 2.3 Menschliche Fehlermöglichkeiten

Ein Fehler des Reaktoroperators liegt dann vor, wenn

- seine Diagnose falsch ist, und deshalb auch die an sich korrekt daraus hergeleitete Aktion,
- die Diagnose zwar richtig ist, aber Aktion und Prognose falsch sind oder
- beide nicht stimmen.

Warum kann eine Diagnose falsch sein?

(1) Nicht alle Symptome (in der Warte ankommende Meßgrößen) werden in die Diagnose einbezogen.

Das kann verschiedene Gründe haben

- a) Sie liegen nicht vor (unzureichendes Wartenkonzept),
- b) sie sind nur unter Schwierigkeit wahrnehmbar bzw. zuzuordnen (ergonomisch ungünstige Wartengestaltung),
- c) die Betriebsmannschaft ist unaufmerksam (wichtige Gründe hierfür können sein: Überlastung des Personals als Folge der ungenügenden Wartengestaltung, unzureichende Anzahl von Operateuren, Zeitdruck durch ungünstige Auslegung, Ermüdung, schlechte Betriebsorganisation usw.),
- d) Fixieren des Denkens, englisch "mind set", hervorgerufen durch falsches Lernen (falsche Wichtung von Einzelinformation) oder Streß.

(2) Aus den richtig aufgenommenen Eingangsgrößen wird eine falsche Schlussfolgerung hergeleitet.

- a) Weil die aufgenommene Kombination von Meßgrößen fälschlicherweise als äquivalent zu einer ähnlichen, bereits bekannten Kombination eingestuft wird,
- b) weil der Operateur Angst hat, von Regeln (oder vermeintlichen Regeln) abzuweichen,
- c) schlichter Irrtum

Warum kann eine Aktion trotz richtiger Diagnose falsch sein?

- a) Weil eine falsche Verknüpfung von Diagnose und Aktion gelernt wurde,
- b) weil ein niedriges Aufmerksamkeitsniveau zu Fehlern führt (dies ist von spezieller Bedeutung im kenntnisbedingten Verhaltensbereich),
- c) weil bei der Kommunikation von der Diagnose zur Aktion ein Mißverständnis auftritt.



Während in dieser Gliederung die Fehler von ihren Ursachen her betrachtet werden, geht eine andere Wertung von den möglichen Konsequenzen von Fehlern aus. Dabei ist der wichtigste Unterschied, ob der Fehler isoliert einmal gemacht wird oder ob sich Fehler über längere Zeit konsistent aneinander anschließen.

Im ersten Fall kann man von einem menschlichen Einzelfehler sprechen, in [26] wird auch der Ausdruck taktischer Fehler eingeführt (siehe auch [27]). Bei Kernkraftwerken werden solche Einzelfehler generell spätestens durch die Sicherheitssysteme aufgefangen oder können bereits vorher korrigiert werden, weil das System im allgemeinen sehr langsam reagiert. Hier liegt sicherlich ein wesentlicher Unterschied etwa zur Reaktion eines Flugzeuges auf Fehler im Cockpit.

Wird dagegen die Fehldiagnose konsistent beibehalten, so lassen sich auf die Dauer ernsthafte Folgen nicht ausschließen (in [26] wird diese Art von Fehlverhalten strategischer Fehler genannt). Als wesentliche Ursache solches Fehlverhaltens ist die unter (1) d erwähnte Fixierung des Denkens zu sehen. Auftretensmöglichkeit und Verhinderung eines derartigen Fehlverhaltens wird deshalb einer der wichtigsten Punkte der in diesem Bericht beschriebenen Überlegungen sein. Gleichzeitig ist festzustellen, daß ein über längere Zeit konsistent beibehaltenes Fehlverhalten den Bereich des kenntnisbedingten Handelns zuzuordnen ist. Denn eine durch längeres konsistentes Fehlverhalten hervorgerufene Situation wird nur durch Einsatz umfassender Kenntnis wieder unter Kontrolle gebracht werden können. Das bekannteste Beispiel für ein derartiges Fehlverhalten war bei dem TMI-Vorfall zu beobachten. Der Rogovin-Bericht [23] gibt hierfür einige klassische Beispiele. Aber auch bei deutschen Anlagen hat es Ansätze für Falschdiagnosen gegeben, die über eine gewisse Zeit beibehalten wurden, wenn auch die Folgen hier nicht so schwer waren.

In den nachfolgenden Kapiteln werden wir auf verschiedene Probleme der Fehlerursachen im einzelnen eingehen. Die Punkte (1) a und b haben im wesentlichen mit der Wartengestaltung zu tun. Wenn dieser Punkt auch nicht im Zentrum unserer Untersuchungen stand, so haben wir doch bei unseren Besuchen in Kernkraftwerken und während unseres Trainings am Simulator der Kraftwerksschule Essen verschiedene Beobachtungen gemacht, die in Kap. 6

berichtet werden. Das Problem der in Kap. 8 besprochenen Automatisierung steht hiermit in einem gewissen Zusammenhang.

Das Problem der Fixierung des Denkens nach (1) d hat eine besondere Bedeutung. Wir haben auf seinen Zusammenhang mit der Wichtung und Filterung der in der Warte ankommenden Informationen und mit der Begrenzung des Aufmerksamkeitsbereichs auf spezielle Bereiche hingewiesen. Wir sehen hierfür insbesondere drei Ursachen:

- Falsches Training. Wir haben in unseren Gesprächen immer wieder beobachtet, daß im Denken des Führungspersonals und im Training die Auslegungsstörfälle, wie sie im deterministischen Sicherheitsnachweis benutzt werden, eine überragende Bedeutung haben. Erst allmählich setzen sich die darüber hinausgehenden Erkenntnisse der Risikostudien durch. In die gleiche Richtung geht der Umfang, der einigen Auslegungsstörfällen im Betriebshandbuch eingeräumt wird. Das irreführende Training des TMI-Personals etwa im Hinblick auf die Bedeutung des Druckhalterwasserstandes ist bekannt. Wir konnten aber feststellen, daß z.B. auch in den vom BMI herausgegebenen Richtlinien zur Fachkundeprüfung des Schichtpersonals ein Fragenbeispiel enthalten war, das von den gleichen falschen Voraussetzungen hinsichtlich der Bedeutung des Druckhalterwasserstandes ausging. Im Zusammenhang mit dem richtigen Training muß auch darauf hingewiesen werden, daß in Situationen, die ein kenntnisbedingtes Handeln erfordern, bestimmte Vorgehensweisen falsch sein können, die im Bereich des fertigungsbedingten Handelns durchaus angebracht sind. Zur richtigen Diagnose des Anlagenzustandes gehört deshalb dazu, daß erkannt wird, wann der normale Bereich, in dem regel- oder fertigungsbedingtes Handeln anwendbar sind, verlassen werden muß.
- Falsch eingeordnete Erfahrung (individuelles Lernen). Hier sind die bereits erwähnten Spezialerfahrungen des einzelnen Operators einzuordnen. So wird etwa die Unzuverlässigkeit oder geringe Relevanz von Meßfühlern in bestimmten Situationen zu unkritisch auf andere Situationen übertragen. Es ist in diesem Zusammenhang interessant anzumerken, daß nach Aussagen der psychologischen Literatur das menschliche Fehlverhalten überhaupt auf der Übertragung von im bestimmten Zusammenhang durchaus richtigen Verhaltensweisen in einen falschen Kontext beruhen soll (siehe hierzu z.B. Spearman [28.7]). Das hängt eng mit dem assoziativen Denken und mit der

Fähigkeit zusammen, Erfahrungen zu verallgemeinern und auf andere Situationen zu übertragen, die ja ein wesentlicher Bestandteil der menschlichen Intelligenz ist.

- Sehr starker Streß. Im Zusammenhang mit dem TMI-Vorfall hat insbesondere Sargent [29] darauf hingewiesen, daß bei starkem Streß die Flexibilität des menschlichen Denkens durch eine rigide Verhaltensweise ersetzt wird. Rein biologisch hat dies die positive Funktion, in Situationen extremer Bedrohung ein rasches Handeln zu ermöglichen. In Situationen, wo gerade dann die ganze Flexibilität des kenntnisbedingten Handelns erforderlich ist, bringt dies die Gefahr vorschneller Aktionen und die Versäumnis einer laufenden kritischen Überprüfung und Korrektur der Diagnose mit sich.

Zweifellos spielt ein sehr großer Streß in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Das weiß jeder, der etwa dem Examenstreß ausgesetzt war. Wir werden deshalb in Kap. 9 das Streßproblem und seine Überwindung ausführlicher behandeln.

Es wäre jedoch falsch, sich nur auf das Streßproblem zu beschränken. Training und falsches Lernen sind Faktoren von gleichem Gewicht. Im Zusammenhang mit der Ausbildung (Kap. 5) und bei einem speziell auf dem Bereich des kenntnisbedingten Handelns orientierten Trainingsystem (Kap. 10) werden wir diese Fragen vertiefen.

Im Zusammenhang mit dem Problem des Fehlverhaltens, insbesondere natürlich auch dem Problem der Streßanfälligkeit ist die Frage der Personalauswahl zu sehen. Hierauf werden wir im Kap. 3 eingehen. Unter (2) b haben wir darauf hingewiesen, daß trotz im Prinzip richtiger Diagnose ein falsches Verhalten (oder ein zu geringes Zutrauen in die eigene Diagnose) möglich ist, weil der Operateur Angst hat, gegen Regeln zu verstoßen. Wir haben bei unseren Besprechungen mit den Betreibern von Kernkraftwerken immer wieder festgestellt, welch ungeheurem Druck von seiten der Genehmigungsbehörden nicht nur die verantwortliche Kraftwerksleitung, sondern auch die einzelnen Schichtleiter ausgesetzt sind. Im Falle einer Anlage, die verschiedentlich Störfällen ausgesetzt war, wurde uns berichtet, daß ein Vertreter der Genehmigungsbehörde vor den versammelten Schichtleitern erklärte, daß bei dem geringsten

weiteren Vorkommnis der Anlage die Betriebsgenehmigung entzogen würde. Ganz allgemein ist es üblich, daß Vertreter der Genehmigungsbehörden von Bund und Land ebenso wie die fachlichen Berater aus der sicheren Erkenntnis der im Nachhinein vollzogenen Analyse eines Störfalls eine Tendenz haben, das Verhalten des betroffenen Schichtpersonals sehr hart zu beurteilen. In einem Falle wurde bereits wenige Tage nach einem Störfall in einem Bericht an den Deutschen Bundestag das Verhalten eines Schichtleiters unter voller Namensnennung stark gerügt, weil der Betreffende vor der Untersuchungskommission nicht die beste Figur gemacht hatte. In einem Gerichtsverfahren wäre eine derartige Vorgehensweise undenkbar.

In gleicher Richtung läuft das Bestreben der Genehmigungsbehörden, möglichst jede Aktion genau festzuschreiben und vorzuschreiben.

Ein solches Verhalten von Behörden und Behördenvertretern ist vielleicht verständlich durch den starken politischen Druck, unter dem diese stehen. Ebenso müssen natürlich eklatante Verstöße gegen die Regeln gemäßregelt werden. Andererseits darf aber ein derartiges Vorgehen nicht Willen und Fähigkeit des Personals zu einem flexiblen, auf umfassende Fachkenntnis begründeten Handelns lahmlegen und noch dazu einen zusätzlichen Streß bewirken, der im Ernstfall gefährlich sein kann. Hier muß auch von seiten der Genehmigungsbehörde unter Berücksichtigung der elementaren psychologischen Sachverhalte ein ausgewogener Weg gefunden werden.

Im Trainingsbereich müssen Methoden gefunden werden, die die Einengung der Lerninhalte auf die Auslegungsstörfälle vermeiden, die auch die individuell gelernten und eingeordneten Erfahrungen transparent machen und ihre evtl. erforderliche Korrektur ermöglichen und die das Entstehen und die nachteiligen Auswirkungen eines übergroßen Streßeinflusses verhindern.

#### 2.4 Fehlerverhinderung

Die Einteilung des menschlichen Handelns in fertigungsbedingtes Verhalten, regelbedingtes und kenntnisbedingtes Verhalten erleichtert die Entwicklung von Konzepten zur Fehlerminimierung auf jeder Ebene.

Im Bereich des fertigungsbedingten Handelns sind von der Planung der Anlage zu fordern

- ein klares ergonomisches Wartekonzept (Kap. 6),
- eine ausreichende Automatisierung, die die nächstliegenden Aktionen zur Erhaltung der Integrität des Reaktorkerns und zum Einschluß der relevanten Anlagenteile übernimmt. Der dadurch erzielte Zeitgewinn kommt der Detaildiagnose und den Folgeaktionen zugute (Kap. 8),
- ein klares Betriebshandbuch mit leichter Zugreifbarkeit und darüber hinaus möglicherweise verbesserte, heute in der Entwicklung befindliche Diagnosehilfen (Kap. 7),
- ein ausreichendes Trainingsprogramm für diesen Bereich (Kap. 5).

Im Hinblick auf den Bereich des kenntnisbedingten Handelns ist nun wichtig festzuhalten, daß weder die anlagentechnischen Maßnahmen noch die Regeln und Diagnosevorschriften, noch das Training, noch auch die anschließende Erfahrung im langfristigen Betrieb zu einer fixierten, unflexiblen Vorgehensweise führen dürfen. Das kenntnisbedingte Verhalten soll durch Fertigkeiten und Regeln unterstützt, aber nicht eingeengt werden. Kenntnisbedingtes Handeln bezieht sich auf ungewöhnliche Störungskombinationen innerhalb des gesamten Sicherheitsschirms und seltene Ereignisse.

Es ist hier wichtig, daß sich die Betriebsmannschaft der Grenzen des Fertigungsbereichs, des Regelbereichs und des Kenntnisbereichs bewußt ist.

Hier dürfen

- Regeln nicht die Wahl der Aktion behindern,
- Automaten nicht die Möglichkeit von geplanten Gegenaktionen einengen,
- Situationsstress oder Spezialerfahrungen nicht die kritische Diagnosefähigkeit und Hypothesenprüfung behindern.

### 3. Personalauswahl

Die Auswahl des Schichtpersonals erfolgt nach konventionellen Methoden. Zeugnisse (ggf. mit besonderer Bewertung der Mathematiknoten), Einstellungsgespräch und später die Beurteilung durch die Vorgesetzten und Ausbilder sind die wichtigsten Kriterien. (Die Ausbilder am Simulator der Kraftwerkschule werden jedoch im Interesse einer offeneren Zusammenarbeit mit den Auszubildenden nicht für die Personalbeurteilung eingesetzt.) Angesichts der Verantwortung des Schichtpersonals ist wiederholt die Frage nach einer zusätzlichen psychologischen Eignungsprüfung gestellt worden. Wir haben dieses Problem ausführlich mit den Kraftwerksleitern, mit Herrn Prof. Burkardt (Institut für Psychologie der Universität Frankfurt), mit Herrn Dr. Goeters (Institut für Flugmedizin der DFVLR, Hamburg), als dem Durchführer der Eignungstests für das fliegende Personal der Lufthansa und im Hinblick auf Einzelaspekte mit Herrn Prof. Edsberg, Halden, besprochen.

Zunächst sollte die folgende Tatsache klar herausgestellt werden:

Im Prinzip kann kein psychologischer Test besser sein als die sorgfältig durchgeführte Beurteilung durch Vorgesetzte und Ausbilder, da jeder gültige psychologische Test genau durch die Korrelation mit den späteren Ergebnissen verifiziert werden muß. Man kann von keinem Test erwarten, daß er Persönlichkeitsmerkmale offenlegt, die nicht langfristig auf konventionelle Weise erkennbar sind.

Die Lufthansa z.B., ebenso wie andere Fluglinien, lassen die Tests durchführen, um aus der großen Anzahl der Bewerber rasch diejenigen herauszufinden, für die angesichts der hohen Ausbildungskosten ein erfolgreicher Abschluß und ein Erreichen des endgültigen Berufsziels zu erwarten ist. Tabelle 1 [ 56 ] zeigt einen Überblick über die insgesamt durchgeführten Prüfungen. Die meisten Tests dienen der Feststellung der intellektuellen, kognitiven und motorischen Fähigkeiten, die von Piloten gefordert werden müssen. Nur unter den Punkten 1.16 bis 1.18 sind "psychologische" Fragestellungen im engeren Sinne mehr oder weniger stark ausgeprägt.

Bei den nach 2.9 an einem Apparat durchgeführten Tests der psychomotorischen Koordinationsfähigkeit erfolgt gleichzeitig eine allgemeine Verhaltensbeobachtung, die aber dem subjektiven Urteil des Testleiters

unterliegt. Bei den sportlichen Übungen (Mannschaftsspiele) nach 3.1 wird ebenfalls mit subjektiver Beurteilung das Verhalten im Team beobachtet. Lediglich der Persönlichkeitsfragebogen 1.1-1.18 zielt ausschließlich auf die Erkennung von Eigenschaften, die außerhalb der unmittelbaren professionellen Fähigkeiten liegen.

Es sollte dabei hervorgehoben werden, daß hier keinesfalls die Teilnehmer am besten abschneiden, bei denen die jeweils "positiven" Eigenschaften am stärksten ausgeprägt sind (also z.B. eine deutlich überdurchschnittliche Gewissenhaftigkeit und Pünktlichkeit). Insgesamt wird eher eine Ausgewogenheit zwischen verschiedenen Charakterzügen angestrebt.

Tests, die unmittelbar die Belastbarkeit in Stressituationen aufklären sollen, werden nicht eingesetzt, wenn auch indirekt z.B. der Zeitdruck bei der Lösung der meisten Aufgaben eine starke Wirkung in dieser Richtung hat.

Die Ausbilder werden nicht über die Testergebnisse informiert, um Voreingenommenheiten zu vermeiden. Die Korrelation der Testergebnisse mit der späteren Ausbildung wird insgesamt mit 0,7 angegeben.

Einige ergänzende Beobachtungen von Studenten am Reaktorsimulator wurden uns in Halden berichtet. Sie bestätigen die auch in Kap. 9 berichtete Erkenntnis, daß Stress in starkem Maße durch Unerfahrenheit und das Bewußtsein mangelnder Kenntnis im Umgang mit der Anlage bewirkt wird. Edsberg führte einen Apparat vor, der es ermöglicht, die Fähigkeit zu ermitteln, aus externen Informationen (Aufleuchten von Lampen nach dem Betätigen von Schaltern in bestimmter Reihenfolge) auf System- bzw. Schaltungszusammenhänge zu schließen. Dabei wurde ein deutlich verschiedener Verlauf der Lernkurven von Studenten des Maschinenbaus und der Elektrotechnik beobachtet. Diese Untersuchungen werden aber nicht weitergeführt.

Die Einstellung der befragten Kraftwerksleiter zu psychologischen Eignungstests war einheitlich negativ. Dabei wurden die von Psychologen genannten langen Zeiten bis zur Erstellung einer Testbatterie angeführt, ferner das von Betriebsärzten angeführte Argument der Unseriosität der meisten Psychologen und die Befürchtung, in der ohnehin schwierigen Frage der

Personalbeschaffung in weitere Zwänge gebracht zu werden, die durch behördliche Auflagen auf diesem Gebiet weiter verschärft werden könnten.

Welche Verbesserungen könnten solche Tests im Bereich des Kernkraftwerksbetriebes bringen? Die Situation der Fluggesellschaften mit der großen Anzahl von Pilotenbewerbern existiert für die Kernkraftwerke nicht, und wegen der zahlreichen Einsatzmöglichkeiten des Personals kann die Entscheidung, wer zum Reaktorfahrer oder Schichtleiter weitergebildet wird, im Verlauf der allgemeinen Ausbildung getroffen werden. Als wesentliches Argument für die Testdurchführung ergab sich nach Dr. Goeters die Möglichkeit, hierdurch verborgene Systemfehler zu erkennen, insbesondere in solchen Fällen, wo Persönlichkeitsschwächen durch die Gruppe kaschiert werden. Die Tests mit ihrem Druck in Richtung auf eine Formalisierung und Objektivierung der Personalbeurteilung können hier einen höheren Grad an Transparenz schaffen.

Wir halten dies Problem für wichtig, geben ihm aber eher eine langfristige als eine akute Bedeutung. Andererseits halten wir es für wichtig, daß die Kraftwerksbetreiber gemeinsam mit geeigneten Psychologen das erwünschte Persönlichkeitsprofil von Schichtleitern und Operateuren nach ihrem heutigen Erkenntnisstand durch eine Befragungsaktion definieren und als Forschungsvorhaben eine Testserie und ihre nachfolgende Korrelation mit den Ergebnissen der sonstigen Personalbewertung durchführen. Dabei sollten auch die Erfahrungen aus der Schweiz, wo das Institut für Angewandte Psychologie in Zürich derartige Tests für die Kraftwerke durchführt, mit einbezogen werden. In diesem Zusammenhang sollten auch die mit der Testdurchführung verbundenen rechtlichen Probleme geklärt werden.

Für die Früherkennung von Streßanfälligkeit gibt es offenbar keine in der Praxis anwendbaren quantitativen Methoden. So beschränkt man sich auch bei der Auswahl des Lufthansa-Personals auf die konventionelle qualitative Beobachtung.



Tab. 1 Fachlich-psychologische Untersuchung im Rahmen der  
Nachwuchs-Flugzeugführer-Auswahl für die Deutsche Lufthansa [ 56 ]

Die fachlich-psychologische Untersuchung für Flugzeugführerbewerber besteht aus einer eintägigen Voruntersuchung (Auswahlstufe 1). Die auf dieser Stufe akzeptierten Bewerber (30 - 40 %) werden erneut zu einer mehrtägigen Untersuchung eingeladen (Auswahlstufen 2 - 4).

Eignungskriterien für die Auswahlstufe 1:

- 1.1 Kenntnisse in allgemeinen Luftfahrtfragen
- 1.2 Technisches Verständnis
- 1.3 Schlußfolgerndes Denken
- 1.4 Merkfähigkeit (mittelfristig)
- 1.5 Wahrnehmungstempo bei Suchaufgaben
- 1.6 Wahrnehmungstempo bei Ableseaufgaben
- 1.7 Raumorientierung (Rechts-Links-Sicherheit)
- 1.8 Leistungsstreben
- 1.9 Psychische Belastbarkeit
- 1.10 Kontrolle (Regelhaftigkeit)
- 1.11 Kontaktbereitschaft
- 1.12 Aggressivität
- 1.13 Vitalität
- 1.14 Dominanzstreben
- 1.15 Mitgefühl
- 1.16 Anspruchsniveau
- 1.17 Mobilität
- 1.18 Biographische Informationen: Schulnoten, Interessenlagen usw. als Hintergrundinformation

Eignungskriterien für die Auswahlstufe 2:

Hier kommen hauptsächlich die zeit- und personalaufwendigen Prüfverfahren zum Einsatz.

- 2.1 Kenntnisse in englischer Sprache
- 2.2 Kenntnisse in Bildungsfächern
- 2.3 Technisch-physikalische Kenntnisse:  
einfache, technische Systeme,  
Elektrotechnik,  
Mechanik,  
Wärme- und Strömungslehre,  
Wellenlehre.
- 2.4 Kenntnisse in Mathematik
- 2.5 Kopfrechnen
- 2.6 Merkfähigkeit (kurzfristig)
- 2.7 Signalentdeckung in Wahrnehmungsfeldern
- 2.8 Räumliche Veranschaulichung
- 2.9 Psychomotorik:  
Zweihand-Koordination,  
Tracking-Verhalten,  
Mehrfachbelastbarkeit,  
Flug mit einfachem Flugsimulator

Eignungskriterien für die Auswahlstufe 3:

- 3.1 Sportliche Fitness
- 3.2 Einweisung und Prüfung in komplexeren Flugsimulatoren

Eignungskriterien für die Auswahlstufe 4:

Abschließendes fachlich-psychologisches Interview. (Diese Auswahlstufe entspricht der Auswahlstufe 3 für Flugingenieure entsprechend der Darstellung von Kirsch u.a. [53\_7]).

#### 4. Organisation und Führungsstruktur

Die Betriebsorganisation regelt die personelle Zuständigkeit für den Betrieb eines Kraftwerkes in allen Betriebssituationen. Die Verantwortlichkeit ist in drei Ebenen gestaffelt: In die Ebene der Betriebs- bzw. Kraftwerksleitung, in die Fach- oder Teilbereichsebene und in die Schichtebene. Die obere Ebene, die der Betriebs- und Kraftwerksleitung, wird durch die Leiter der Anlage, die mittlere durch die Fach- oder Teilbereichsleiter repräsentiert. Die Leiter der Anlage sind gegenüber den Fach- oder Teilbereichsleitern weisungsbefugt, diese wiederum gegenüber ihren Mitarbeitern. Die letzte Ebene bildet das verantwortliche Schichtpersonal, das sich aus Schichtleiter, Schichtleitervertreter, Reaktorfahrer und Strahlenschutzbeauftragten zusammensetzt. Die Leiter der Anlage oder die Fach- oder Teilbereichsleiter greifen nur in begründeten Ausnahmefällen in den Betriebsablauf ein. Normalerweise ist der diensthabende Schichtleiter der Hauptverantwortliche für den Kraftwerksbetrieb.

Jedes Kernkraftwerk muß einen auf der angeführten Strukturierung basierenden Organisationsplan aufstellen und ihn der zuständigen Genehmigungs- oder Aufsichtsbehörde vorlegen [8]. Aufgrund der gesetzlichen Verankerung sind die Betriebsorganisationen in den einzelnen Kernkraftwerken sehr ähnlich.

##### 4.1 Die Schicht

Eine Schicht setzt sich in der Regel aus 9 bis 11 Personen zusammen. Aufgrund der inzwischen eingeführten Regelungen in Deutschland verfügt der Schichtleiter über ein abgeschlossenes Fachhochschul- oder Ingenieurschulstudium. Meister können diese Position bekleiden unter der Voraussetzung, daß ein erfahrener Schichtingenieur der Schicht beigegeben wird, der sich ständig in der Anlage aufzuhalten hat.

Der Schichtleitervertreter verfügt in vielen Anlagen ebenfalls über Schichtleiterqualifikation; von seiner Ausbildung her ist er Ing. (grad.) oder, was der häufigere Fall ist, Kraftwerksmeister. Schichtleiter und Stellvertreter müssen die Reaktorfahrerausbildung durchlaufen, daneben erfolgt eine permanente Schulung und ein ständiges Wiederholungstraining.

In jeder Schicht sind 1 bis 3 Reaktorfahrer tätig, die teilweise auch die Schichtleiterausbildung absolviert haben. Ihrer Grundausbildung nach sind es meist Elektro- oder Maschinenmeister bzw. Facharbeiter. Vervollständigt wird eine Schicht durch 5 bis 7 Betriebswärter, die in der Regel Facharbeiterausbildung haben und sich etwa je zur Hälfte aus Elektrikern und Maschinenbauern zusammensetzen. In Tab. 2 ist eine Aufstellung als Beispiel für einige typische Schichtzusammensetzungen gegeben.

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3
Schichtleiter (SL)	1 (Ing.)	1 (Ing.)	1 (Ing.)
Stellvertretender SL	1 (Meister)	1 (Meister)	1 (Ing.)
Reaktorfahrer (Reaktoroperateure)	1	3 (auch Meister)	2 (auch Meister)
E-Meister	1		1
Facharbeiter: Elektrotechnik	2	2	4 (davon 1 Objektsch.)
Maschinenbau	3	3	2
Anzahl der Schichten	6	5	5

Tab. 2 Schichtzusammensetzungen für einige typische Kernkraftwerke

In der Regel sind 5 Schichten vorhanden, jedoch gehen die Bestrebungen zur 6. Schicht hin, da hierdurch für Sondereinsätze, Schulung, Wiederholungsprüfungen und Urlaubsregelung ein größerer Spielraum geschaffen wird. Die einzelnen Schichten bilden eine ständig zusammenbleibende Gruppe. Ein Wechsel einzelner Personen in andere Schichtgruppen ist zwar prinzipiell möglich, kommt praktisch aber selten vor. Dadurch ergibt sich ein Unterschied etwa zu Flugzeugcrews, die sich ständig neu formieren und für die eine besonders spezifizierte Aufgabenteilung vorausgesetzt wird (Crew Coordination Concept), die in dieser Form bei Kernkraftwerken nicht existiert.

Die Zusammenstellung eines Schichtteams unterliegt keinen festgelegten Regeln. Wünsche, in ein bestimmtes Team zu gelangen, werden zwar, soweit das im Rahmen des betrieblichen Interesses zu vereinbaren ist, berücksichtigt, sie sind aber verhältnismäßig selten.

Erfahrungen zeigen, daß die einzelnen Schichtmitglieder im Laufe der Zeit zu einer Gruppe zusammenwachsen, die auch im privaten Bereich Kontakte untereinander pflegt. Dies wird durch die Besonderheiten des vom normalen Arbeitsrhythmus abweichenden Schichtdienstes, z.B. Freizeit, wenn andere arbeiten, noch begünstigt.

Derartig gefestigte Teams bergen aber auch die Gefahr in sich, daß Fehlhandlungen, die z.B. auf menschlichem Versagen einzelner Teammitglieder beruhen, von dem Team gedeckt werden. Dies kann dazu führen, daß wichtige Erfahrungen nicht im wünschenswerten Umfang weitergegeben werden und dafür nur von einer Gruppe genutzt werden können, wodurch die Wiederholungsgefahr steigt.

Während des normalen Betriebes ist der Schichtleiter für den Betrieb verantwortlich. In schwierigen Situationen kann er auf eine Reihe von Spezialisten zurückgreifen, die ihm in der Regel Tag und Nacht zur Verfügung stehen. Die Regelungen in den einzelnen Kraftwerken unterscheiden sich hier etwas. Da in der Einleitungsphase Störungen und Störfälle nur schwer zu differenzieren sind, versucht man, die Meldeschwelle, über der außerhalb der Schicht stehende hinzugezogen werden, möglichst niedrig zu halten (möglichst noch vor der Schnellabschaltung). Das hat zwar zur Folge, daß häufiger Fehlalarme ausgelöst werden, bietet aber auch eine gewisse Gewähr dafür, daß in wirklich kritischen Situationen die verantwortlichen Personen anwesend sind. Wegen der im allgemeinen schwierigen Grenzziehung zwischen einfacher Störung und schwerem Störfall wird man sich bei Auftreten der ersten Unregelmäßigkeiten immer näher an Störfällen orientieren, zumindest soweit es um das Hinzuziehen von Drittpersonen geht.

#### 4.2 Betriebsorganisation für Stör- und Notfälle

Zur Stör- und Notfallabdeckung existiert ein organisatorisch mehr oder weniger stark strukturiertes zweistufiges System. Die oberste Instanz liegt auf Betriebs- bzw. Kraftwerksleitungsebene und wird als Betriebsleitungs- oder Hauptbereitschaft bezeichnet. Sie setzt sich aus dem

Betriebsleiter, seinem Stellvertreter und in der Regel noch zwei bis drei anderen Personen, z.B. Fach- oder Teilbereichsleiter, zusammen. Diese Bereitschaft ist immer erreichbar, und die betreffenden Personen können innerhalb kurzer Zeit (weniger als 30 min) im Kraftwerk sein. Sie übernehmen dann die Hauptverantwortung, wobei alle Aktionen in Koordination mit dem Schichtleiter erfolgen sollen.

Die Ebene zwischen Betriebsleitungsbereitschaft und Schicht wird von einer Fachbereitschaft (bis zu etwa 20 Personen) gebildet. Diese Fachbereitschaft ist gegenüber der Schicht nicht weisungsberechtigt. Sie kann vom Schichtleiter und auch von der Betriebsleitungsbereitschaft in besonderen Situationen zur Problemlösung mit herangezogen werden.

#### Besondere Feststellungen:

- a) Zählt man zu den etwa im Rogovin-Bericht [ 23 ] über den TMI-2-Störfall genannten Zahlen (4 Operateure in der Schicht) die mit schichtgehenden, aber nicht dem Schichtleiter unterstehenden, Maschinenbauer, E- und Leittechniker hinzu, kommt man etwa auf ähnliche Personalstärken wie in deutschen Anlagen.
- b) In den meisten Anlagen wird die für die Informationsübergabe beim Schichtwechsel erforderliche Zeit bezahlt. In einer der von uns besuchten Anlagen wird dies jedoch nicht gemacht, weil dem angeblich tarif- bzw. arbeitsrechtliche Gesichtspunkte entgegenstehen. Hier wird versucht, das Problem durch Freizeitausgleich zu lösen. In den US-Anlagen ist das keinesfalls üblich, wie aus [ 19 ] hervorgeht.
- c) In einer Anlage, die in der Vergangenheit verschiedene Störungen hatte, wurde als wichtig die kritische Überprüfung der Fehlerdiagnosen der Schicht durch die hinzukommende Betriebsleitungsbereitschaft angegeben. Es gab jedoch keine schriftlichen Anweisungen hierzu. Wir halten es für notwendig, daß die Diagnoseprüfung bei Störungen in gewissem Umfang formalisiert wird.

## 5. Ausbildung

Nach der BMI-Richtlinie für den Fachkundenachweis von Kernkraftwerkspersonal [8] ist der Fachkundenachweis vom gesamten verantwortlichen Schichtpersonal, d.h. Schichtleiter, -vertreter, Reaktorfahrern und Strahlenschutzbeauftragten, zu erbringen. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich nur auf die drei zuerst genannten Gruppen dieses Personenkreises.

Alle machen eine Art Grundausbildung durch, die von Inhalt und Umfang her im Prinzip identisch ist. Lediglich die Ausgangsbasis ist unterschiedlich. Nach [8] müssen Schichtleiter ein abgeschlossenes Fachhochschul- oder Ingenieurschulstudium nachweisen. Schichtleitervertreter sollten über eine Techniker- oder Meisterprüfung verfügen und Reaktorfahrer mindestens eine abgeschlossene Facharbeiterausbildung haben. Die Grundausbildung vermittelt den Kenntnisstand, der gemäß dem Fachkundenachweis [9] für einen Reaktorfahrer vorgeschrieben ist. Die Ausbildung umfaßt etwa 2 1/2 Jahre und setzt sich etwa aus 55 % theoretischer Schulung mit entsprechenden praktischen Übungen, etwa 35 % praktischer Arbeiten in der Schicht des Kernkraftwerkes und ca. 10 % (2 Monate) Simulatortraining, z.B. an der Kraftwerksschule in Essen, zusammen [11, 15]. Die theoretische Schulung wird größtenteils anlagenbezogen vom Betreiber selbst durchgeführt. Ein Teil der Ausbildung, insbesondere im Bereich des Grundlagenwissens, wird außerhalb - etwa in den Schulen für Kerntechnik in Karlsruhe oder Jülich - absolviert.

Die Grundausbildung zum Reaktorfahrer schließt mit einer schriftlichen und mündlichen Fachkundeprüfung ab, wobei Prüfungsrichtlinien über formale Fragen und Inhalt in [8, 9] festgelegt sind. Der Ablauf der Ausbildung ist nicht ganz starr festgelegt. So sind durchaus Unterschiede, insbesondere was das Lerntempo angeht, zwischen Ingenieuren und Meistern bzw. Facharbeitern, soweit sie in getrennten Gruppen untergebracht sind, zu verzeichnen. Dies ist verständlich und beruht hauptsächlich auf der unterschiedlichen Ausgangsbasis. Soweit es sich um Kraftwerksmeister handelt, ist ihr theoretisches Wissen in den Bereichen Kraftwerkstechnik und -betrieb dem Wissen des Ingenieurs vergleichbar [10]. Was ihre praktische Erfahrung angeht, so sind sie den Ingenieuren gewöhnlich am Anfang überlegen.

Bei den in [8,9] angegebenen Rahmenvorstellungen über das nachzuweisende Grundlagenwissen sollten die thermodynamisch-kühlungstechnischen Bereiche im Verhältnis zu den anderen Fachgebieten entsprechend ihrer Bedeutung stärker repräsentiert sein.

Zu der Grundausbildung für Reaktorfahrer kommt noch eine praktische Tätigkeit in einem Kernkraftwerk von mindestens 1 1/2 Jahren sowie 1/2 Jahr Teilnahme am Schichtbetrieb in der Anlage hinzu, in der er später tätig sein wird. Auch für den Schichtleiter und den Schichtleitervertreter sind mindestens 1 1/2 Jahre praktische Erfahrung in einem Kernkraftwerk vorgeschrieben. Das auch hier geforderte 1/2 Jahr in der eigenen Anlage kann jedoch innerhalb der 1 1/2 Jahre liegen.

Nach der Ausbildung zum Reaktorfahrer geht die Ausbildung zum Schichtleiter bzw. Stellvertreter weiter. Der Spielraum ist jedoch hier größer, auch die Unterschiede von Betreiber zu Betreiber. Alle Schichtleiter müssen vorher als stellvertretende Schichtleiter tätig gewesen sein, d.h. Unterschiede in der Ausbildung gibt es hier kaum noch, so daß im folgenden nur noch von Schichtleitern die Rede sein wird. Während der weiteren Ausbildung folgen Kurse in Pädagogik und Menschenführung. Daneben werden angehende Schichtleiter zur Schulung und Ausbildung, z.B. des übrigen Schichtpersonals, mit eingesetzt. Diese Schulungstätigkeit ist auch als Bestandteil der Ausbildung anzusehen. Die Vorbereitung und Betreuung des Simulatortrainings ist ebenfalls ein Teil ihres Aufgabengebietes.

In der Regel dauert die Ausbildung zum Schichtleiter bei Ingenieuren etwa 3 bis 4 1/2 Jahre, bei Meistern etwa 2 bis 4 Jahre länger, wobei letztere heute aber normalerweise die Position des Stellvertreters ausüben werden. Es gibt Betreiber, bei denen alle neueingestellten Jung-Ingenieure die Ausbildung zum Schichtleiter durchlaufen, auch dann, wenn sie nicht beabsichtigen, später im Schichtdienst tätig zu sein. Auf diese Weise wird erreicht, daß beim leitenden Personal ein verhältnismäßig breites Basiswissen bezüglich des Kraftwerksbetriebes vorhanden ist.

Führungskräfte, wie Abteilungsleiter, Betriebsleiter und Stellvertreter, müssen heute gemäß [8] über ein Hochschul- oder Fachhochschulstudium



verfügen und entsprechende Kenntnisse in Reaktorphysik, -technik, -sicherheit und Strahlenschutz nachweisen bzw. die einschlägigen gesetzlichen Vorschriften aus dem Bereich der Ersten Strahlenschutzverordnung und des Atomgesetzes kennen. Zu dieser theoretisch ausgerichteten Ausbildung kommt noch der Nachweis von praktischen Kraftwerkserfahrungen in verantwortlicher Stellung von mindestens zwei Jahren, möglichst in einem Kernkraftwerk [ 8 ].

Ein besonderes Schulungsprogramm ist, mit Ausnahme eines Simulatorkurses, nicht vorgesehen. Der Simulatorkurs für Führungskräfte dauert in der Regel eine Woche (manchmal auch länger) und wird einmal absolviert. Das Kursprogramm ist sehr gedrängt und umfaßt hauptsächlich normale betriebliche Abläufe, aber auch Fehlverhalten und Störfälle [ 12 ].

Grundsätzlich geht man beim Führungspersonal davon aus, daß eine weitreichende Detailkenntnis nicht erforderlich ist. Es wird vielmehr als wichtig angesehen, daß eine besondere Kenntnis der übergeordneten Zusammenhänge vorhanden ist. Dieses findet seine Bestätigung auch darin, daß man eine besondere Schulung oder ein spezielles Wiederholungstraining nicht als notwendig erachtet. Die weitere Unterrichtung und der Kenntniszuwachs konzentriert sich statt dessen auf die regelmäßigen Ingenieursbesprechungen. Wir sind der Auffassung, daß im Hinblick auf die Verantwortung des Führungspersonals bei schwierigen Situationen eine besondere Art von Training entwickelt werden sollte.

#### Wiederholungstraining

Die Regelungen für das Wiederholungstraining von Reaktorfahrern und Schichtleitern sind nicht ganz einheitlich. Nach dem Atomgesetz ist der Betreiber verpflichtet, durch Schulung und Simulatortraining die Fachkunde des angesprochenen Schichtpersonals auf dem jeweils erforderlichen Stand zu halten. Wie er das im einzelnen realisiert, bleibt ihm weitgehend selbst überlassen. Nach der gesetzlichen Regelung unterliegt das Wiederholungstraining einem etwa 3jährigen Zyklus [ 11, 13 ]. Ein Verantwortlicher sorgt dafür, daß das nach einem Trainingsplan festgelegte Training auch entsprechend durchgeführt wird. Pro Jahr sind mindestens 100 Stunden vorzusehen. Der Trainingsplan umfaßt sowohl theoretische Schulung als auch praktische Übungen und vor allem Wiederholung und

Auffrischung. Einen wichtigen Platz nimmt dabei das Wiederholungstraining am Simulator ein. Die Kurse dauern eine Woche (pro Jahr) und umfassen auch die dazugehörige theoretische Schulung. Der Schwerpunkt dieser Kurse liegt auf dem Durchspielen von anomalen Betriebsituationen und Störfällen mit Kühlmittelverlust. Da die Koordinierung dieser Kurse vom Betreiber her erfolgt, kann die Gestaltung sehr stark an den Belangen des eigenen Kernkraftwerkes orientiert werden, was auch in der Regel geschieht. Störfälle machen dabei etwa 60 % aus und anomale Betriebsituationen etwa 20 %. Der Rest befaßt sich mit Betriebsituationen, die hauptsächlich in den Normalbetrieb einzuordnen sind.

Nach Ablauf der dreijährigen Zyklusperiode erfolgt dann die Wiederholung.

Das Simulatortraining wird i.a. am Simulator der Kraftwerksschule Essen durchgeführt, an der wir selbst einen einwöchigen Kurs absolvierten. Dieser Simulator ist im Aufbau an der Anlage Biblis A orientiert, wenn auch das Steuerpult in das Fahrpult einbezogen wurde. Der Simulator gibt insgesamt einen guten Einblick in die Systemzusammenhänge und wichtige Betriebs- und Störungsabläufe. Uns fielen dabei einige Mängel auf, die wir in dem als Anlage 1 beigefügten Schreiben aufgelistet haben, die aber auch zum großen Teil dem Ausbildungspersonal bereits bekannt waren. Sie sollen in der vorgesehenen nächsten Ausbaustufe beseitigt werden. Nach unserem Eindruck sind sich die ein Training absolvierenden Operateure über diese Besonderheiten im Verhalten des Simulators im klaren und übertragen dieses nicht ungeprüft auf ihre Anlage.

Zu der neuerdings gestellten Forderung, nur noch Ingenieure als Schichtleiter zuzulassen, haben wir folgendes festgestellt: Die Forderung stößt bei den meisten Betriebsleitern auf starke Ablehnung, wenn diese auch nicht einheitlich war, und wir zumindest bei dem Leiter einer der besuchten Anlagen sogar Zustimmung feststellten. Die Argumente, die genannt wurden, sind die folgenden:

- a) Während Meister die Stellung als Schichtleiter als den Höhepunkt ihrer Laufbahn ansehen und entsprechend motiviert sind, sehen Ingenieure sie eher als Durchgangsstation an und streben längerfristig eine Position an, die nicht durch den Schichtdienst mit seinen Nachteilen für das Privatleben belastet ist. Dabei werden u.U. auch

finanzielle Einschränkungen in Kauf genommen. Dadurch ergibt sich ein rascherer Wechsel bei den Schichtleitern, der sicherheitstechnische Nachteile haben könnte. Die Betreiber versuchen teilweise, durch eine stärkere Diversifikation der Tätigkeit ihrer als Schichtleiter eingesetzten Ingenieure, diesem Trend entgegenzuwirken.

- b) Die unter a) beschriebenen Probleme bringen es mit sich, daß die Schichtleiter häufig erheblich jünger sind als ihre Stellvertreter und die erfahreneren Mitarbeiter ("junge Spunde"). Dadurch werden negative psychologische Auswirkungen auf die Gruppe befürchtet, die in Krisensituationen nachteilig sein könnten. Da im Zuge der Entwicklung der Ingenieurschulen zu Fachhochschulen der Typ des aus einer handwerklichen Ausbildung kommenden Studenten durch den Typ des Oberschülers verdrängt wird, gewinnt dieses Argument an Bedeutung. Während heute dies Problem sicher noch im Hintergrund steht, könnte es für die Zukunft bedeutsamer werden.
- c) Ingenieure, die längere Zeit als Schichtleiter tätig sind, verlieren den Kontakt zu den typischen Ingenieursproblemen, u.a. weil sie durch den Schichtdienst nicht an den Ingenieursbesprechungen teilnehmen können. Sie fallen in die "Schichtleitermentalität" zurück und verlieren jene Denkweise, die sie ursprünglich als Ingenieure auszeichnete.

Insbesondere das letzte Argument hat nach unserer Auffassung erhebliche Bedeutung und könnte zu einer Perversion der ursprünglichen Forderung nach einem hohen Ausbildungs- und Fähigkeitsniveau der Schichtleiter führen.

Wir verkennen nicht die positiven Gesichtspunkte, die für den Ingenieur als Schichtleiter sprechen. Es war nicht möglich, im begrenzten Rahmen dieser Studie eine objektive Wertung der Argumente durchzuführen. Wegen der hohen sicherheitstechnischen Bedeutung dieser Frage empfehlen wir jedoch dringend, eine neutrale Untersuchung mit entsprechenden Einzelbefragungen und -beobachtungen durchzuführen und von Zeit zu Zeit auf den neuesten Stand bringen zu lassen.

In der Schweiz hat das gleiche Problem bereits zu akuten Schwierigkeiten geführt, überhaupt geeignete Ingenieure für den Schichtdienst zu finden. Dies führte zur Einführung des "Pikettingenieurs" (PI) [7], der als Schichtleiter gearbeitet hat, jetzt jedoch als Bereitschaftsingenieur sich in der Anlage aufhält, dort auch nachts schläft, deshalb rasch verfügbar ist, aber nicht laufend am Schichtdienst teilnimmt. Wir halten diese Lösung für einen guten Kompromiß, der weiter beobachtet werden sollte (Tab. 3,4). Wir bewerten es als außerordentlich positiv, daß in einer der von uns besuchten Anlagen der Abteilungsleiter Betrieb selbst regelmäßig als Pikettingenieur Dienst hat.

## 6. Ergonomische Wartengestaltung

Bereits bei den ersten großen kommerziellen Reaktoranlagen in Deutschland wurden die Warten in Kompakttechnik ausgeführt. Diese Technologie geht auf die Pultelemente der Eisenbahnsignaltechnik zurück und wurde etwa 1960 für Kraftwerkswarten eingeführt [1]. Zunächst verwendete man für die Bedienungselemente ein 63 mm-Raster, aber bereits bei der Ausführung der ersten großen Anlagen (> 700 MWe) vor etwa 10 Jahren war man auf das engere 48 mm-Raster mit 48 x 24 und 48 x 48 Bausteinen übergegangen. Dieses Raster erlaubte eine um etwa 50 % kompaktere Anordnung der Anzeige- und Betätigungselemente und bot damit den erforderlichen Spielraum, um die Elemente so weit wie möglich in Blindschaltbilder zu integrieren.\*)

In den Abb. 6.1 und 6.2 sind Pultausschnitte aus den Warten der ersten großen Anlagen wiedergegeben. Dabei sind die Anzeige- und Betätigungselemente entsprechend ihrer funktionellen Zuordnung in der realen Anlage auch in den Blindschaltbildern angeordnet. Obgleich die Anordnungen und Bezeichnungen bei den einzelnen Anlagen nicht einheitlich sind, so ist doch in allen Warten eine Dreiteilung hinsichtlich der funktionellen Gliederung festzustellen.

Die zentrale Stellung als erstes funktionelles Teilsystem nimmt dabei der Hauptleitstand ein. Vom Hauptleitstand aus kann die Anlage während des

---

\*) Bei neueren Anlagen kommt für weiter entfernt liegende Anzeigeelemente (Instrumententräger, Wandtafeln) auch ein 72 mm-Raster zum Einsatz.

- Führungsaufgaben

- Übernahme der Schichtführung bei Betriebsstörungen während seiner Anwesenheit als Pikettingenieur
- Im Notfall Einsatzleitung der Betriebs- und internen Notfallgruppen (Strahlenschutz, Feuerwehr) und betriebsfremden Hilfskräften (Feuerwehr, Sanitäter usw.)
- Vertretung der Kraftwerksleitung in allen Belangen, wenn diese nicht erreichbar ist

- Fach- und Sachaufgaben

- Koordinieren und Einleiten von Gegenmaßnahmen bei Betrieb, Anlage gemäß den technischen Spezifikationen und Betriebsanweisungen in den sicheren Zustand überführen
- Entscheid treffen, daß ein Notfall vorliegt
- Alarmieren bzw. orientieren der zuständigen Instanzen und Behörden
- Wahrnehmen der Belange der Kraftwerksleitung, wenn diese nicht erreichbar ist
- Unterstützen des Schichtchefs in allen betrieblichen Fragen
- Mitwirken bei der Ausbildung der Betriebsmannschaft
- Regelmäßige Diskussion der Betriebsstör- und Notfallanweisungen mit den Schichtgruppen
- Vorbereiten und Durchführen von Notfallübungen
- Einsatz als Schichtchef im Bedarfsfalle
- Erstellen von Störberichten
- Kontrolle der durchgeführten Wiederholungsprüfungen während seines Pikett-Dienstes.

Für Zweiblockanlage zur Zeit 8 PI im Einsatz:

- im Ressort Betrieb
  - Ressortleitung Betrieb (Hauptressort)
  - Stellvertretung der Ressortleitung und Handhabung von Brennstoffen und radioaktiven Rückständen
  - Ausbildung Betriebspersonal
  - Betriebsführung, d.h. Betreuung der Schichtgruppen
- im Ressort Maschinentechnik
  - Instandhaltung
  - Projektierung
- im Ressort Elektrotechnik
  - Projektierung
- im Ressort Administration
  - Personalwesen und Ausbildungscoordination

für Einblockanlage zur Zeit 7 PI im Einsatz:

- ausschließlich in Abteilung Betrieb
  - Abteilungsleitung Betrieb (Hauptressort)
  - Stellvertretung der Abteilungsleitung und wiederkehrende Prüfungen
  - Ausbildung Betriebspersonal
  - Betriebsstatistik
  - Brennstoffwechsel und Überwachungscomputer
  - Abfallaufbereitung und mech. Nachrüstung
  - elektrische Nachrüstung und elektrotechnische Sonderaufgaben
  - Betriebsvorschriften (sobald der sich z.Z. noch im Ausbildungsgang befindliche PI zum Einsatz kommt. Dafür fällt die Abteilungsleitung Betrieb dann weg).

Tab. 4 Zuständigkeiten der PI außerhalb ihres  
Pikettdienstes im Nebenressort [7]

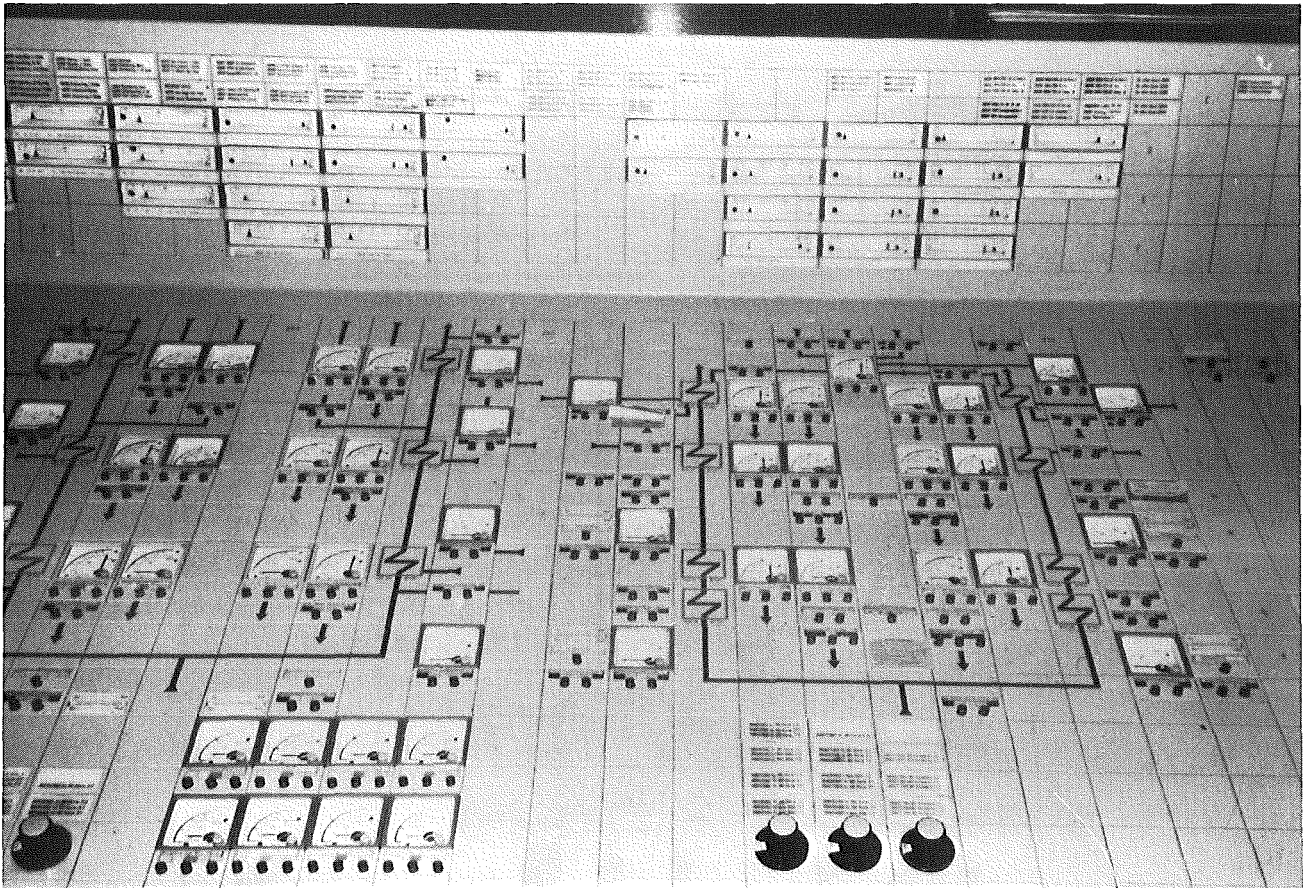


Abb. 6.1 Pultausschnitt aus einer 770 MWe-Anlage

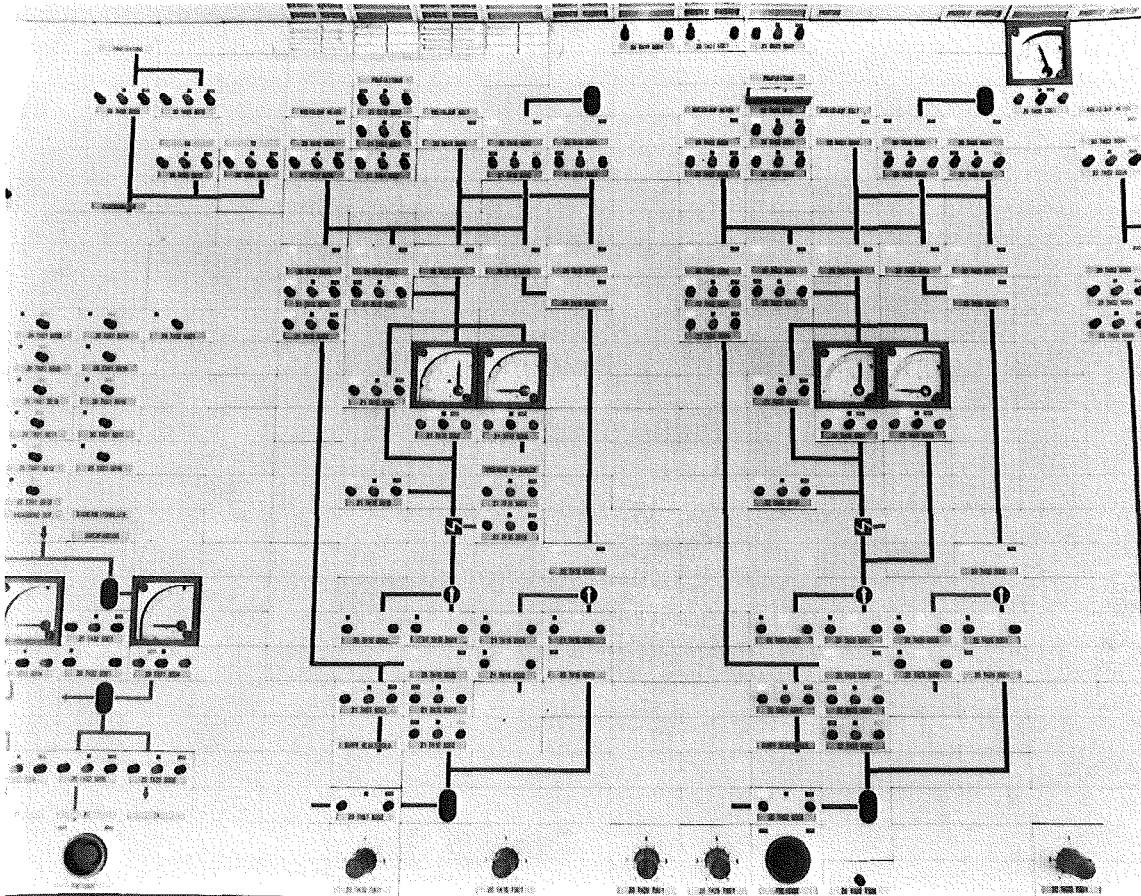


Abb. 6.2 Pultausschnitt aus einer 1300 MWe-Anlage



Normalbetriebs vollständig gefahren werden, wobei An- und Abfahren eingeschlossen sind. Der Zugriff zu den Komponenten erfolgt überwiegend über Funktionsgruppensteuerungen; das sind Automaten, die eine Reihe von Einzeloperationen zu einer übergeordneten zusammenfassen. Der Zugriff auf eine einzelne Komponente ist in der Regel vom Hauptleitstand aus nicht möglich. Anzeigen und Meldungen sind überwiegend Übersichtsanzeigen bzw. Sammelmeldungen. Sie werden dabei in abgekürzter Form über Meldeschlitze angezeigt. In der Regel sind sie Teil eines konventionellen festverdrahteten Systems und ergänzen das bei allen Anlagen vorhandene Rechnermeldesystem.

Das Rechnermeldesystem basiert auf einem oder bei neueren Anlagen mehreren Prozeßrechnern, wobei die Informationsdarstellung hauptsächlich über Datensichtgeräte erfolgt. Die Anzahl der Sichtgeräte im Hauptleitstand beträgt bei älteren Anlagen 2 bis 3, bei neueren bis zu 6, wobei hier überwiegend auch Farbbildschirme zum Einsatz kommen.

Funktionell an zweiter Stelle steht der Nebenleitstand. Der Nebenleitstand enthält alle Anzeigen und Einzelsteuerungen. Er ist bedeutend reichhaltiger mit Anzeigen und Betätigungselementen ausgestattet. Alle Funktionen, die am Hauptleitstand durch die Funktionsgruppensteuerungen zusammengefaßt sind, können hier einzeln ausgeführt werden. So läßt sich der Ablauf von Aktionen von hier aus im Detail kontrollieren. Redundante Systeme sind einzeln repräsentiert. Die Anordnung der Anzeigen und Betätigungselemente in Fließbildern ist meist erheblich weiter getrieben und damit umfangreicher als am Hauptleitstand. Sichtgeräte finden auch hier, insbesondere bei neueren Anlagen, Anwendung. Komponenten des Nebenleitstandes, wie etwa Stromversorgungen und Lüftungssysteme, sind teilweise in die Wandtafeln verlegt.

Die Wandtafeln bilden das dritte funktionelle Teilsystem der Warte. Als wichtigstes Element ist hier die Reaktorschutztafel anzusehen, die die sicherheitstechnisch relevanten Informationen über die Anlage enthält und über die automatisch ablaufenden Sicherheitsaktionen unterrichtet. Das Reaktorschutzsystem ist ein festverdrahtetes, von den anderen Systemen vollständig unabhängiges System. Meldungen aus diesem System werden in Kurzform über Meldeschlitze angezeigt. Die gleichen Meldungen, jedoch

in ausführlicherer Form, erscheinen auch auf den Datensichtgeräten des Hauptleitstandes. Neutronenfluß- und Steuerstabstellungsanzeigen sind normalerweise ebenfalls in die Wandtafeln integriert. Einen weiteren wesentlichen Bestandteil bilden die Registriergeräte zur Langzeitdokumentation der wichtigsten Prozeß- und Betriebsgrößen.

In der Reihenfolge der Inbetriebnahme der verschiedenen Kernkraftwerke zeichnet sich folgender Entwicklungstrend ab: Bei der ältesten Anlage wird eine Trennung zwischen Haupt- und Nebenleitstand im heutigen Sinne noch nicht gemacht. Es existiert nur ein Fahrpult. Das Fahrpult enthält sowohl Funktionsgruppensteuerungen als auch Einzelsteuerungen. Untergeordnete Systeme sind in die Wandtafeln verlegt.

Bei diesen älteren Anlagen sind die Betätigungs- und Anzeigeelemente auf den Pulten in Blindschaltbilder integriert und so weit wie möglich räumlich richtig zugeordnet. Allerdings erlaubt die Packungsdichte der Elemente keine allzu große Strukturierung. Aus diesem Grunde verliert die räumlich richtige Anordnung wieder etwas an Übersichtlichkeit und Klarheit, da sich die zur Verfügung stehende Fläche nicht beliebig vergrößern läßt. Die nutzbare Pultfläche beträgt ca. 0,75 (15 Raster) x 11 m, die nutzbare Fläche des Pultaufsatzes etwa 0,2 (4 Raster) x 1 m. Hier sind fast ausschließlich Anzeigeelemente und Meldeschlitze angeordnet, wie in Abb. 6.1 erkennbar. Die Zuordnung der Anzeigeelemente zu den Meßstellen in den Blindschaltbildern ist aufgrund der vorliegenden Konzeption nicht ganz anschaulich, im Gegensatz zu der Konzeption der Wandtafeln, wie aus Abb. 6.3 erkennbar.

Am Beispiel einer späteren Anlage kommt es dann zu einer klaren Trennung von Haupt- und Nebenleitstand. Die beiden Pulte sind völlig eigenständig angeordnet. Der Hauptleitstand befindet sich seitlich vom Nebenleitstand, d.h. der Nebenleitstand liegt nicht in Blickrichtung des Hauptleitstandes. Das Pult des Hauptleitstandes hat eine Höhe von 13 Rastern, der Pultaufsatz 6,5 bei einer Länge von ca. 4 m. Die Anzeigen und Funktionsgruppensteuerungen auf dem Pult sind zwar auch in Blindschaltbilder integriert, jedoch sind diese meist nur fragmentweise vorhanden. Der Pultaufsatz ist über die oberen 4 Rastern mit Anzeigeelementen und die restlichen unteren 2,5 mit Meldeschlitzen versehen, wobei in der Regel über

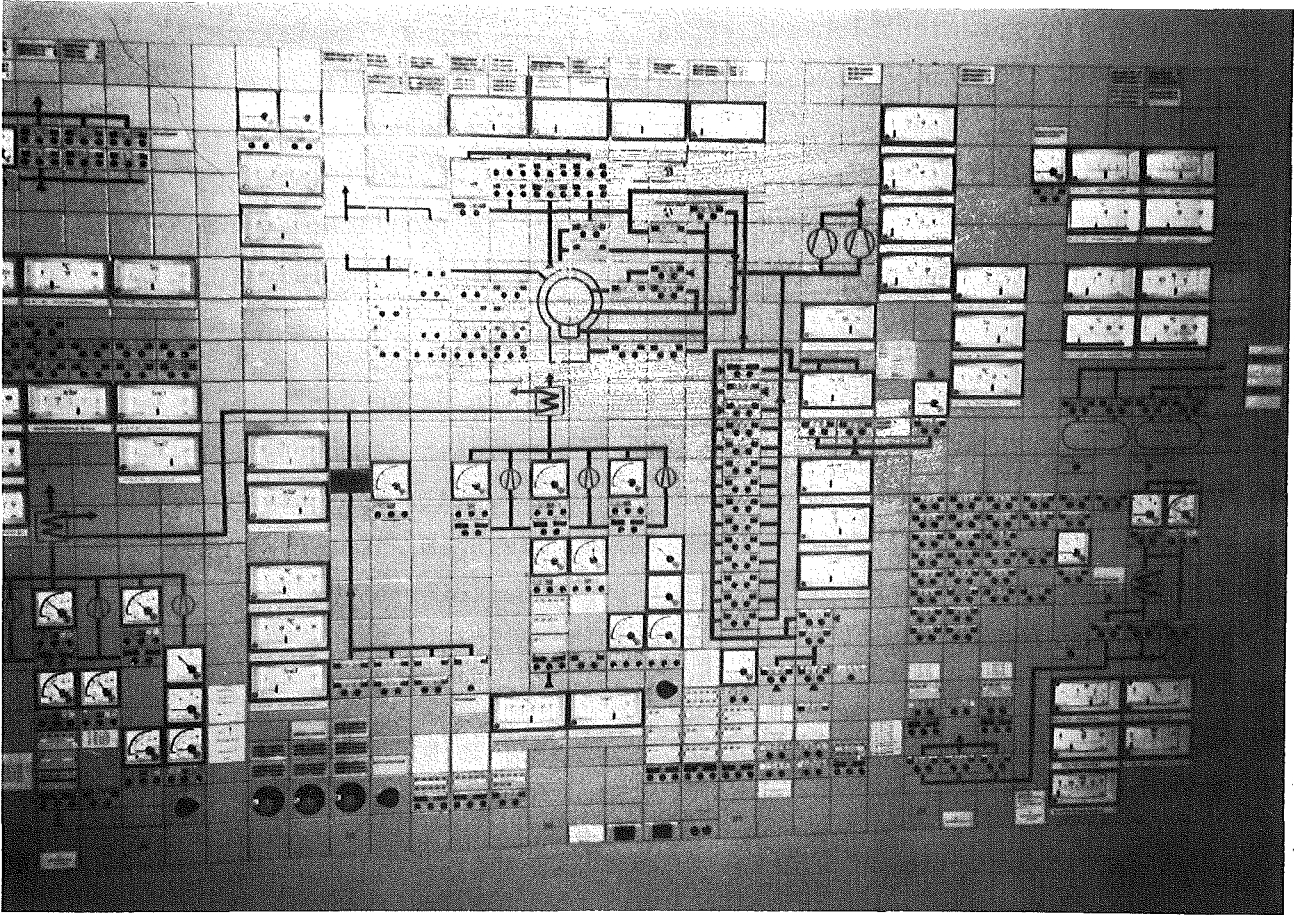


Abb. 6.3 Ausschnitt aus einer Wandtafel

1 Raster 6 Meldeschlitze vorhanden sind. Daneben trägt der Aufsatz noch drei Schwarz-Weiß-Datensichtgeräte, Abb. 6.4.

Der Nebenleitstand weist die gleiche Rasterung von 13 bei einer Länge von ca. 12 m auf. Die Integration der Bedienelemente und Anzeigen in Blindschaltbildern ist ähnlich der bereits beschriebenen Ausführung, d.h. die Bilder sind verhältnismäßig ausführlich; durch die gewählte Anordnung geht auch hier die Übersichtlichkeit etwas verloren. Aus diesen Erfahrungen heraus hat man eine ähnliche Anlage hinsichtlich der Blindschaltbilder etwas großzügiger strukturiert. Der Pultaufsatz trägt im unteren halben Raster überwiegend Meldeschlitze; darüber sind bis zu 6 Anzeigeelemente übereinander angeordnet. Auch hier ist die räumliche Zuordnung zu den Meßpositionen in den Blindschaltbildern nicht ganz leicht einzusehen.

Die Wandtafeln unterscheiden sich nicht allzu sehr von denen der bereits beschriebenen, mit einer Ausnahme. Im Sichtbereich hinter dem Hauptleitstand befindet sich eine mit Meldefeldern versehene Tafel, Abb. 6.4. Diese Tafel basiert auf einem festverdrahteten System, das beim Ansprechen dem Operateur eine bestimmte Handlung innerhalb einer definierten Zeit vorschreibt. Dadurch können verschiedene Handmaßnahmen angewiesen werden (z.B. sekundäres Abfahren nach Primärleck), die heute i.a. automatisiert sind. Allerdings ist die Anzahl der möglichen Anweisungsmeldungen verhältnismäßig niedrig.

Bei neueren Wartenkonzeptionen sind Haupt- und Nebenleitstand hintereinander angeordnet. Der Pultaufsatz des Hauptleitstandes ist niedriger geworden. Er umfaßt nur noch eine Höhe von 2 Rastern. Hier sind überwiegend Meldeschlitze angeordnet, und nur im oberen halben Raster befinden sich einige Anzeigeelemente für wichtige Prozeßparameter (Abb. 6.5). Der größte Teil der konventionellen Anzeigeelemente befindet sich in einem neu konzipierten Instrumententräger hinter dem Hauptleitstand. Der Hauptgrund für die Einführung des separaten Instrumententrägers liegt in der Unterbringung der Datensichtgeräte unter optimalen Sichtbedingungen. Diese Anordnung erlaubt es, durch eine differenzierte Beleuchtung die Lesbarkeit der Bildschirminformation zu verbessern. Da auf dem Instrumententräger aber auch eine große Anzahl konventioneller Instrumente angeordnet ist, die entweder eine größere Ausführung oder eine höhere Beleuchtungsstärke erfordern,

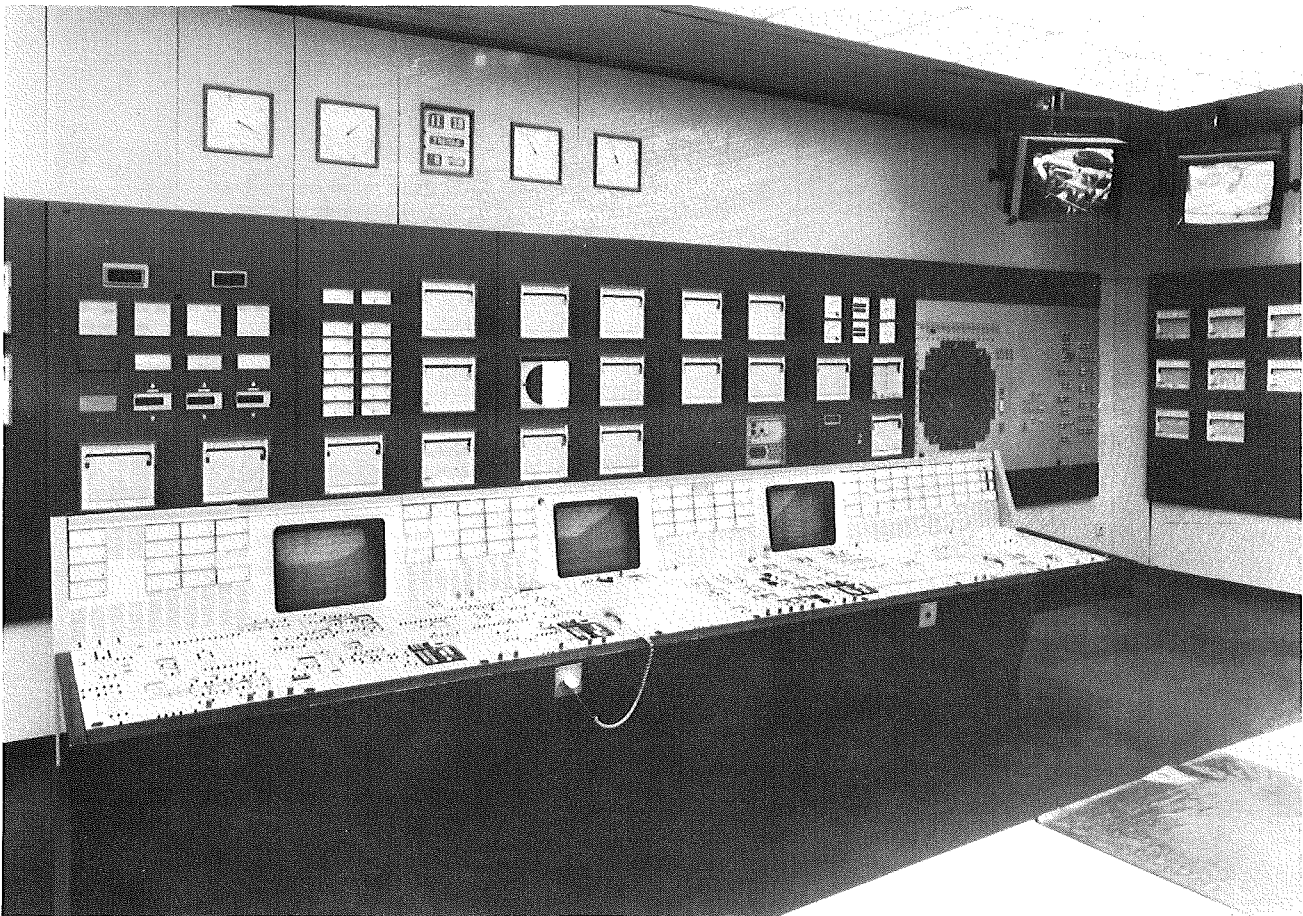


Abb. 6.4 Fahrpult mit dahinter liegender Anweisungstafel (links)

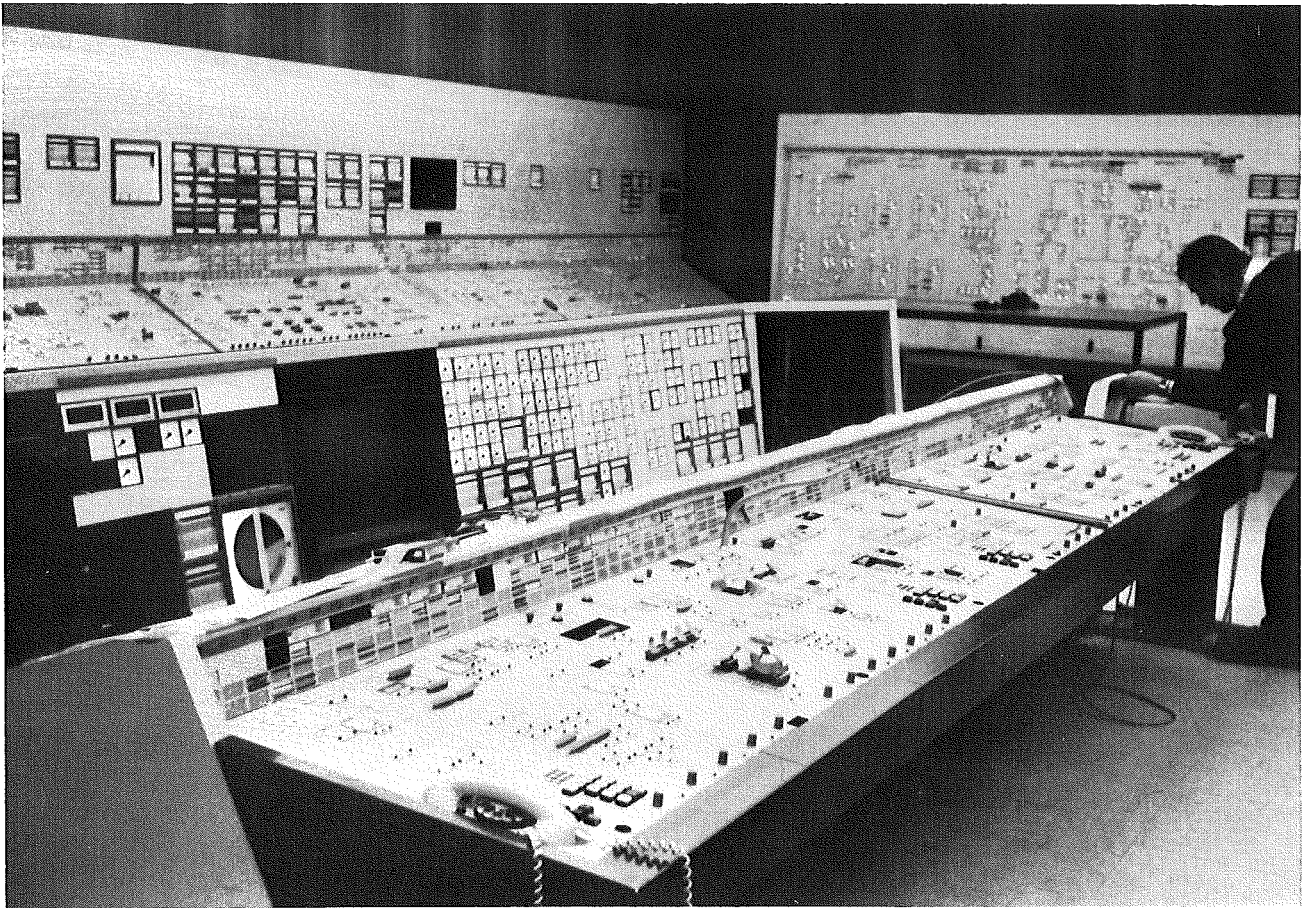


Abb. 6.5 Blick in eine neuere Warte

ist man offensichtlich bei einer anderen Anlage von der differenzierten Beleuchtung wieder abgekommen. Das hat zur Folge, daß hierdurch die Lesbarkeit der Sichtgerätedarstellung wieder verschlechtert wurde.

Im Vergleich zu älteren Anlagen ist die Anzahl der Daten, aber auch der Eingriffsmöglichkeiten größer geworden, wie in Abb. 6.6 gezeigt. Da die zur Verfügung stehenden Pulte der Überschaubarkeit wegen nicht wesentlich vergrößert wurden, ist die Anordnung der Bedienungselemente und Anzeigen auch etwas kompakter, mit dem Resultat, daß die Unterbringung in Fließbildern nicht mehr so umfangreich möglich ist. Fließbilder sind zwar nach wie vor vorhanden, jedoch überwiegend in reduzierter Form. Dies trifft insbesondere auf den Nebenleitstand zu. Der Nebenleitstand ist an der Wand über die gesamte Wartenbreite angeordnet (Abb. 6.5).

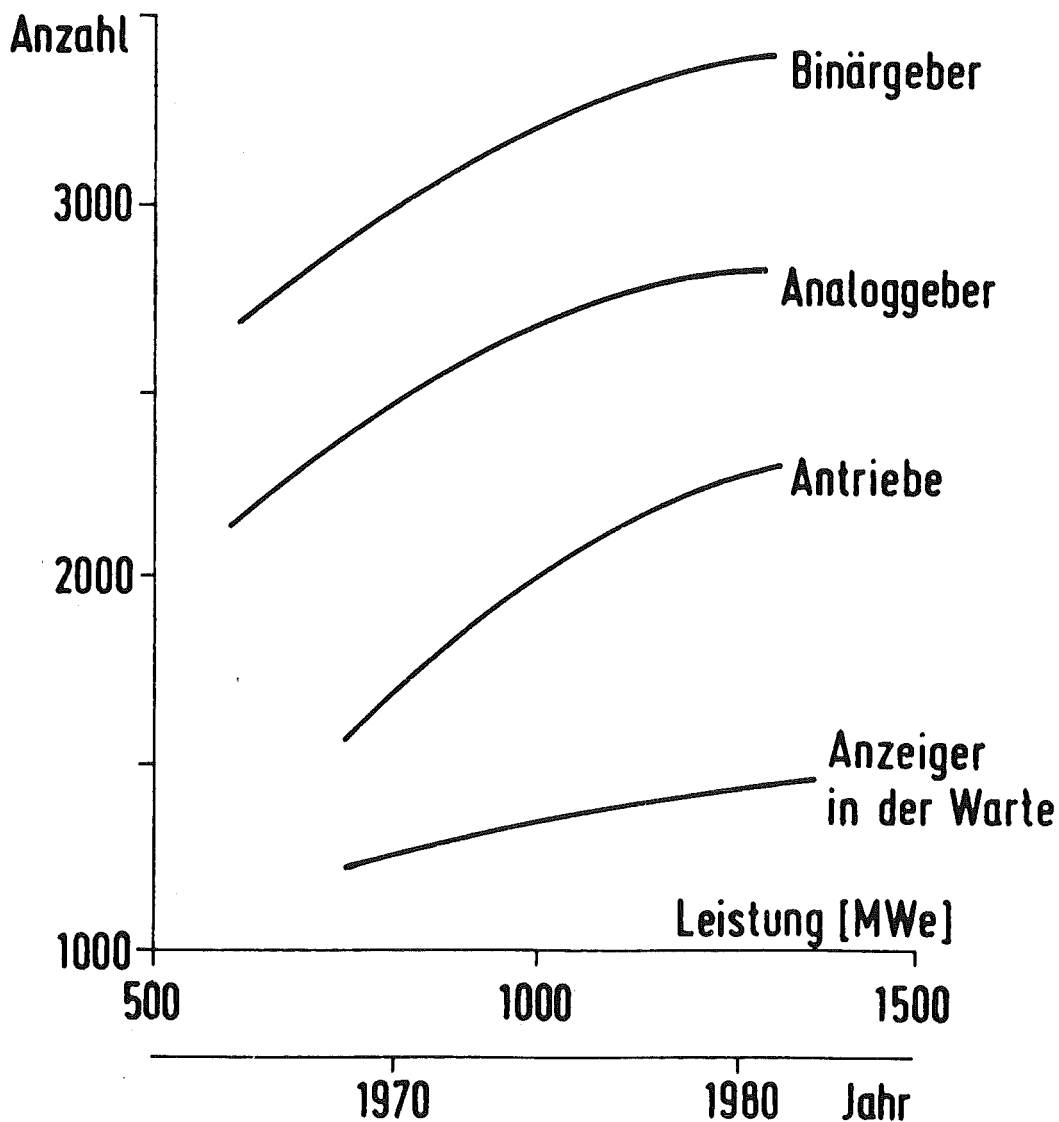


Abb. 6.6 Entwicklung der Anzahl von Anzeigen, Antrieben und Gebern in Abhängigkeit vom Baujahr, bzw. Leistung nach KWU-Informationen

Die Pultfläche umfaßt dabei 12 Raster über eine Länge von ca. 15 m. Der Pultaufsatz ist in die Wand integriert und umfaßt 4 Raster, wobei im unteren Raster überwiegend Meldefelder, in dem oberen überwiegend Anzeigeelemente untergebracht sind. Sowohl Haupt- als auch Nebenleitstand einschließlich Instrumententräger sind so angeordnet, daß vom Standpunkt des Operateurs vor dem Hauptleitstand alle Pannelflächen ohne gegenseitige Überdeckung eingesehen werden können. In Abb. 6.5 ist diese Staffelung gut sichtbar. In dem verbleibenden Wandtafelteil über dem Pultaufsatz des Nebenleitstandes sind die Registriergeräte zur Langzeitdokumentation untergebracht.

Die linke Wartenwand trägt die Reaktorschutztafel, die rechte Stromversorgung, Belüftungssysteme usw.

Bei den älteren Anlagen wird auf den rechnergesteuerten Bildschirmen nur alphanumerische Information gegeben. Bei der neuesten Anlage (sie geht gerade in Betrieb) zeichnet sich ein erster Schritt zur graphischen Darstellung ab. Alle Analogwerte werden auch als farbige Balken dargestellt. Grenzwerte sind eingblendet. Bei Grenzwertüberschreitungen kommt es zu einem Farbwechsel (von Grün auf Rot) des jeweiligen Balkens. Graphische Darstellungen von Fließschemen, funktionalen Verläufen und dergl. sind jedoch für die nächste Anlagengeneration vorgesehen [14].

Bei z. Z. in Bau und Planung befindlichen noch weiter fortgeschrittenen Systemen wird der Einsatz von Sichtgeräten insgesamt ausgeprägter sein, was durch einen verstärkten Prozeßrechnereinsatz ermöglicht wird. Damit ist es denkbar, daß ein großer Teil der bisher konventionellen Anzeigen und Betätigungselemente überflüssig wird und der Dialog mehr über Sichtgeräte erfolgen kann. Konventionelle Anzeigen und Betätigungselemente sind zwar noch vorhanden, aber nur insoweit, als die Anlage beim Ausfall der Rechner noch beherrscht werden muß. Auch wird es allgemein für notwendig gehalten, Veränderungen des Anlagezustandes vor dem statischen Hintergrund der konventionellen Schaltpulte erkennen zu können. Die Anordnung der Pulte und Wandtafeln wird beibehalten. Vom Hauptleitstand aus kann der Operateur alle Pulte und Tafeln einsehen. Sowohl Pultlänge als auch Anzahl der Betätigungselemente und Anzeigen sind gegenüber bisherigen Anlagen weiter reduziert, der Automatisierungsgrad ist höher. Das Pult des Hauptleitstandes umfaßt in seiner Höhe 13 nutzbare Raster. Der Pultaufsatz, 2 Raster hoch, trägt nur Meldefelder. Bei der Bemessung des Pultes des Instrumententrägers und der Wandtafeln sind anthropometrische Erkenntnisse ausgewertet worden, z.B. 72 mm-Raster.



Die Anordnung der Anzeigen und Betätigungselemente auf den Pulten erfolgt, sehr gut strukturiert, in übersichtlichen Fließbildern. Abb. 6.7 zeigt einen Ausschnitt aus einer Modellanlage. Die im Instrumententräger angeordneten 8 Farbsichtgeräte sind weniger ausgeleuchtet als die übrigen Pulte und Tafeln, um die Lesbarkeit der Bildschirminformation zu verbessern. (Dies ist ein allgemeines Problem in der Wartengestaltung.) Bei den konventionellen Anzeigeinstrumenten im Instrumententräger ist deshalb hinsichtlich Kontrast, Farbgestaltung und Instrumentengröße besondere Aufmerksamkeit erforderlich. Die unterschiedlichen Beleuchtungsstärken lassen sich durch besondere Leuchtrasterdecken erzielen. Aufbau und Anordnung des Nebenleitstandes und der Wandtafeln ähneln sehr stark den bereits beschriebenen Ausführungen. Auch hier wird versucht, die Anzeigeinstrumente und Betätigungselemente in logische Fließschemen zu integrieren. Es ist bemerkenswert, daß an der einzigen zur Zeit bereits in Betrieb gehenden Anlage mit zumindest allen wesentlichen äußeren Gestaltungsmerkmalen dieses Wartekonzeptes die unterschiedliche Beleuchtungsstärke zwischen Instrumententräger und Pult nicht realisiert wurde, ebenso die Fließbilder auf Andeutungen reduziert worden sind.

#### Kontrolleuchten

Die Betriebs- und Ruhezustände, teilweise auch die Übergangphasen der einzelnen Komponenten (Ventile, Antriebe), aber auch die der Funktionsgruppen (als Einheit), werden über Kontrollampen angezeigt. Diese Anzeigen sind Bestandteil der Betätigungsbausteine und als Einheit in die Fließbilder integriert. Bei älteren Anlagen weisen die Bausteine 5 Lampenfelder auf, von denen in der Regel aber nur die äußeren und das mittlere benutzt werden. Neuere Anlagen verfügen über 3 Felder (teilweise sogar nur über zwei), die mit Signallampen versehen sind. Der verwendete Farbcode ist bei deutschen Anlagen bisher nicht einheitlich, wie das aus Tab. 5 hervorgeht. Einheitlich ist jedoch die Anordnung der Lampen. Die linke Kontrolleuchte signalisiert normalerweise "aus, geschlossen", die mittlere Übergangszustand und die rechte "geöffnet, ein".

#### Datensichtgeräte - Prozeßrechner - Meldesysteme

Datensichtgeräte bilden die wichtigste Kommunikationsbasis zwischen Operateur und Anlage. Sie sind Bestandteil der bereits schon bei älteren

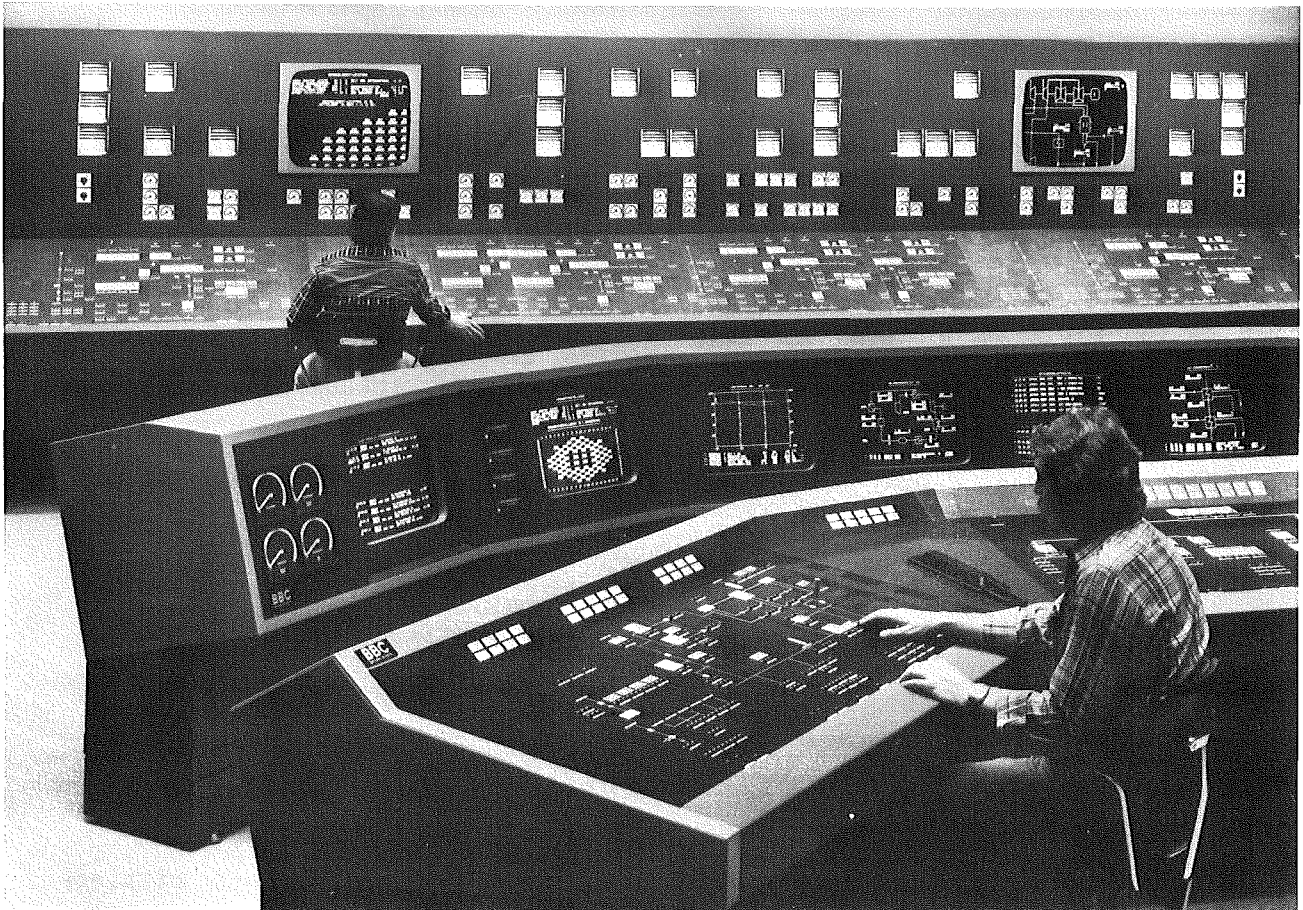


Abb. 6.7 Blick in eine Modell-Warte

Anlage	Anordnung und Farbe der Kontrolleuchten			geschlossen außer Betrieb	Änderung	Störung	Zwischenstufe	geöffnet in Betrieb
	links	Mitte	rechts					
1	grün			statisch				
		weiß			blinkend		statisch	
			rot					statisch
2	weiß			statisch	blinkend			
		rot				statisch		
			rot		blinkend			statisch
3	grün			statisch	blinkend			
		rot				blinkend		
			weiß		blinkend			statisch
4	weiß			statisch	blinkend			
		rot				blinkend doppelte Frequenz		
			grün		blinkend			statisch
5	weiß			statisch	blinkend			
		rot				blinkend		
			grün		blinkend			statisch
6	grün			statisch				
		weiß			blinkend			
			rot					statisch

Tab. 5 Bedeutung und Anordnung der Kontrolleuchten bei verschiedenen Anlagen. (Die Tabelle gibt nur einen pauschalen Überblick, sie gilt nicht für alle vorhandenen Betätigungselemente. Für Regler und Antriebe werden meist Elemente mit zwei Lampenfeldern eingesetzt, wobei das linke auf eine Störung hinweist, das mittlere entsprechend den Farbkennungen der Tabelle den Zustand "ein" oder "aus" signalisiert, Abb. 6.12)

Anlagen eingeführten Rechnermeldesysteme. Diese Systeme enthalten 1 bis 2 Prozeßrechner, die auch noch andere betriebliche Aufgaben erfüllen. In der Warte befinden sich etwa 2 bis 4, zunächst nur Schwarz-Weiß-Sichtgeräte. Jedes Gerät kann etwa 10 Meldungen darstellen. Sowohl Hinweis- als auch Gefahrenmeldungen kommen zur Anzeige. Die Meldungen werden in der zeitlichen Reihenfolge ihres Auftretens wiedergegeben. Eine prioritätenorientierte, gestaffelte Wiedergabe erfolgt bei den bis jetzt in Betrieb gegangenen Anlagen nicht. Wird die Bildschirmkapazität überschritten, so werden die ältesten (obenstehenden) Meldungen in einen latenten Speicher verschoben. Seine Kapazität beträgt etwa 2 bis 3 Bildschirmhalte. Die Meldungen bleiben dort in Abhängigkeit von der Gesamtkapazität über einen bestimmten Zeitbereich greifbar. Neu ankommende, aber auch infolge von Systemeingriffen abgesetzte Meldungen ("gehende Meldungen"), werden durch blinkende Anzeige markiert. In der Regel ist mit dem Auftreten der ankommenden Meldung auch ein akustisches Signal verbunden. Blinkende Anzeige bleibt bis zur Quittierung bestehen. Die Quittierung erfolgt pauschal für alle gleichzeitig blinkenden Meldungen. Eine individuelle Quittierung ist nicht möglich.

Parallel zu den Displaydarstellungen werden alle Meldungen auch über Drucklisten in Betriebs- und Störfallprotokollen festgehalten. Auf diese Weise ist später eine genaue Rekonstruktion der Abläufe möglich. Für bestimmte, überschaubare Störfallabläufe gibt es fest programmierte Störfallablaufprotokoll-Prozeduren (STAP), die bei der Erfüllung bestimmter Kriterien automatisch ablaufen. Sie registrieren aufgrund der vorher festgelegten Logik die Vor- und Nachgeschichte eines Ablaufes einschließlich aller relevanter Daten.

Fällt das Prozeßrechnersystem aus, so übernimmt ein festverdrahtetes Meldesystem teilweise seine Aufgabe. Das System ist in der Regel so ausgelegt, daß ein zeitlich begrenzter Weiterbetrieb bzw. ein Abfahren der Anlage möglich ist. Die Meldungen erscheinen dann in Kurzform in den Meldeschlitzen und -feldern der Pulte. Bei intakten Prozeßrechnersystemen werden diese Meldungen bei einzelnen Anlagen unterdrückt.

Diese Aufteilung der Meldesysteme ist auch bei neueren Anlagen beibehalten worden. Das Aufgabenspektrum der Prozeßrechner ist umfangreicher geworden. Fortschrittliche Systeme sehen bis zu 4 Prozeßrechner

gleichzeitig vor, wobei beim Ausfall einzelner von ihnen die Aufgaben entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Relevanz von den anderen übernommen werden. In der Weiterentwicklung der Display-Technik tauchen zunächst Farbsichtgeräte für die Textverarbeitung auf. Diese Geräte erlauben es, einen Farbcode für Meldungen entsprechend ihrer Priorität zu verwenden.

Bei den neuesten, noch in der Konzipierungsphase befindlichen Anlagen sind bis zu 10 und mehr Farbsichtgeräte vorgesehen. Neben der reinen Textverarbeitung versucht man auch, graphische Darstellungen in die Systeme mit einzubeziehen. Dabei zeichnen sich vier Darstellungsarten ab:

- Darstellung von Kreisläufen und Untersystemen in Fließschaltbildern mit Einblendung der relevanten Prozeß- und Zustandsgrößen. Dies ist die kompakteste Art der Darstellung. Abb. 6.8 zeigt ein derartiges Beispiel.
- Darstellung von Zuständen, Verteilungen, Stellungen usw. in räumlich oder querschnittsmäßig richtig angeordneten Graphen, wie in Abb. 6.9 gezeigt.
- Darstellung von Prozeßgrößen in Balkendiagrammen, wie in Abb. 6.10 gezeigt.
- Darstellung von Prozeßgrößen in Diagrammen mit meist zeitlichem Verlauf unter Einbeziehung der Vorgeschichte, wie in Abb. 6.11 a,b gezeigt.

Neben diesen Grundformen sind alle denkbaren Kombinationen möglich.

Die Einführung von Farbsichtgeräten ist nicht ganz problemlos. Sowohl Informationsdichte als auch Art der Darstellung und Farbcodierung haben bisher noch nicht den optimalen Stand erreicht. Obwohl bereits eine Reihe von Arbeiten über optimale Bildschirmdarstellungen vorliegt [21,22], sind die Erkenntnisse bisher nur wenig systematisch verwirklicht. Die offenen Probleme reichen hier von der Raumbelichtung bis zur Farbdarstellung auf den Sichtgeräten selbst, wo noch Farbkombinationen und Kontraste verwendet werden, die selbst vom gesunden Auge nur schwer zu unterscheiden sind. Dies führt dazu, daß es Stimmen gibt,

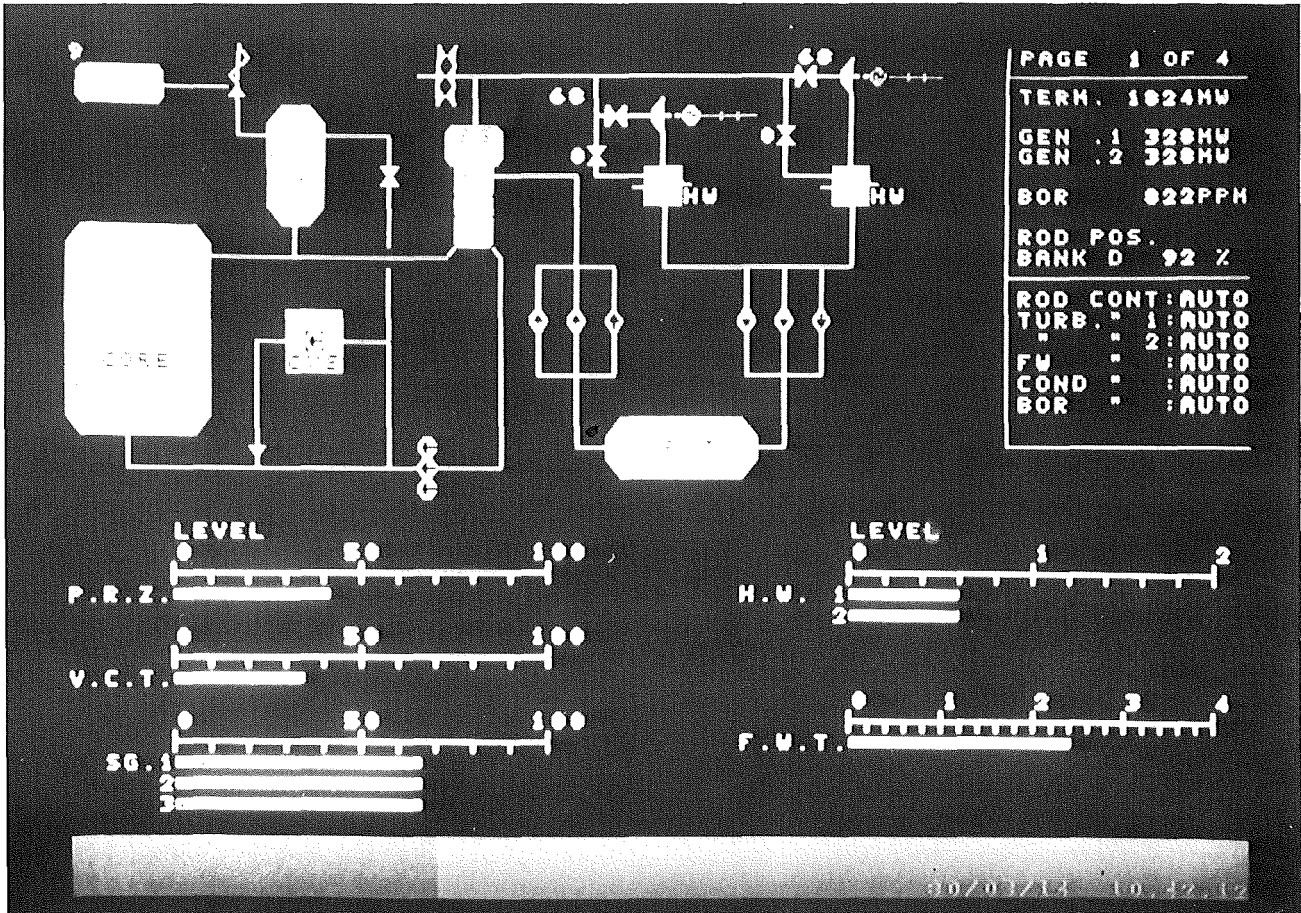


Abb. 6.8 Fließbilddarstellung mit Einblendung der wichtigsten Prozeßparameter, teilweise in Balkendiagrammdarstellung

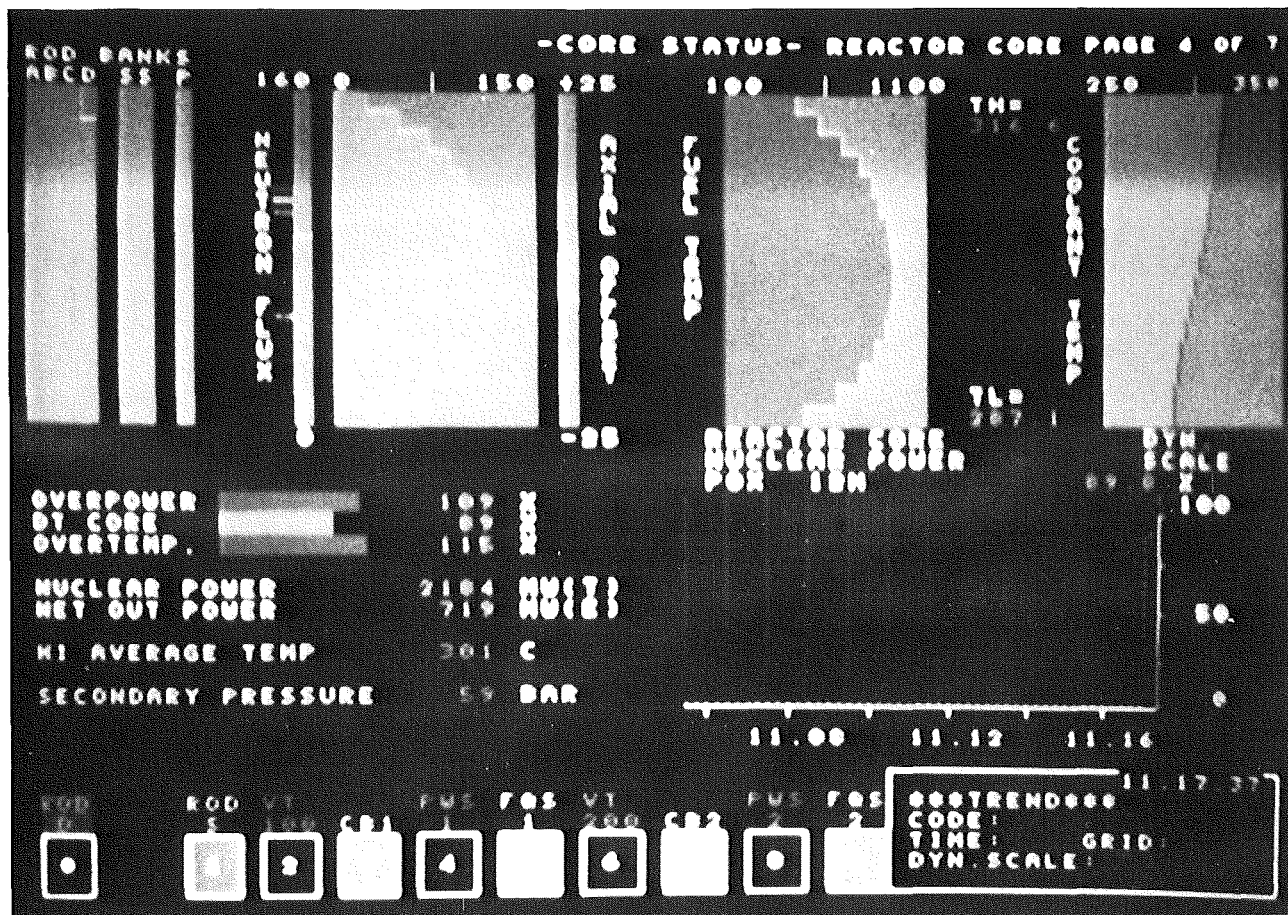


Abb. 6.9 Graphendarstellung von Prozeßparametern

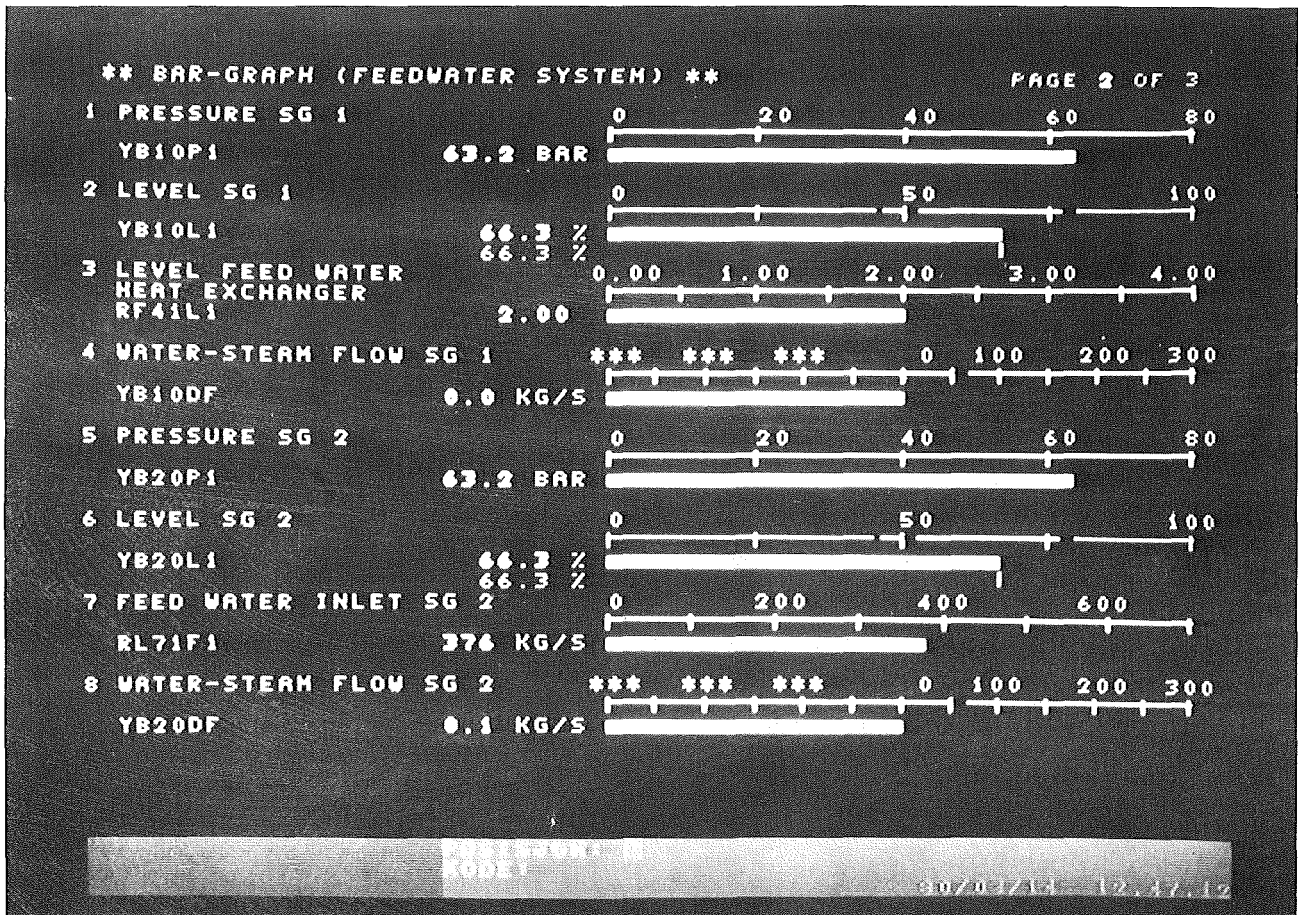


Abb. 6.10 Balkendiagrammdarstellung





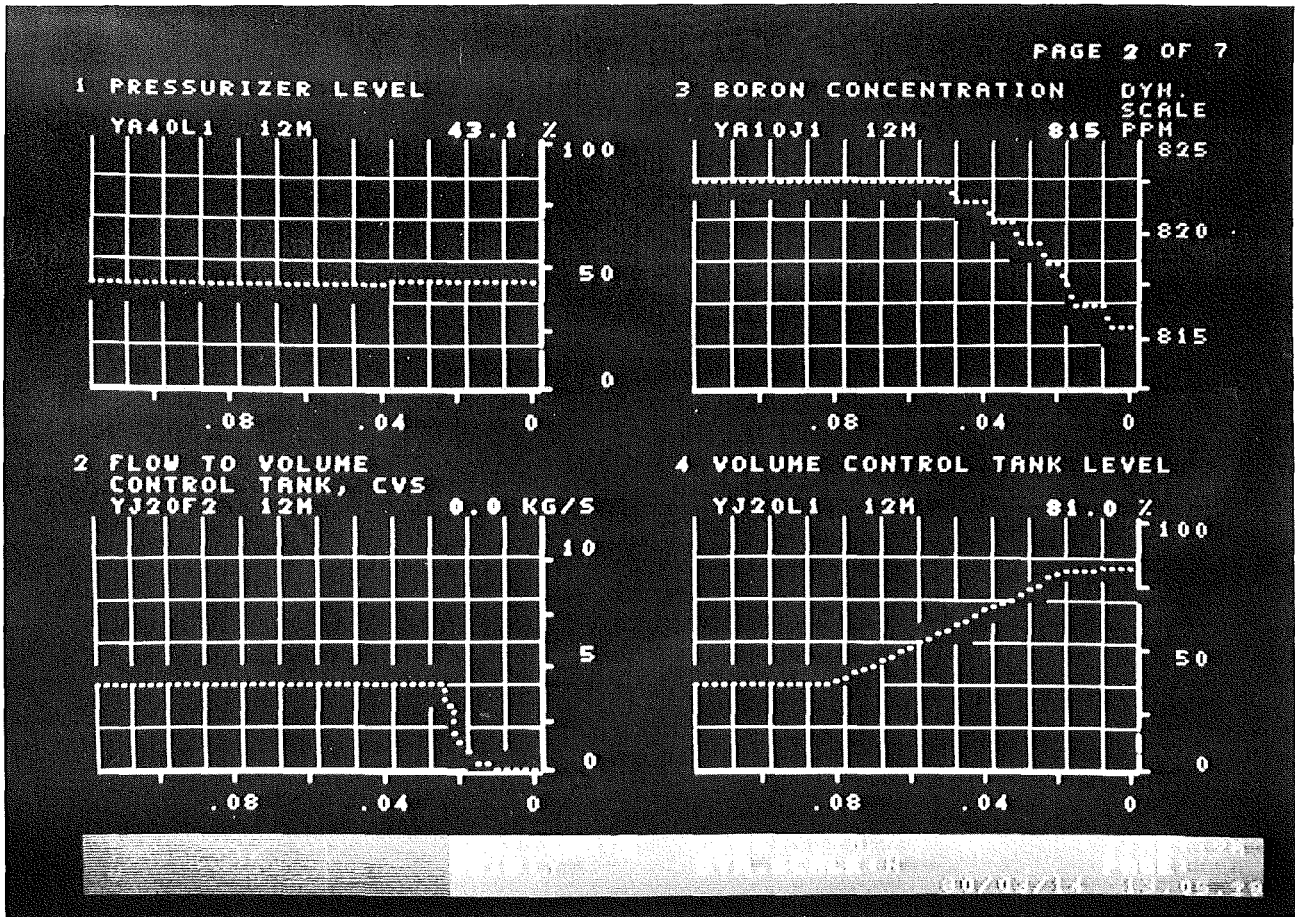


Abb. 11b Diagramm­darstellung von Prozeßgrößen unter Einbeziehung der Vorgeschichte

die Farbbildschirme wegen ihrer Mehrdeutigkeit vollständig ablehnen. Wird dieser Problematik jedoch Rechnung getragen, so bietet der Farbbildschirm aber eine zusätzliche Dimension gegenüber den herkömmlichen Schwarz-Weiß-Geräten.

### Alarmhierarchie

Das Problem der Alarmhierarchie, d.h. die Unterdrückung weniger wichtiger Meldungen im Gefahrenfall, ist bis heute nicht eindeutig gelöst. Zwar werden Meldungen entsprechend z.B. den KTA-Gefahrenklassen [24] spezifiziert, jedoch erfolgt am Bildschirm keine Informationsreduktion. Neuere Konzepte sehen neben der Ausblendung redundanter Meldungen eine stufenweise Datenreduktion vor [55]. Von den in einem 1300 MWe-Kernkraftwerk möglichen etwa 3600 Gefahren- und Zustandsmeldungen werden in der ersten Stufe alle Zustands- und etwa die Hälfte aller Gefahrenmeldungen unterdrückt. Reicht die Reduzierung noch nicht aus, so erfolgt eine weitere Reduktion von 1800 auf etwa 600. Die Grundlage für die Informationsreduzierung bildet dabei die bereits zitierte Klassifizierung gemäß KTA. Inwieweit die Reduzierung im Verhältnis von etwa 1 : 2 : 3 bei einem Störfall wirklich ausreicht, läßt sich bisher nicht eindeutig beantworten, jedoch ist es sicherlich ein Schritt in die richtige Richtung. Die Datenreduktion bedeutet nicht, daß Informationen verlorengelassen werden, da sie über die Betriebsablauf- und Störfallprotokolle dokumentiert werden; jedoch sind sie im Augenblick für den Operateur nicht verfügbar.

Nach unserer Auffassung bedarf das Problem der Alarmhierarchie weiterer Untersuchungen. Es sollte an einer Anzahl komplexer, tatsächlich vorgekommener wie auch denkbarer kritischer Störungskombinationen der Einfluß des Meldesystems und ggf. vorgenommener Informationsbegrenzung auf Diagnose und Prognose untersucht werden.

### Akustische Signale

Gefahrenmeldungen und Grenwertüberschreitungen sind neben der optischen Anzeige über Sichtgeräte oder Meldefelder (-schlitze) auch mit akustischen Meldungen verbunden. Die Differenzierung der Signale erfolgt bei älteren Anlagen nicht nach der Art der Meldung, sondern nach

Pultabschnitten. Bei neueren Anlagen strebt man eine Differenzierung gemäß den KTA-Gefahrenklassen an. In Tab. 6 ist ein Beispiel angeführt. Darüber hinaus ist noch angegeben, welcher Farbcodierung die Meldung auf den Sichtgeräten (Meldefelder) entspricht.

Akustische Signale werden, sofern sie einzeln auftreten, als hilfreich angesehen. Im Gefahrenfall, wenn diese Meldungen gehäuft auftreten, ist ihre Bedeutung jedoch umstritten, da sie mehr verwirrend als differenzierend wirken können. Akustische Meldungen in Form von menschlichen Stimmen werden in den bekannten Warten bisher nicht verwendet.

Bei den bisher in Betrieb genommenen Anlagen wird eine Handdokumentation von Betriebsdaten verlangt, um die Aufmerksamkeit des Operateurs für langsame Veränderungen zu schärfen und die Monotonie des Schichtdienstes zu vermindern, obwohl ausreichende Protokolle ja im Grundsatz durch den Rechner geliefert werden.

Das Problem der Ablage und der Schreibunterlage ist in den von uns besuchten Warten ungelöst. In einer Anlage sahen wir einen gewöhnlichen Tisch, der vor den Hauptleitstand gestellt worden war und eine gewisse Behinderung darstellte; bei einer anderen Anlage wurde der Aufsatz des Hauptleitstandes als Ablage benutzt. Wir sind überzeugt, daß sich einfache Lösungen (z.B. ausklappbare Unterlage) finden lassen, ohne daß kostbarer Pultbereich in Anspruch genommen werden muß.

#### Bewertung der ergonomischen Wartengestaltung

Die Beurteilung ergonomischer Aspekte bei der Gestaltung der Warten in deutschen Kernkraftwerken stand nicht im Mittelpunkt unserer Arbeit. Hier hat sich inzwischen eine intensive Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Betreibern und Gutachtern ausgebildet, und die beschriebenen neueren Konzepte sind ein Ergebnis dieser Bemühungen.

Dennoch sollen hier einige Bemerkungen gemacht werden, die sich auf den allgemeinen Eindruck beziehen, und weiter seien einige spezielle Schwachpunkte ausgewiesen, die auch auffielen.

Art der akustischen Meldung	Farbcodierung auf Sichtgeräten	Meldung gemäß KTA-Gefahrenklasse
Klingel	rot	S
Hupe	gelb	I
Gong	weiß	II
Pfeifton		Feuermeldung (nicht KTA)

Tab. 6 Zuordnung akustischer Meldungen und Farbcodierungen zu Gefahrenmeldungen

Die an US-amerikanischen Warten festgestellten Mängel, wie sie insbesondere im EPRI-Report [19] und in bezug auf TMI-2 im Essex-Report [16] beschrieben werden, treffen auf die allgemein mit dem Kompaktwarten-Baustein-system ausgerüsteten deutschen Warten nicht zu. Die im Vergleich zur amerikanischen Ausführung sehr viel kleiner bauenden Einzelelemente erlauben einen klar nach Funktionen gegliederten und in sich übersichtlichen Aufbau. Instrumente und Betätigungsknöpfe sind räumlich ausreichend zugeordnet. Auch bei den älteren Anlagen gibt es keine groben Verstöße gegen anthropometrische Grundsätze (Ablesbarkeit, Erreichbarkeit etc.). Bereits die ältesten Anlagen (z.B. MZFR) sind zum Schutz gegen unabsichtliche Betätigung von Stellgliedern mit Freigabeknöpfen ausgerüstet, die in den amerikanischen Anlagen meist fehlen und jetzt durch weit weniger adäquate Maßnahmen [16,20] angenähert werden. Die weitgehend eingeführte Funktionsgruppensteuerung entlastet als Halbautomatik den Operateur von unnötigen Aufgaben.

Die deutsche Wartentechnik macht es möglich, in deutlich höherem Maß als in den USA auf Instrumentablesungen und Schalthandlungen vor Ort zu verzichten und dadurch insbesondere auch die in den zitierten Berichten erwähnten Kommunikationsprobleme zwischen Wartenpersonal und Personal in der Anlage zu vermeiden. Dieses hat natürlich zur Folge, daß sehr viel mehr Informationen und Meldungen in der Warte anfallen und daß Schalt-pulte und Tafeln die zusätzlichen Instrumente und Betätigungselemente aufnehmen müssen. Insgesamt ist aber diese Vorgehensweise gegenüber der amerikanischen vorzuziehen.

Aus unseren Beobachtungen, die sich u.a. wesentlich auf die Arbeit am DWR-Simulator der Kraftwerksschule Essen stützen, ergeben sich dennoch einige Punkte, die wir als verbesserungsbedürftig ansehen:

- a) Beschriftung der Betätigungsbausteine und Instrumente mit alphanumerischen Symbolen. Abb. 6.12 zeigt einen typischen Baustein mit seiner Beschriftung in natürlicher Größe. Eine Betrachtung aus 1 - 1,5 m Entfernung, wie sie dem normalen Abstand eines vor dem Pult stehenden Operateurs entspricht, zeigt, daß die Beschriftung sehr schwer lesbar ist. Beispielsweise ist das D, das auf eine Kraftmaschine (Antrieb, Pumpe usw.) hinweist, kaum von einer 0 zu unterscheiden.

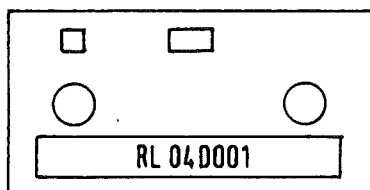


Abb. 6.12 Originalgröße eines Betätigungsbausteins zum Ein- und Ausschalten einer Notspeisepumpe am KWS-Simulator

Eine Beschriftung nach dem Beispiel von Abb. 6.13 mit einer Aufgliederung nach Zeichen-Untergruppen und anderem Schrifttyp würde hier mit geringem Aufwand deutliche Vorteile bringen.

- b) Kontakt der Betätigungsknöpfe. Zumindest an dem mit Original-Bausteinen ausgerüsteten Simulator stellten wir fest, daß an einzelnen Betätigungsknöpfen Kontaktschwierigkeiten auftraten. Wir konnten auch Mitarbeiter beobachten, die Bausteine herauszogen und am Hemd abwischten. In jedem Fall war für eine einwandfreie Funktion ein sehr starker Druck erforderlich. Es sollte genauer untersucht werden, wie dieses Problem vermieden werden kann. Auch eine Anpassung der Knöpfe an die Anatomie der Fingerkuppe würde eine Verbesserung bringen.
- c) Obwohl dies für die Operateure nicht notwendig erscheint, sollten in der Warte zumindest die einzelnen Teilsysteme auch durch Klartext gekennzeichnet sein. Dadurch ergibt sich eine größere Informationsredundanz, die in Krisensituationen vorteilhaft sein könnte und dann auch dem Leitungspersonal zusätzliche Informationen liefern könnte.
- d) Das alphanumerische Anlagenkennzeichnungssystem (AKZ) [17], wie es für die Kennzeichnung der Komponenten verwendet wird, ist (ab Anlage Philippsburg II) durch ein neues, das Kraftwerk-Kennzeichnungssystem (KKS) [18], ersetzt worden. Es muß dafür gesorgt werden, daß dies, insbesondere wenn das Personal für neuere Anlagen am Simulator noch nach dem alten System trainiert wird, nicht zu Verwechslungen führt.
- e) Die Betreiber sollten angehalten werden, die Farbkodierung der Anzeigeleuchten zu vereinheitlichen (z. B. DIN 19235, Entw. Okt. 80).
- f) Allgemein fiel uns auf, daß sich die Wartengestaltung sehr stark an den Auslegungsstörfällen orientiert. Es fehlt z.B. jede Hervorhebung oder Kennzeichnung von Zuständen, bei denen Auslegungsgrenzen überschritten werden (etwa Nichterfüllbarkeit der für die Notkühlung erforderlichen Leistungen). Nach unserer Auffassung sollte in einer eingehenden Untersuchung geklärt werden, in welcher Form der Operateur auf sich anbahnende Schwierigkeiten möglichst frühzeitig aufmerksam gemacht werden kann.



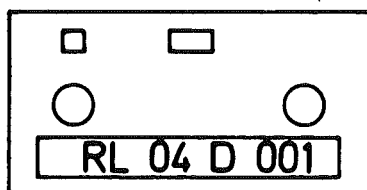


Abb. 6.13 Betätigungsbaustein mit strukturierter,  
vergrößerter Beschriftung

## 7. Diagnosehilfen in der Warte

Die zunächst wichtigste Diagnosehilfe ist das Betriebshandbuch, darüber hinaus stehen in der Warte detaillierte Schaltpläne aller Teilsysteme zur Verfügung.

Wir haben uns nicht im Detail mit Aufbau, Gliederung und Inhalt des Betriebshandbuches befaßt. Im Sinne der in diesem Bericht vertretenen Auffassung und Unterscheidung der drei Ebenen des menschlichen Handelns in der Warte ist das Betriebshandbuch eindeutig dem regelbedingten Verhalten zuzuordnen<sup>+)</sup> . Dem entspricht sein grundsätzlicher Aufbau, dem entspricht auch die Präsentation der Handlungsanweisungen in serieller Form, als Ablaufdiagramm oder in ähnlicher Weise. Auch wichtige Störungen und Störfälle sind hier entsprechend abgehandelt. Bei komplexen Störungskombinationen liefert das Betriebshandbuch keine unmittelbare Diagnosehilfe, weil es nicht so organisiert ist, daß es eine Lösung der in Gl. (2.3) gegebenen Matrixbeziehung erlauben würde, schon gar nicht für alle denkbaren Fälle. Es wäre nach unserer Auffassung auch falsch, das Betriebshandbuch als Diagnosehilfe auch für die extremsten Fälle mit allzuviel Spezialinformation zu belasten.

Es ist aber auch nicht Aufgabe des Betriebshandbuchs, den Benutzer über alle systemtechnischen Zusammenhänge und physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Anlage aufzuklären. Das sollte an anderer Stelle erfolgen.

Ein wichtiger Punkt ist die rasche Zugreifbarkeit relevanter Informationen des Betriebshandbuches. Als beste Lösung hat sich in einer Anlage die Präsentation auf einem Mikrofiche-Lesegerät erwiesen, die hinsichtlich der Schnelligkeit einer Bildschirmdarstellung den auf dem Markt erhältlichen Rechnern überlegen ist. Nach erfolgreicher Erprobung wird jetzt eine verbesserte Version eingesetzt, deren Änderungsdienst über den Rechner erfolgt. Wir haben uns von den Vorteilen dieser Anordnung überzeugen lassen.

Die verantwortlichen Herren bei anderen Anlagen standen derartigen Entwicklungen noch zögernd bis ablehnend gegenüber, wobei sich einige Sacheinwände auf dem Hintergrund der beschriebenen Erfahrungen nicht als stichhaltig erwiesen.

<sup>+)</sup>  Es gibt Bestrebungen, insbesondere aufgrund des TMI-Störfalles, in das Betriebshandbuch auch Bindeglieder zum kenntnisbedingten Handeln mit einzubeziehen, wie durch das von B & W entwickelte "Abnormal transient operating guidelines program" [ 54 ]; jedoch wurde es bisher bei keiner laufenden deutschen Anlage angewandt.

Als zusätzliche Diagnosehilfe ist der Störungsanalyse-rechner (STAR) zu sehen, der bei der GRS entwickelt wird [ 3 ].

Er ist ein eigenständiges Rechnersystem, das den Operateur in der Warte in die Lage versetzen soll, sich schnell und umfassend über den Zustand der Anlage zu informieren. Durch dieses Hilfsmittel soll erreicht werden, daß Störungen und Störfälle früher erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können, bevor die konventionellen Sicherheitssysteme in Aktion treten. STAR ist also auf die Situation vor dem Störfall ausgelegt und nicht für die Störfallbeherrschung selbst, womöglich noch mit Teilausfall von Sicherheitssystemen (wie z.B. TMI-2)

Die Arbeiten befinden sich noch im Entwicklungsstadium; sie werden von der GRS in enger Kooperation mit dem Institut für Energietechnik in Halden durchgeführt. Mit der Störfallanalyse befaßt man sich in Halden bereits seit 1973 [ 2 ]. Die Kooperation mit der GRS begann 1975 [ 3 ] und hatte zunächst zum Ziel, ein derartiges Rechnersystem am Halden-Siedewasserreaktor zu erproben. Dies geschah 1976 [ 4 ], wo über einen Zeitraum von 6 Wochen der Halden-Reaktor ausschließlich über ein Rechnersystem gefahren wurde. Eine weiterentwickelte Version des STAR befindet sich zur Zeit in Grafenrheinfeld in der Erprobung. Der Einsatz erfolgt im nichtnuklearen Bereich für die Kondensat- und Speisewasserversorgung. Eingeschlossen sind [ 5 ]:

- die Hauptkondensatpumpen
- die Hauptspeisewasserpumpen
- die An- und Abfahrpumpen
- der konventionelle Zwischenkühlwasserkreislauf
- der konventionelle Nebenkühlwasserkreislauf

Das installierte System umfaßt etwa 700 binäre und analoge Ereignisse. Es wird nicht explizit nach Störungen unterteilt, da diese sehr schwer abgrenzbar sind und sich oft überlappen. Ein direkter Datenzugriff über den Rangierverteiler ist in Grafenrheinfeld nicht möglich, was eine Einschränkung der STAR-Fähigkeiten bedeutet, da hierdurch viele wichtige Originaldaten nicht zur Verfügung stehen.

Eine ähnliche STAR-Version wie in Grafenrheinfeld wird auch in Biblis zur Erprobung zum Einsatz kommen.

Die Grundkonzeption des STAR ist es, das transiente Verhalten des Kraftwerkes zu simulieren und im Vergleich mit den realen Prozeßdaten Abweichungen bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt zu erkennen. Durch diese Früherkennung und die Einleitung geeigneter Gegenmaßnahmen sollen Störungen und Störfälle bereits im Entstehen verhindert werden.

Der Systemaufbau ist in Abb. 7.1 dargestellt / 6 /. Aus den gemessenen Daten wird ein Prozeßabbild aufgebaut. Dabei ist die Einbeziehung von Mikroprozessoren, z. B. zur Lose-Teile- und Rauschanalyse, geplant. Durch Datenkondensation und Einführung von Hilfsgrößen hat dieses Prozeßabbild eine sehr kompakte Form. Das Prozeßabbild, das eine Momentaufnahme des Anlagenzustandes darstellt, wird auf Toleranzüberschreitungen hin überwacht. Werden Abweichungen festgestellt, so sucht der Rechner das dazugehörige Störungsmodell auf. Die Störungsmodelle entsprechen in ihrer Datenstruktur genau dem Prozeßabbild und werden über einen Modellgenerator aus den in einem Hintergrundspeicher befindlichen Ursachen-Folgen-Diagrammen generiert. Abb. 7.2 zeigt ein derartiges Diagramm.

Die Ursachen-Folgen-Diagramme bilden die eigentliche Basis des STAR-Systems. Die Diagramme haben ähnliche Strukturen wie Fehlerbäume (sie wurden aus den Fehlerbaumstrukturen heraus entwickelt). Der bedeutende Unterschied besteht jedoch in dem zusätzlichen Zeitparameter und vor allem in der Tatsache, daß die Diagramme on-line durch Prozeßinformationen versorgt werden. Die Ursachen-Folgen-Diagramme werden für alle denkbaren Störungsabläufe und Störfälle erstellt. Sie repräsentieren Real-time-Simulatormodelle der Störungsabläufe bzw. Störfälle.

Ist das entsprechende Störungsmodell aufgefunden, so läßt sich aufgrund des dazugehörenden Ursachen-Folgen-Diagramms der weitere Verlauf der Störung vorhersagen. Das bietet dem Operateur die Möglichkeit des rechtzeitigen Eingriffs. Die Aufstellung der Ursachen-Folgen-Diagramme stellt den arbeitsintensivsten Teil des Konzeptes dar. Neben einer genauen Systemkenntnis ist auch eine qualifizierte Störfallanalyse aller möglichen Störfallablaufketten erforderlich. Dies wiederum erfordert ein entsprechend qualifiziertes Systemanalytiker-Team. Dies ist auch einer der Gründe dafür, warum bisher nur ein verhältnismäßig kleiner Bereich des Kraftwerkes durch den Analyserechner erfaßt werden konnte. Es gibt zwar Bestrebungen, das gesamte Kraftwerk in ein derartiges System mit einzubeziehen, jedoch muß zum jetzigen Zeitpunkt offenbleiben, ob das

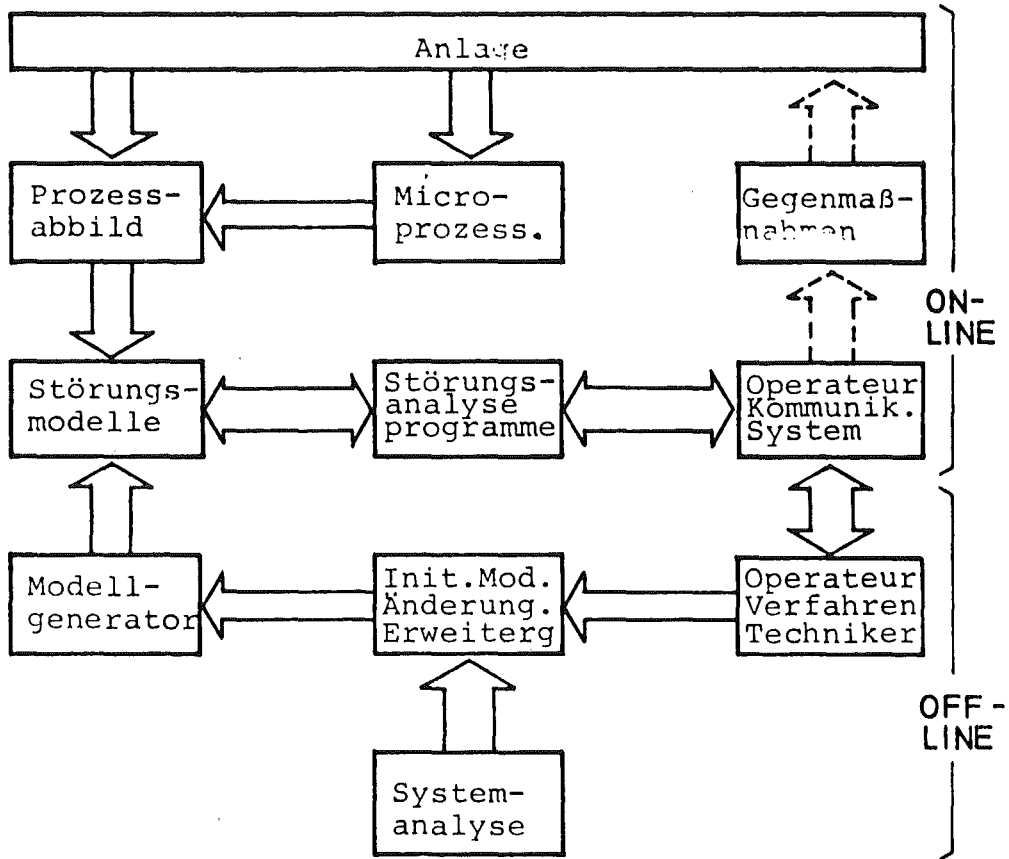
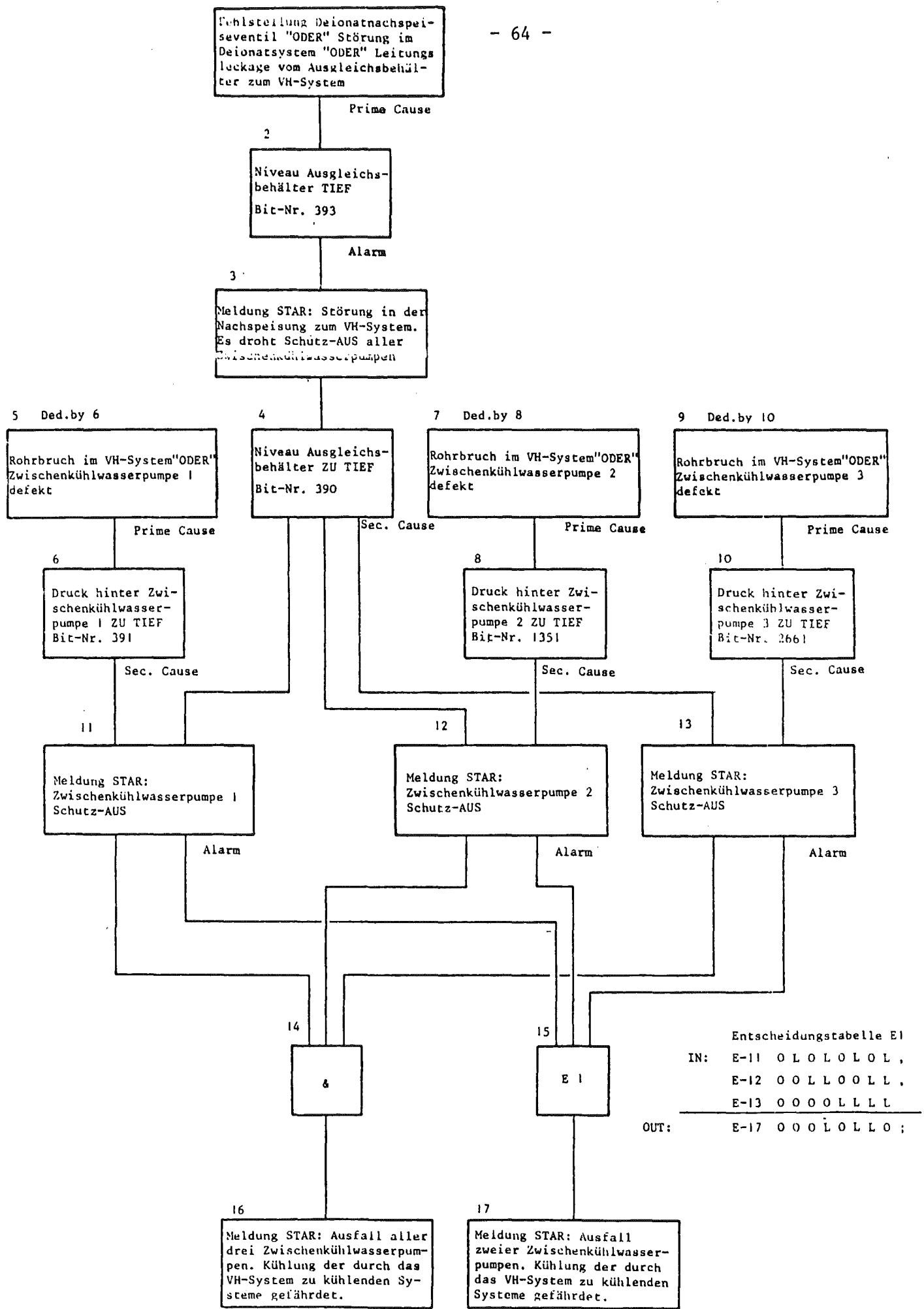


Abb. 7.1 Module des rechnergestützten Störungs-  
analysesystems STAR



Entscheidungstabelle E1

IN:	E-11	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O
	E-12	O	O	L	L	O	O	L	L	L	L	L	L	L
	E-13	O	O	O	O	L	L	L	L	L	L	L	L	L
OUT:	E-17	O	O	O	L	O	L	L	L	O	L	L	O	O

Abb. 7.2 Beispiel für ein Ursachen-Folgen-Diagramm

wegen des enormen Umfanges überhaupt sinnvoll möglich ist. Dazu kommt, ähnlich wie bei der Einführung von Automaten, der Gesichtspunkt, daß nur solche Abläufe erfaßt werden können, die in der vorausgehenden Analyse bereits enthalten sind.

Quantitative Ausführungen über die Verbesserung der Sicherheit liegen nicht vor. Das Störungsanalysesystem soll im Falle nicht vorhergedachter Störungen die Aussage erlauben, daß sich die Anlage in einer Situation befindet, die niemand vorhergedacht oder gar dokumentiert hat und damit einem Hinweis liefern, in welchem Anlagenteil sich die nicht vorhergedachte Störung befindet.

Die Flexibilität des Systems erlaubt durchaus Erweiterungen auf zusätzliche Aufgaben. So ist geplant, die Biblis-Version auf die Statusüberwachung von Komponenten, die Identifizierung von Störfällen gemäß Betriebshandbuch und auf die "Meldeswallunterdrückung" zu erweitern.

Neben der reinen Datenverarbeitung spielt die Informationsdarstellung an der Mensch-Maschine-Schnittstelle eine ebenso wichtige Rolle. Bei der zur Zeit implementierten STAR-Version werden die Aufgaben Störungsanalyse und Darstellung der Ergebnisse von getrennten Rechnern wahrgenommen [ 3 ]. Dies hat keine tiefere Bedeutung, sondern beruht lediglich auf zwei verschiedenen Entwicklungspfaden.

Für den Dialog Mensch - Maschine sind hauptsächlich Farbsichtgeräte vorgesehen. Sie unterscheiden sich nicht wesentlich von denjenigen, die für den Einsatz in der Warte (Kap. 6) entwickelt wurden. Daraus wird deutlich, daß hier doch eine sehr starke gegenseitige Beeinflussung stattfindet. Auch die Arten des Dialogs sind sehr ähnlich. Da sich das STAR-System bisher noch in der Entwicklung befindet, erfolgte eine Integration der Betätigungselemente in die Systemfließbilder der Warten noch nicht, wie das etwa bei den neueren noch in der Planung befindlichen Kraftwerken bereits der Fall sein wird. Diese Integration ist jedoch auch beim STAR vorgesehen, zumindest nach der Bewährungsphase.

Die z.Z. verfolgte Konzeption der Informationsübermittlung geht davon aus, daß der Systemzustand zunächst über eine stark abstrahierte Übersichtsdarstellung wiedergegeben wird. Verwendet werden dabei sowohl Fließbilder als auch andere graphische Darstellungen, wie Balkendiagramme usw. In diesen Bildern werden Störungen, aber auch Sollwertabweichungen dargestellt. Will man detailliertere Informationen, so muß man weiter in das System einsteigen, indem man nur Teilsysteme oder gar Ausschnitte daraus betrachtet. Der Aufbau verschiedener Systemebenen erlaubt ein Zoomen in das System hinein. Diese Vorgehensweise hat aber auch den Nachteil, daß die Systemübersicht, d.h. das Im-Auge-behalten wichtiger Prozeßgrößen, auf Untersystemebene sehr leicht verlorenght, jedoch soll ja das STAR-System die konventionelle Warte nicht ersetzen.

Insgesamt ist die mit STAR begonnene Entwicklung sehr interessant und sollte nachdrücklich fortgesetzt werden. Man sollte jedoch im Auge behalten, daß STAR nicht für den Einsatz in Krisensituationen mit Ausfall von Sicherheitssystemen konzipiert ist, die im Zentrum der hier vorliegenden Untersuchung stehen und die erforderliche Diagnosefähigkeit des Menschen weder ersetzen kann noch will, sondern unterstützt.



## 8. Automatisierung

In der deutschen Sicherheitskonzeption liegt eine starke Tendenz vor, die Möglichkeit menschlichen Fehlverhaltens mit nachteiligen Folgen durch automatisch eingreifende Schutz- und Sicherheitssysteme zu verhindern bzw. aufzufangen. Ein Eingriff in den automatischen Ablauf soll nur insoweit möglich sein, als dies im Hinblick auf den speziellen Anlagenzustand erforderlich ist. Insbesondere soll nach KTA 3501 [24] ein menschlicher Eingriff in die Anlage in den ersten 30 Minuten nach Störfalleintritt nicht erforderlich sein.

Die Deutsche Risikostudie und die vorliegenden Erfahrungen aus dem normalen und gestörten Anlagenbetrieb haben gezeigt, daß diese Vorgehensweise im ganzen richtig ist. Die größten Risikobeiträge der DRS kamen aus menschlichem Fehlverhalten aus Bereichen, die bei der betrachteten Anlage noch nicht in die Automatik einbezogen waren und sollen jetzt durch Automatisierung z.B. des Druckhalter-Vorventils und des sekundärseitigen Abfahrens ausgeschaltet werden.

Gegen diese Vorgehensweise ist insbesondere von amerikanischer Seite wiederholt Kritik geäußert worden, weil dadurch die Flexibilität, mit der der Operateur Störungen in seiner Anlage begegnen kann, eingeschränkt werde, also ein kenntnisbedingtes Handeln erschwert oder verhindert werde. Derartige Argumente sind per se auf solche Situationen beschränkt, bei denen bereits durch Ausfall von notwendigen Sicherheitssystemen der normale sicherheitstechnische Auslegungsrahmen überschritten worden ist und notwendigerweise Maßnahmen ergriffen werden müssen, die so nicht geplant sind. Insofern handelt es sich um unwahrscheinliche Situationen.

Unterstellt man aber diesen Fall, so gibt es zwei Möglichkeiten, wie eine weitgehende Automatisierung nachteilig sein kann:

- die Systeme unter Einschluß ihrer Automatisierung sind schwieriger zu handhaben,
- die Automatisierung legt andere, insbesondere betriebliche Systeme still, die als Backup der ausgefalleneren Sicherheitssysteme nutzbar wären.

Das erste Argument ist zwar im Grundsatz richtig, läßt sich aber zur Zeit nicht quantitativ belegen. Nach unserer Auffassung läßt sich nur auf der Basis konkreter Situationen und Situationsfolgen eine Klärung erreichen. Wir halten die von uns empfohlenen Übungen, wie sie in Kap. 10 erläutert werden, für eine geeignete Methode zur Beantwortung auch dieser Frage.

Zum zweiten Argument konnten wir insbesondere bei der Arbeit am Simulator einige konkrete Sachverhalte feststellen.

In mindestens drei Fällen setzen die Sicherheitssysteme andere Systeme außer Funktion, die man im Prinzip lieber einsatzbereit gesehen hätte:

- a) Das sog. YZ-60 Kriterium des Reaktorschutzes isoliert die Hauptwärmesenke vom Reaktor, wenn in einer Dampfleitung eine bestimmte Druckabsenkungsrate überschritten wird, die z.B. auch durch ein zu weites Öffnen der Druckentlastungsventile am Dampferzeuger bewirkt werden kann. Im Einzelfall kann dies eine unnötige Komplikation bedeuten.
- b) Bei Lecks veranlaßt das Gebäudeabschlußsignal eine Absperrung der TA-Pumpen (Volumenregelsystem) vom Primärkreis. Bei sehr kleinen Lecks oder als Backup für die Sicherheitseinspeisepumpen wäre aber eine Einsatzbereitschaft wünschenswert.
- c) Das Notspeisesignal sperrt den Betrieb der Hauptspeisewasserpumpen, auch wenn diese einsatzfähig wären. Wiederum verhindert die Automatik eine Backup-Funktion.

Es ist uns bewußt, daß der Simulator manche dieser Sachverhalte verzerrt dargestellt hat und daß einige der genannten Probleme bei einigen der in Betrieb befindlichen Anlagen abgestellt worden sind. Wir halten es dennoch für nützlich, wenn das Problem der Automatik in ihrer Auswirkung auf Backup-Möglichkeiten eingehender untersucht würde.

## 9. Streß und menschliches Fehlverhalten

Im Kap. 2 haben wir festgestellt, daß die Diagnosefähigkeit im Bereich des kenntnisbedingten Handelns insbesondere durch die folgenden Einflüsse behindert oder fehlgeleitet werden kann:

- Falsches Training,
- falsch bewertete Erfahrung,
- Streß.

Unter Streß versteht man allgemein einen durch erhöhte Adrenalinausschüttung, erhöhte Pulsfrequenz und erhöhten Blutdruck gekennzeichneten Zustand, der verstärkt auftritt, wenn ein Gefühl der Bedrohung, der Hilflosigkeit, der Frustration, der Furcht empfunden wird. Auch Müdigkeit kann diesen Zustand hervorrufen. In einem umfassenderen Sinne wird aber Streß auch als die Antriebskraft gesehen, die die Aufmerksamkeit wach hält. Ein Zustand mittleren Stressses wird als optimal für die zuverlässige Durchführung von Aufgaben angesehen. Swain und Guttman definieren in ihrem Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications [30], daß Streß aus einem Mißverhältnis zwischen den externen und internen primären sensorischen Funktionen entsteht, die auf ein Individuum einwirken. Als alltäglichere Definition sagen sie, daß Streß jede Situation ist, die im Individuum Spannung erzeugt. Abb. 9.1 zeigt die schon im Grundsatz in WASH 1400 verwendete Relation zwischen Streß und der Effektivität in der Durchführung von Aufgaben. Der Abfall der Effektivität in Richtung auf

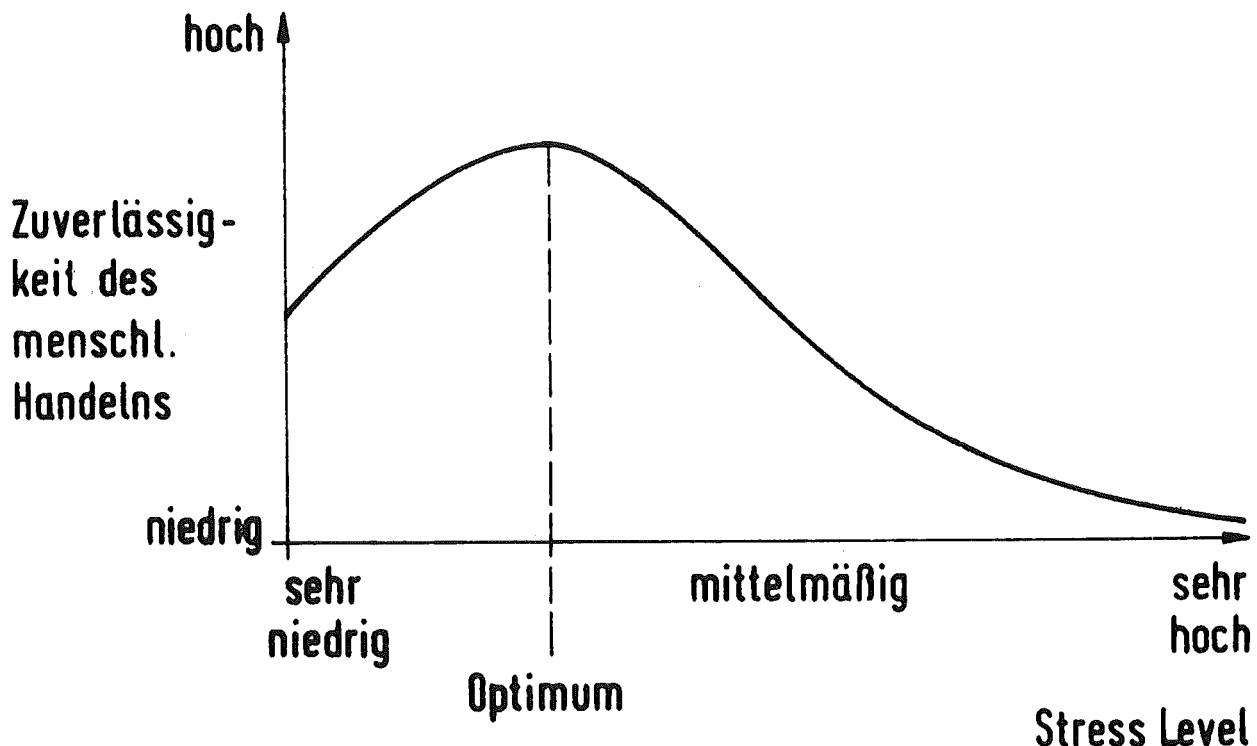


Abb. 9.1 Die Auswirkung von Streß auf das menschliche Handeln

extrem hohen Streß ist stärker als in Richtung auf sehr niedrigen Streß. Swain und Guttman versuchen, quantitativ den Streßeinfluß auf die Zuverlässigkeit des Verhaltens abzuschätzen, um den Einfluß dieser Faktoren auf das Risiko von kerntechnischen Anlagen zu bestimmen. Die empirische Grundlage für derartige Quantifizierung ist allerdings sehr gering und beschränkt sich auf Untersuchungen im militärischen Bereich, wo einerseits der Einfluß des Kampfgeschehens im Kriege, andererseits der Einfluß von kritischen Situationen der Fliegerei untersucht wurde. Abgesehen davon, daß die Qualität der Übertragbarkeit in jedem Falle fraglich ist, wird natürlich auch der Einfluß von erleichternden Maßnahmen in der Anlagentechnik oder im Training nicht erfaßt.

Im Hinblick auf die ganz unterschiedlichen Funktionen menschlichen Handelns im Bereich des fertigkeit-, regel- und kenntnisbedingten Handelns müßte hier auch der Streßeinfluß ganz unterschiedlich gesehen werden. Ein im NATO-Rahmen veranstaltetes Symposium über Mental Work Loads [31-37] etwa umfaßt Aspekte, die teilweise mit Streßproblemen, teilweise aber auch einfach mit der Geschwindigkeit und Breite der menschlichen Informationsverarbeitung zu tun haben. Daraus lassen sich sicherlich Schlußfolgerungen für die ergonomische Gestaltung der Warte zur besseren Durchführbarkeit des fertigkeitsbedingten Handelns herleiten, das Problem der Beeinflussung und Beeinträchtigung der menschlichen Diagnose und Handlungsfähigkeit durch extrem starken Streß wird dabei jedoch nicht erfaßt. Die experimentelle Untersuchung der Einflüsse von sehr starkem Streß wird auch stark durch moralische Gesichtspunkte und daraus hergeleitete Verordnungen beeinträchtigt [38].

Ein sehr großer Teil der Literatur über Streß befaßt sich auch mit einem Phänomen, das im Zusammenhang mit der hier vorliegenden Fragestellung nicht von Bedeutung ist: Die langfristige Auswirkung von Streß auf die Gesundheit, insbesondere im Hinblick auf Koronarerkrankungen. So enthalten selbst spezielle Kurse zum Thema der Ausbildung kerntechnischen Personals ausführliche Beiträge zu diesem Thema, obwohl seine Relevanz auf die unmittelbare Problematik der richtigen Betriebsführung gering ist [39, 40].

Das Problem des zu geringen Stresses ist nach unserer Auffassung vor allem der Ebene des fertigkeitsbedingten und des regelbedingten Handelns zuzuordnen. Ebenso würden wir es hinsichtlich seiner Folgen vor allem mit dem menschlichen Einzelfehler (taktisches Fehlverhalten) in Verbindung bringen. Eine Fehlhandlung aus der Situation eines zu geringen Stresses würde

akustische Signale und bei den in unseren Anlagen vorliegenden Warten genügend viele Klartextmeldungen erzeugen, so daß in dem allgemein erreichlichen Zeitrahmen die Aufmerksamkeitsschwelle erhöht wird und das Problem in das des erhöhten, möglicherweise zu hohen Streß übergeführt wird.

Wir empfehlen jedoch eine empirische Untersuchung zu diesem Thema. Es sollte möglich sein, alle Fehlhandlungen in Kernkraftwerken statistisch zu erfassen, die mit dem Problem eines zu geringen Stressses und folgender Unaufmerksamkeit in Zusammenhang zu bringen sind. Die Problematik eines zu geringen Streßfaktors ist jedoch im Vergleich zur Problematik des großen Streßfaktors verhältnismäßig unbedeutend.

Die wichtigste Arbeit, die sich mit der Auswirkung von extremem Streß auf das Verhalten des Betriebspersonals von Kernkraftwerken befaßt, wurde im April 1980 auf einer ANS/ENS-Tagung zur Sicherheit thermischer Reaktoren in Knoxville/Tennessee publiziert [29]. Sargent setzt sich hier erstmals mit den psychologischen Auswirkungen auf die Diagnosefähigkeit im Bereich des kenntnisbedingten Handelns auseinander. Verschiedene Arbeiten der gleichen Gruppe folgen [41 - 43].

Der entscheidende Gesichtspunkt ist, daß nach Sargent durch den Einfluß von sehr starkem Streß das kenntnisbedingte Verhalten mit der dafür erforderlichen inventiven Flexibilität des Denkens, der Fähigkeit der Diagnose und der kritischen Hypothesenprüfung stark eingeschränkt wird. Statt dessen kommt es zu einem Regreß auf ein konditioniertes Verhalten, in dem ein Stimulus einen bestimmten fixierten Respons auslöst. Das flexible Verhalten wird durch ein rigides Verhalten ersetzt.

Sargent weist insbesondere darauf hin, daß der Regreß auf ein konditioniertes Verhalten (das in seiner Sprechweise mit einem bestimmten Diagnose-Handlungs-Ablauf im Bereich des fertigkeitbedingten Verhaltens gleichzusetzen ist) auf früher gelernte Verhaltensformen im Bereich des fertigkeitbedingten oder regelbedingten Handelns zurückführt [52]. Hier werden am ehesten die bevorzugt, die am leichtesten zugreifbar sind. Am leichtesten zugreifbar aber sind nach Sargent insbesondere solche fertigkeitbedingten oder konditionierten Handlungen, die besonders intensiv gelernt wurden. So behält man besonders gut im Gedächtnis Beispiele, wo man sich falsch verhalten bzw. Fragen falsch beantwortet hat, woraus sich der Verdacht herleitet, daß die Regression möglicherweise bevorzugt auf falsche Verhaltensweisen erfolgt.

Zur Untermauerung dieser Hypothesen wurde eine umfangreiche Literaturliste [44] zusammengestellt.

Die erste Veröffentlichung Sargent's geschah im Anschluß an den TMI-Vorfall. Es ist wohl unbestreitbar, daß der Streß der Situation dort dazu beigetragen hat, so lange eine falsche Diagnose zu stellen und sogar Indizien in Richtung auf die richtige Diagnose zu verwerfen. In gewisser Weise könnte man das Verhalten des Personals als einen Regreß auf die Inhalte seines früheren Trainings bezeichnen. Es läßt sich aber nicht nachweisen, daß dabei der Regreß auch auf falsch abgespeicherte Trainingsinhalte geschah (d.h., ein richtiges Training wurde falsch angewandt).

Sargent macht auch konkrete Vorschläge für das Training von Verhaltensweisen, die in kritischen Situationen den Streß der einzelnen Operateure herabsetzen sollen [45]. Seine Methode, die er konditionierte Meditation nennt, beruht im wesentlichen darauf, daß im Verlauf des Trainings durch ständige Konditionierung bestimmte Bereiche der Warte oder bestimmte Betriebsabläufe mit angenehmen Empfindungen assoziiert werden. Ein Operateur, der gerne Motorrad fährt, lernt z.B. die angenehmen Gefühle während der Fahrt mit seinen Aktionen am Schaltpult zu verbinden.

Zumindest aus dem Bereich des Reaktorbetriebs gibt es bis heute sicherlich keine Befunde, die die Wirksamkeit derartiger Trainingsmethoden bestätigen. Wir empfehlen aber, daß auch bei uns das Problem des Streßabbaus durch psychologische Techniken untersucht wird.

Eine andere Methode des Streßabbaus dagegen ist bereits in einem Ausmaß erwiesen, daß sie in die Alltagserfahrung übergegangen ist: Streßabbau durch Übung und Erfahrung in entsprechenden streßerzeugenden Situationen. Jeder Autofahrer weiß, daß der Streß bei schwierigen Verkehrssituationen, wie z.B. beim Einordnen in eine dichtbefahrene Autobahn, dem Anfänger wesentlich mehr zusetzt als dem erfahrenen Lenker. In [30] ist auf diesen Punkt besonders hingewiesen worden und gerade auch aus dem Bereich der Raumfahrt gibt es Berichte [49 - 51], wie bei entsprechender Einübung auch schwierige Situationen gemeistert werden können. Unser Vorschlag, das Problem des sehr hohen Stresses im Bereich des kenntnisbedingten Handelns zu überwinden, geht deshalb darauf hinaus, das Personal in besonderer Weise zu trainieren, das in komplexen Situationen die Diagnose stellen und das richtige kenntnisbedingte Vorgehen entwickeln muß. Wenn es durch eine

regelmäßige Befassung mit vergleichbaren Übungssituationen gleichsam den "Umgang mit der Krise" gewohnt ist, wenn es die Zunahme der eigenen system-technisch-orientierten Diagnosefähigkeiten erkennt, wird die Bedeutung des Streßproblems stark reduziert werden.

#### 10. Ein Trainingskonzept für das kenntnisbedingte Handeln

Ziel: Das kenntnisbedingte Handeln soll regelmäßig durch das Personal geübt werden, das Situationen, die ein solches Handeln erfordern, auch in Wirklichkeit bewältigen muß. Unter Berücksichtigung der Aussagen, die im Kap. 4 zur Organisation und Führungsstruktur gemacht worden sind, betrifft dies das verantwortliche technische Führungspersonal und die Schichtleiter. Wir glauben nicht, daß alle Mitarbeiter der Schicht in dieses Training zum kenntnisbedingten Handeln einbezogen werden müssen, möchten dieses aber der Verantwortung der Betreiber überlassen.

Methode: Es sollen dem zu trainierenden Team komplexe Anlagensituationen dargeboten werden, deren Anforderungen im Hinblick auf Diagnose- und Prognosefähigkeit über den Bereich der reinen Fertigkeit oder der Regeln, wie sie insbesondere im Betriebshandbuch festgelegt sind, hinausgehen. Die Darbietung soll in einer Art und Weise geschehen, die an die Diagnosefähigkeit vergleichbare Anforderungen stellt wie die Wirklichkeit. Die größte Wirklichkeitsnähe ließe sich mit einem Simulator erreichen. Ein Simulator ist aber deshalb ungeeignet, da die hier in Betracht zu ziehenden komplexen Situationen dort nicht verfügbar sind und aus prinzipiellen Gründen wohl auch nie vollständig verfügbar sein werden. Zudem sollte der Simulator als Ausbildungsinstrument der Betriebsmannschaft im Bereich der fertigungsbedingten Tätigkeiten nicht zweckentfremdet und durch Aufgaben belastet werden, die ihn unnötig komplizieren.

Wir schlagen statt dessen vor, daß ein Aushilderteam A (siehe Abb. 10.1) die der Übung zugrunde liegende Ausgangssituation entwickelt und sie dem zu trainierenden Team B präsentiert. Für die Darbietung benutzt das Team A

- eine Liste, auf der der Zustand sämtlicher Anzeigen und sonstigen Signale der Warte in alphanumerischer Form dargestellt wird oder
- eine durch den Rechner erzeugte Zeichnung der Warte mit bildlicher Darstellung der Anzeigen, ergänzt durch eine Auflistung der anstehenden Meldungen oder

- eine Art statischen Simulator (Präsentator), der einen wartenähnlichen Aufbau hat und auf dessen Anzeigen usw. die Ausgangssituation hardwaremäßig darstellbar ist.

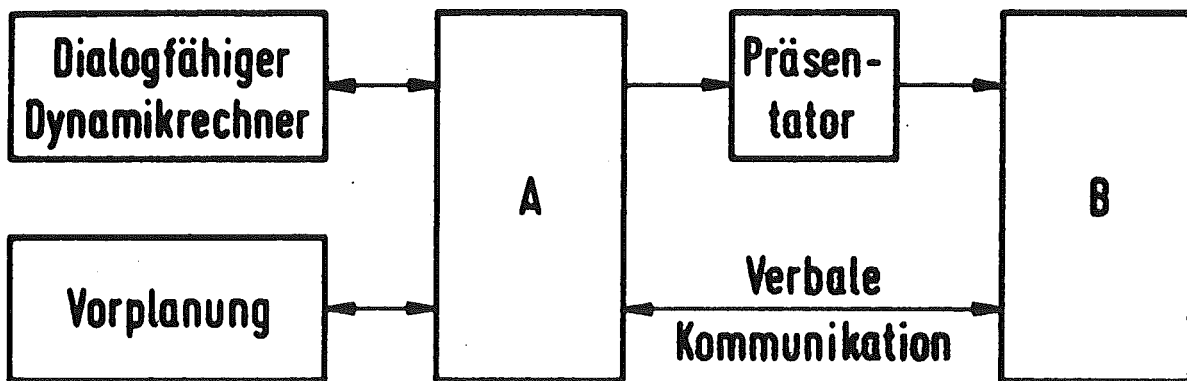


Abb. 10.1 Durchführung eines Trainings zum kenntnisbedinten Handeln zur Ausbildung des Teams B durch das Team A

Das Team A hat einerseits in der Vorplanung die Situation und ihre Implikationen genau analysiert, es kann andererseits auf einen Analyserechner zugreifen, der über geeignete Programme verfügt, durch die das Transientenverhalten der Anlage untersucht werden kann. Es ist nützlich, wenn er den Dialogbetrieb erlaubt, eine Darstellung in Echtzeit halten wir jedoch für unnötig. Man kann dieses Gerät als eine Art Simulator betrachten, dessen analytische Fähigkeiten sicher denen eines normalen Simulators überlegen sind, der aber neben dem Verzicht auf Echtzeitdarstellung auch keine wartenähnlichen Ein- und Ausgabeeinheiten besitzt. Außer über die Präsentation des Wartenzustandes stehen die Teams A und B in unmittelbarer Kombination über dem normalen verbalen Austausch.



Die hier vorgenommenen Vereinfachungen gegenüber dem Interface eines normalen Simulators erscheinen uns berechtigt, da die genaue Wartenwiedergabe nur für den Bereich des fertigungsbedingten Trainings, nicht aber für den hier interessierenden Bereich des kenntnisbedingten Trainings von Bedeutung ist. Wir können hier davon ausgehen, daß, wenn das Team B die richtige Diagnose und die richtige Reaktion gefunden hat, es dann diese am Schaltpult umsetzen oder die Schicht veranlassen kann, die entsprechende Umsetzung vorzunehmen.

Ein wichtiger Punkt ist hier jedoch die Prognose und der Prognosevergleich, so wie sie in Bild 2.1 dargestellt sind. Der Prognosevergleich als Folge bestimmter orientierender Aktionen ist sicherlich ein entscheidendes Hilfsmittel für die Bestätigung und detaillierte Festlegung einer Diagnose. Da bei der Präsentation der Situation, wie immer sie im einzelnen erfolgt, auf die Möglichkeit einer unmittelbaren Einwirkung auf den Präsentator durch das Team B verzichtet wird, kann diese Prognose und gegebenenfalls ihre Bestätigung nur im Dialog zwischen den Teams A und B übermittelt werden.

Im Normalfalle wird das Team A die richtige Diagnose und den Umfang der sinnvollerweise anzuwendeten Aktionen mit ihren Folgen kennen und also sofort entscheiden können, ob das Team B richtig agiert. Es ist im Prinzip möglich, bestimmte wichtige Zwischensituationen ebenfalls als Momentaufnahme über den Präsentator einzuspielen.

Es kann natürlich der Fall eintreten, daß das Team A die Auswirkung und die Folgen bestimmter Aktionen durch das Team B nicht sofort voll bewerten kann. Dadurch wird der Ausbildungserfolg nicht in Frage gestellt, auch wenn gegebenenfalls das Spiel unterbrochen wird oder die Abschlußdiskussion nicht sofort zu einem endgültigen Resultat führt. Das Team A wird dem Problem weiter nachgehen und zu einem späteren Zeitpunkt mit dem Team B die Antwort diskutieren.

Mit einem solchen Vorgehen können die folgenden Ziele angestrebt oder erreicht werden:

- a) Das Team B erreicht den Kenntnisstand des Teams A, wobei davon ausgegangen werden sollte, daß das Team A den größtmöglich erreichbaren Kenntnisstand überhaupt repräsentiert.

- b) Das Team B lernt, wie man methodisch in Krisensituationen vorgeht und welche psychologischen Faktoren dabei eine Rolle spielen. Lernziel ist keinesfalls, alle überhaupt denkbaren Situationen durchzuspielen und feste Verhaltensformeln zu trainieren und damit das Problem des kenntnisbedingten Verhaltens auf das Problem des fertigkeitbedingten Verhaltens zu reduzieren.
- c) Wo einzelne Mitglieder des B-Teams aufgrund ihrer falsch bewerteten früheren Erfahrung falsche Zusammenhänge gespeichert haben, können diese im Verlauf des so durchgeführten Trainings und der dabei ablaufenden Diskussionen aufgedeckt werden.
- d) Die Übung im Umgang mit komplexen Situationen führt dazu, daß der dabei entstehende Streß geringer wird. Das Personal hat einfach ein genaueres Bild über das Verhalten der Anlage auch in Krisensituationen und kann die Möglichkeiten zielbewußter Gegenaktionen besser abschätzen. Möglicherweise wäre in diesem Zusammenhang eine Untersuchung der Wirksamkeit streßabbauender psychologischer Techniken, wie sie im vorigen Kapitel behandelt worden sind, möglich.
- e) Im Spannungsfeld einer Krisensituation, an der außer der Schicht selbst die technischen Vorgesetzten beteiligt sind, können gruppensdynamische Effekte sichtbar werden. Sie werden im Rahmen eines Trainings der hier vorgeschlagenen Art aufgedeckt.
- f) Durch derartige, regelmäßig wiederholte Übungen, die auch indirekt einen großen Anreiz zur intensiveren Beschäftigung mit dem Anlageverhalten geben, kann man dem Einfluß der zu geringen Streßhöhe beim Schichtpersonal und der starken Belastung durch formalistische Tätigkeiten beim Führungspersonal entgegenwirken.

Bei den hier vorgeschlagenen Trainingsmethoden spielen psychologische Faktoren eine wichtige Rolle. Dies betrifft insbesondere das Problem der Übertragbarkeit der Übungssituation auf den Ernstfall, das Problem des Streßabbaus und das Problem der gruppensdynamischen Einflußfaktoren. Es erscheint uns deshalb nützlich, wenn ein Psychologe als Mitglied des Teams A an derartigen Übungen teilnimmt.

Wir haben uns bemüht, vor allen Dingen deutlich zu machen, daß diese Übungen der Verbesserung der intelligenten, flexiblen Diagnose und Aktionsfähigkeit des verantwortlichen Personals im Kernkraftwerk dienen. Wir sehen dieses System als Hilfe für die Betreiber derartiger Anlagen, denen die Verantwortung für die Ausbildung ihres Personals obliegt. Wir halten es deshalb nicht für sinnvoll, wenn die zuständige Genehmigungsbehörde als Teilnehmer oder Beobachter dieser Übungen eine Einflußnahme anstrebt. Hierdurch wäre einerseits wieder eine Verstärkung der Rigidität der Beteiligten beider Teams das Ergebnis, oder es würde zu ängstlich vermieden werden, mögliche Schwachstellen innerhalb der Betriebsmannschaft an den Tag treten zu lassen.

Wir halten das hier vorgeschlagene Konzept für ausführbar und entwicklungs-fähig. Unsere Gespräche mit der KWU und mit einzelnen Betreibern haben gezeigt, daß dort ähnliche Ideen erwogen werden und daß man insgesamt einem solchen Konzept positiv gegenübersteht. Das Institut für Reaktorentwicklung des Kernforschungszentrums Karlsruhe ist deshalb z.Z. dabei, in enger Zusammenarbeit mit dem Betreiber eines Kernkraftwerkes dieses Konzept zu konkretisieren und zu erproben.

#### 11. Empfehlungen für weitere Forschungsarbeiten

In den vorangegangenen Kapiteln haben wir an verschiedenen Stellen Vorschläge für weitere Forschungsarbeiten gemacht, die uns konkret genug erscheinen, um in absehbarer Zeit praktische Resultate zu liefern. Diese Empfehlungen sollen in der Folge noch einmal zusammengestellt werden. Für Details und für den genaueren Hintergrund wird auf die entsprechenden Kapiteln unseres Berichtes verwiesen.

1. Erarbeitung eines Persönlichkeitsprofils von verantwortlichem Betriebspersonal (siehe Kap. 3). Nach unserer Auffassung sind psychologische Tests als tragender Bestandteil bei der Personalauswahl z.Z. nicht sinnvoll. Es sollte aber unter starker Beteiligung der Betreiber ein erwünschtes Persönlichkeitsprofil für Schichtleiter und Operateure aufgestellt werden. In einem zweiten Schritt sollte dann versucht werden, durch eine geeignet entwickelte Testserie dieses Persönlichkeitsprofil bzw. die Tests zu verifizieren.

2. Es sollte eine allgemeine Anweisung erarbeitet werden, die eine kritische Überprüfung der Diagnose des Schichtpersonals bei besonderen Vorkommnissen durch die hinzukommende Bereitschaft zu einer formalen Verhaltensvorschrift macht.
3. Ingenieure als Schichtleiter (Kap. 5). Die Bedenken, die uns im Hinblick auf den ausnahmslosen Einsatz von Schichtleitern mit Ingenieursqualifikation geäußert wurden, erscheinen uns in einigen Punkten stichhaltig zu sein. Es sollte deshalb durch eine geeignete Befragungskaktion festgestellt werden, ob
  - a) diese Regelung das Betriebsklima verschlechtert hat,
  - b) Ingenieure auch nach mehreren Jahren Schichtdienst die von ihnen erforderte Allgemeinkenntnis über die technisch-naturwissenschaftlichen Zusammenhänge der Anlage sowie die flexible Diagnosefähigkeit in komplexen Situationen behalten haben.
4. Im Zusammenhang mit den von uns in Kap. 10 vorgeschlagenen Übungen sollte untersucht werden, ob eine sicherheitstechnisch erzeugte Hierarchie der im Fall von Störungen oder Störfällen in der Warte ankommenden Meldungen die Gesamtdiagnose der Situation im günstigen oder ungünstigen Sinne beeinflusst.
5. Die von uns auf Seite 56 und 58 aufgelisteten ergonomischen Probleme sollten daraufhin überprüft werden, ob sie auch allgemein für andere Anlagen zutreffen und gegebenenfalls behoben werden.
6. Die Entwicklung von Diagnosehilfen, wie z.B. STAR, sollte weitergeführt werden. Gegebenenfalls sollten solche Systeme auch im Zusammenhang mit den in Kap. 10 vorgeschlagenen Übungen auf ihre Brauchbarkeit untersucht werden.
7. Im Rahmen der in Kap. 10 vorgeschlagenen Übungen sollte untersucht werden, ob der hohe Grad der Automatisierung der Anlagen in komplexen Situationen die Diagnose erschwert.
8. In einer analytischen Studie sollte untersucht werden, inwieweit Betriebssysteme (z.B. TA-Systeme i.a.) sinnvoll als back up für Sicherheitssysteme eingesetzt werden können.

9. Mit statistischen Methoden sollte untersucht werden, ob der zu geringe Streß des störungsfreien Betriebs tatsächlich vorliegt und ob er eine Auswirkung auf die Zuverlässigkeit der Operateure hat. Es könnte z.B. die Anzahl der Fehlbedienungen als Funktion der Dauer des vorherigen störungsfreien Betriebs festgestellt werden.
10. Die insbesondere von Sargent vorgeschlagenen Techniken zum Streßabbau sollten auf ihren Nutzen hin untersucht werden.
11. Das von uns vorgeschlagene Trainingskonzept für den Bereich des kenntnisbedingten Handelns sollte in Eigenverantwortlichkeit der Betreiber aufgebaut werden.

Literatur

- 1 M. Friebel, Die Kompaktwartentechnik,  
Gestaltung von Meß- und Steuerwarten, Tagung am  
21. Mai 1970, Haus der Technik e.V., Essen,  
Heft 260, Vulkan Essen 1970
- 2 OECD Halden Reactor Project 1958 - 1978
- 3 L. Felkel, R. Grumbach, A. Zapp, F. Øwre, J.-K. Trengereid,  
Analytical Methods and Performance Evaluation of the STAR  
Application in the Grafenrheinfeld Nuclear Power Plant,  
IAEA Specialists' Meeting on NPPCI, Dec. 5 - 7, Munich 1978
- 4 L. Felkel, R. Grumbach, E. Saedtler, D. Wach,  
Treatment, Analysis and Presentation of Information on  
Component Faults and Plant Disturbances, IAEA-SM-226/40,  
pp. 13 - 21, 1978
- 5 W. E. Büttner, L. Felkel, R. Grumbach, F. Øwre, B. Thomassen,  
Function and Design Characteristics of the STAR Disturbance  
Analysis System,  
IAEA Specialists' Meeting on NPPCI, Dec. 5 - 7, Munich 1978
- 6 L. Felkel, A. Zapp, Einsatz von Prozeßrechnern zur on-line  
Störungsanalyse und Mensch-Maschine-Kommunikation in Kern-  
kraftwerken, Tagungsband zur Fachtagung Prozeßrechner 1981,  
Springer 1981
- 7 H. Knüfer, Persönliche Mitteilung, GRS Köln, Sept. 1980

- 8 Richtlinie für den Fachkundenachweis von Kernkraftwerkspersonal,  
Bek. d. BMI v. 17. 5. 1979 - RS I 6 - 513 805/2
- 9 Richtlinie für den Inhalt der Fachkundeprüfung des verantwort-  
lichen Schichtpersonals in Kernkraftwerken  
Bek. d. BMI v. 10. 8. 1978 - RS I 6 - 513 805/4
- 10 O. Schwarz, Der Weg zum Reaktorfahrer und Schichtleiter,  
Atomwirtschaft, April 80, S. 216 - 18
- 11 K. Distler, Training of Operating Personnel of Nuclear Stations,  
Training of Operating Personnel for Technologies with Hazard  
Potential: Theorie and Praxis, Ispra Course, 17 - 21 November 1980
- 12 E. Reiß, Simulatorenausbildung,  
Symposium Personalorganisation und -qualifikation bei Errichtung  
und Betrieb von Kernkraftwerken, Köln 10 - 12. 6. 1980  
GRS - 17 (Aug. 80)
- 13 Richtlinie für Programme zur Erhaltung der Fachkunde des  
verantwortlichen Schichtpersonals in Kernkraftwerken  
Bek. d. BMI v. 17. 5. 1979 - RS I 6 - 513 805/10
- 14 L. Herbst  
Konzeption moderner Kraftwerkswarten  
BBC-Nachrichten (1977) H.10, S. 417-23
- 15 J. Büttner, J. Füg, G. Schlegel, Erfahrungen bei der  
Ausbildung von Kernkraftwerkspersonal an Kernkraftwerks-Simulatoren  
Jahrestagung Kerntechnik, Berlin, 25. - 27. März 1980
- 16 T. B. Malone et al., Human Factors Evaluation of Control Room  
Design and Operator Performance of Three Mile Island - 2  
Final Report, NUREG/CR-1270, Jan. 1980

- 17 Kraftwerksschule e.V., Essen, Simulator eines Kernkraftwerkes mit Druckwasser-Reaktor, Betriebshandbuch 1980
- 18 H. Anders, Wozu ein neues Kraftwerk-Kennzeichen-System? BBC-Nachrichten 1977, H.1, S. 45 - 50
- 19 J. L. Seminara, W. R. Gonzales, S. O. Parson, Human Factors Review of Nuclear Power Plant Control Room Design EPRI-NP-309, Nov. 76
- 20 J. L. Seminara, R. W. Pack, S. Seidenstein, S. K. Eckert, Human Factors Engineering Enhancement of Nuclear Power Plant Control Rooms Nuclear Safety, Vol. 21, No. 3, May - Juni 1980
- 21 R. Beyer, H. D. Schenk, E. Zietlow Lesbarkeit und Interpretationsuntersuchungen an elektronischen Displays, DFVLR, Forschungsbericht 71-57, 1971
- 22 I. Colin Der Einfluß der Informationsgestaltung auf die Zuverlässigkeit von Wahrnehmungs- und Verarbeitungsleistungen bei Überwachungstätigkeiten Diss. 1980, Fachbereich Psychologie, J. W. Goethe-Universität Frankfurt
- 23 M. Rogovin, G. T. Frampton, Jr., Three Mile Island, NUREG/CR-1250, Vol. I, 1979
- 24 KTA 3501, Reaktorschutzsystem und Überwachung von Sicherheitseinrichtungen, Sicherheitstechnische Regel des KTA, Fassung 10/80, C. Heymanns Verlag KG, Köln, Berlin



- 25 L.P. Goodstein, J. Rasmussen  
The Use of Man-Machine System Design Criteria in Computerized  
Control Rooms  
Beitrag in A.B. Aune, J. Vlietstra (eds.), Automation for  
Safety in Shipping and Offshore Petroleum Operations  
North-Holland Publ. Comp. (1980)
- 26 E. Zebroski  
The Accident at Three Mile Island  
Conference Power Stations, Salzburg, Österreich, 4. Okt. 1979
- 27 D. Smidt  
Menschliches Fehlverhalten: Ein Kernproblem der Kernkraftwerke?  
Projekt Nukleare Sicherheit, Jahreskolloquium 1980,  
Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK 3070 (1980)
- 28 C. Spearman  
The Origin of Error  
The Journal of General Psychology, Vol. I, No. 1, Jan. 1928,  
pp. 29-53
- 29 R.B. Blum, T.O. Sargent  
Use of the Bimodal Theory in Reactor Crisis  
ANS/ENS-Topical Meeting Thermal Reactor Safety, Knoxville,  
7.-11.4.1980, Session XVIII.7
- 30 A.D. Swain, H.E. Guttman  
Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear  
Power Plant Applications  
NUREG/CR-1278, Oct. 1980
- 31 H.R. Jex  
A Proposed Set of Standardized Sub-Critical Tasks for  
Tracking Workload Calibration  
Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of  
Mental Workload, Mati, Greece, Aug. 30-Sept. 6, 1977

- 32 H.R. Jex, W.F. Clement  
Defining and Measuring Perceptual-Motor Workload in Manual  
Control Tasks  
Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of  
Mental Workload, Mati, Greece, Aug. 30-Sept. 6, 1977
- 33 Ch.D. Wickens  
Measures of Workload, Stress and Secondary Tasks  
Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of  
Mental Workload, Mati, Greece, Aug. 30-Sept. 6, 1977
- 34 J.W. Senders  
Axiomatic Models of Workload  
Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of  
Mental Workload, Mati, Greece, Aug. 30-Sept. 6, 1977
- 35 A.F. Sanders  
Some Remarks on Mental Load  
Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of  
Mental Workload, Mati, Greece, Aug. 30-Sept. 6, 1977
- 36 J. Rasmussen  
Reflections on the Concept of Operator Workload  
Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of  
Mental Workload, Mati, Greece, Aug. 30-Sept. 6, 1977
- 37 G. Johannsen  
Workload and Workload Measurement  
Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of  
Mental Workload, Mati, Greece, Aug. 30-Sept. 6, 1977
- 38 G.T. Gardner  
Effects of Federal Human Subjects Regulations on Data  
Obtained in Environmental Stressor Research  
Journal of Personality and Social Psychology, 1978, Vol. 36,  
No. 6, pp. 628-34

- 39 M.J. Davidson, C.L. Cooper  
Sources of Stress, Training of Operating Personnel for  
Technologies with Hazard Potential: Theory and Practice  
Ispra-Course, 17-21. Nov., 1980
- 40 M.J. Davidson, C.L. Cooper  
Stress and Individual Differences, Training of Operating  
Personnel for Technologies with Hazard Potential: Theory  
and Practice  
Ispra-Course, 17-21. Nov. 1980
- 41 T.O. Sargent  
Design and Training Criteria for Stress and Boredom Conditions  
Trans. ANS 1980 Winter Meeting, SGI/X-05, La Grange Park (1980)
- 42 T.O. Sargent  
Towards Accurate Emergency Response Behavior  
In Preparation (1981)
- 43 T.O. Sargent, R.B. Blum  
Predicting and Controlling Performance Shaping Factors  
Transactions, Vol. 34, ANS 1980 Annual Meeting, La Grange Park  
(1980)
- 44 R.B. Blum  
Human Behavior in the Extremes of Stress  
An Annotated Bibliography for High Technology Industry,  
Sargent Group Inc., Hartford (1980)
- 45 T.O. Sargent  
Human Behaviour in Adverse Stress, Operator Behaviour in  
Adverse Stress Conditions  
Ispra-Course 27.-29. April 1981

- 46 M. Shahinpoor, D.J. Wells  
Applications Possibilities for Fuzzy Failure Analysis, and  
Diagnosis of Reactor Plant Components and Areas  
Nucl. Eng. and Design 61 (1980), pp. 93-100
- 47 L.A. Zadek  
Inform. Contr. 12 (1968), 94-102
- 48 D. Dubois, H. Prade  
Fuzzy Sets and Systems  
Academic Press, N.Y., London, Toronto, Sydney, San Francisco (1980)
- 49 J.M. Finkelmann  
An Information Processing Evaluation of the Effect of Stress  
IFU-Colloquium 1972, Köln, 25.-26. April 1972
- 50 V. Wilkens  
Über das Informationsproblem in Mensch-Maschine-Systemen der  
Luftfahrt-Einflüsse und allgemein verwertbare Erkenntnisse für  
die Sicherheit  
IFU-Colloquium 1972, Köln, 25.-26. April 1972
- 51 G.W. Radl  
Ingenieurpsychologie in Raumfahrt und Industrie: Ein Vergleich  
von Zielen und Möglichkeiten  
IFU-Colloquium 1972, Köln, 25.-26. April 1972
- 52 R.P. Barthol, N.D. Ku  
Regression under Stress to First Learned Behaviour  
in G. Lindzey, C.S. Hall, M. Manosevitz, Theorie of Personality,  
Primary Sources and Research  
2nd Ed., Wiley & Sons, Inc. N.Y., London, Sydney, Toronto  
(1973), Section V, pp. 156-159
- 53 K. Kirsch, S. Fichtbauer, M. Nordhausen, DFVLR  
unveröffentlichter Bericht, 1977

- 54 N.S. Elliot, J.J. Kelly, E.A. Womack  
Abnormal Transient Operating Guidelines Program,  
Nuclear Operating Experience Conference, New Orleans, Louisiana,  
March 9-11, 1980
- 55 F. Frischenschlager  
Analysis and Presentation of Annunciations in Nuclear Power Plants,  
Specialists' Meeting on "Procedures and Systems for Assisting an  
Operator During Normal and Anormalous Nuclear Power Plant Operation  
Situations", 5.-7. 12. 1979, München
- 56 K.M. Goeters, DFVLR, Hamburg 1981,  
Persönliche Mitteilung

Herrn  
Büttner  
KWS-Geschäftsstelle  
Klinkestr. 27 - 31  
Postfach 103932

4300 Essen 1

Sehr geehrter Herr Büttner,

vereinbarungsgemäß schreibe ich Ihnen heute, um die aus unserer Erfahrung sich ergebenden Änderungsvorschläge für den DWR-Simulator mitzuteilen.

Zunächst möchte ich mich aber noch einmal sehr herzlich für die freundliche Aufnahme und ausgezeichnete Betreuung bedanken. Der Kursus war für Herrn Schnauder und mich ganz außerordentlich lehrreich, und ich werde ihn sicherlich meinen RSK-Kollegen und auch den Gutachtern zur Nachahmung empfehlen.

Von den anzumerkenden Punkten sind Ihnen sicherlich die meisten schon bekannt. Trotzdem möchte ich sie der Vollständigkeit halber nochmals mit aufführen. Die Anmerkungen betreffen sowohl die rein gestalterische Auslegung als auch die Systemphilosophie und die Software.

Auf der gestalterischen Seite ließen sich Verbesserungen durch die Vermeidung folgender Punkte erzielen:

- Uneinheitliche Kennzeichnung von Anlagenkomponenten, z. B. Pumpen einmal mit und einmal ohne Pumpensymbol
- Nicht konsequentes Einhalten der funktionsmäßigen Reihenfolge von Komponenten, z. B. Betätigungsbausteine für Ölpumpen liegen über den von ihnen zu versorgenden Pumpen
- Uneinheitliche Betätigungsbausteine, z. B. für die Durchflußregelung im Speisewassersystem
- Spiegelsymmetrische Anordnung von mehrfach vorhandenen Systemen, z. B. Speisewassersystem, Hauptkühlmittelpumpen, Notstromsystem

- Farbe und Helligkeit, insbesondere bei den grünen Anzeigelampen, differieren sehr stark und sind teilweise nur schwer zu erkennen.
- Beschriftung der Betätigungsbausteine ist wegen der engen Schrift schwer lesbar. (Vielleicht wäre ein anderer Schrifttyp vorteilhafter.)
- Zu wenig Beschriftungen im Klartext
- Keine strukturierte Kennzeichnung von Anzeigeelementen im Pultaufsatz, z. B. durch farbliche Umrahmung wären zusammengehörende Anzeigen oder wichtige Parameter leichter und zuverlässiger lokalisierbar.
- Bildschirmwiedergabe ist schwer lesbar wegen Spiegelung, Schriftgröße und Anordnung; besser wäre eine Lösung in der Art wie beim Siedewasserreaktor-Simulator. Die Lesbarkeit auch von anderen Standorten in der Warte könnte entscheidend verbessert werden.
- Kontakte der Betätigungsbausteine erfordern meist sehr hohen Tastendruck

Verbesserungen bzw. Eingriffe in die Systemphilosophie und Software:

- Anbringen von Anzeigeelementen für Änderungsgeschwindigkeiten, z. B. Druck im Sekundärsystem (An- und Abfahren)
- Anbringen einer Druckhalter-Wasserstandsmessung über das 10-m-Niveau hinaus
- Schaffung einer Möglichkeit, das Kriterium YZ60 z. B. per Schlüsselschalter zu quittieren, damit die Hauptwärmesenke nicht blockiert wird
- Es sollte die Möglichkeit bestehen, beim Anstehen der Noteinspeisekriterien die Verriegelung der Hauptspeisepumpen aufzuheben, z. B. für Störfall Dampferzeugerrohrbruch.
- Das Ansprechen der primären und sekundären Sicherheitsventile sollte akustisch mitgeteilt werden.
- Die Notspeisewasserpumpen dürfen sich bei anstehendem Noteinspeisekriterium nicht abschiebern lassen.
- Ein Softwarefehler führt offensichtlich dazu, daß unter bestimmten Störfallbedingungen die Notspeisestränge ständig zu- und abgeschaltet werden.
- Beim Abfahren des Sekundärkreises unter etwa 3 bar wird ein undefinierter Zustand erreicht, bei dem ein weiteres Abfahren nicht möglich ist (Software).
- Beim Einfallen der Abschaltstäbe tritt bei der Primärkühlmitteltemperatur ein Sprung auf, was physikalisch nicht zu erklären ist.

Ich würde mich sehr freuen, wenn unsere Anregungen evtl. sogar im Zuge der bevorstehenden Umrüstung mit ihren Niederschlag finden könnten.

Mit freundlichem Gruß

gez. D. Smidt