Anwendung von PSA-Methoden zur Sicherheitsbewertung von Kernkraftwerken

Software-basierte Leittechnik, Teilaspekt: Mensch-Maschine-Schnittstelle

SR 2547

GRS - A - 3414

Fachbericht Anwendung von PSA-Methoden zur Sicherheitsbewertung.

Software-basierte Leittechnik, Teilaspekt: Mensch-Maschine-Schnittstelle

Ewgenij Piljugin

Dr. Jürgen Hartung

März 2008

Auftrags-Nr.: 857166

Anmerkung:

Das diesem Bericht zu Grunde liegende FE-Vorhaben SR 2547 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.
Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

GRS - A - 3414

Kurzfassung

Die Leittechnik bildet in einem Kernkraftwerk eine Schnittstelle zur Verfahrenstechnik und dient dabei der Prozessüberwachung und -steuerung. Die sicherheitsrelevanten Aufgaben der Prozessüberwachung und -steuerung in den Kernkraftwerken wurden bisher weitgehend durch konventionelle analoge leittechnische Einrichtungen ausgeführt. In den nicht nuklearen Industriezweigen (u. a. Automobilindustrie, Bahntechnik, Energieversorgung, Flugzeugindustrie, Maschinenbau) wird gegenwärtig software-basierte Leittechnik für die Aufgaben der Mensch-Maschine-Schnittstelle eingesetzt. Dieser Trend ist auch in den Kernkraftwerken zu beobachten. In einigen Anlagen im In- und Ausland wird software-basierte Leittechnik zu weitreichender Modernisierung der Warte eingesetzt. Als ein Ergebnis dieser Entwicklung entsteht die hybride Gestaltung der Warte, die sowohl konventionelle als auch software-basierte Informations- und Bedieneinrichtungen umfasst.

Bei der Durchführung von Sicherheitsüberprüfungen können Änderungen in der Mensch-Maschine-Schnittstelle ggf. einen relevanten Beitrag bei der Bewertung zur Personalhandlungen in der PSA liefern. In der PSA wurden die spezifischen Aspekte der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle bisher nicht explizit berücksichtigt. Im Rahmen des vom BMU beauftragten Vorhabens SR 2547 sollte im Arbeitspaket AP 1.3 ein Grundkonzept zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA entwickelt werden.

Im Bericht werden Ergebnisse der Recherchen zum Stand von Wissenschaft und Technik zur Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA und ein Grundkonzept zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle hinsichtlich Personalhandlungen für die PSA vorgestellt. Ferner werden im Bericht zwei weitverbreitete Methoden zur Analyse der Personalhandlungen (ATHEANA und THERP) bezüglich deren Anwendbarkeit für die rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstellen gegenübergestellt.

Summary

The instrumentation and control (I&C) system in a nuclear power plant represents an interface with process-based systems and serves for process monitoring and control. The safety-relevant functions of process monitoring and control in the nuclear power plants have so far been largely fulfilled by conventional, analogue I&C installations. In the non-nuclear industries (i.e. automotive industry, rail engineering, electricity supply, aircraft industry, mechanical engineering), software-based I&C is currently used for the tasks of the man-machine interface. This trend can also be observed in nuclear power plants. In some plants in Germany and abroad, software based I&C is used for the far-reaching modernisation of the control room. As a result of this development, a hybrid control room structure is emerging that comprises both conventional and software-based information and operating equipment.

In the context of a safety review, changes in the man-machine interface may have a relevant effect on the assessment of operator actions in a PSA. So far, the specific aspects of the computerised man-machine interface have not been explicitly taken into account in the PSA. Within the framework of the BMU sponsored project SR 2547, Work Package AP 1.3 included the tasks of preparing a basic concept for the assessment of the computerised man-machine interface in the PSA.

This report presents results of studies relating to the state of the art in science and technology in connection with the assessment of the man-machine interface in the PSA and a basic concept for the assessment of the computerised man-machine interface with regard to operator actions for the PSA. Furthermore, it contains a comparison of two widely applied methods for the analysis of operator actions (ATHEANA und THERP) with respect to their applicability to a computerised man-machine interface.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Im Rahmen des vom BMU beauftragten Vorhabens SR 2547 soll im Arbeitspaket AP 1.3 ein Grundkonzept zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA entwickelt werden.

Für die Prozessüberwachung und für die Unterstützung des Betriebspersonals bei betrieblichen Aufgaben wurden in Kernkraftwerken schon von Anfang an rechnergestützte Informationssysteme eingesetzt. Die sicherheitsrelevanten Aufgaben der Prozessüberwachung und -steuerung wurden bisher jedoch weitgehend durch konventionelle analoge leittechnische Einrichtungen ausgeführt. In den meisten nicht nuklearen Industriezweigen (z. B. Automobilindustrie, Bahntechnik, Energieversorgung, Flugzeugindustrie, Maschinenbau) wird gegenwärtig die Mensch-Maschine-Schnittstelle in den modernen technischen Systemen mittels software-basierter Leittechnik realisiert. Dieser Trend ist auch in den Kernkraftwerken verstärkt zu beobachten. In einigen Anlagen im In- und Ausland wird software-basierte Leittechnik zu weitreichender Modernisierung der Warte eingesetzt. Als ein Ergebnis dieser Entwicklung entsteht u. a. die hybride Gestaltung der Warte, die sowohl konventionelle als auch rechnergestützte Informations- und Bedieneinrichtungen umfasst.

Bei der Durchführung von Sicherheitsüberprüfungen können Änderungen in der Mensch-Maschine-Schnittstelle ggf. einen relevanten Beitrag bei der Bewertung zur Personalhandlungen in der PSA liefern. Die Rahmenbedingungen zur Vorgehensweise und zum Umfang der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) im Rahmen einer Sicherheitsüberprüfung (SÜ) gemäß § 19a AtG /ATG 02/ sind im Leitfaden "Probabilistische Sicherheitsanalyse" /BMU 05/ festgelegt. Bei der Durchführung probabilistischer Analysen sollen alle wichtigen Informationen über Anlagenauslegung, Betriebsweisen, Betriebserfahrungen, Komponenten- und Systemzuverlässigkeiten sowie menschliches Handeln möglichst realistisch zu einer Gesamtbetrachtung der systemtechnischen Einrichtungen der Anlage zusammengeführt werden.

Die GRS hat im Rahmen des Vorhabens SR 2314 Methoden und Kriterien entwickelt, die es erlauben, die auf hybride Warten anzuwendende Forderungen praxisgerecht zu überprüfen. In /FAS 02/ sind Methoden dargestellt, mit denen sich Beanspruchungen,

Ereignisabläufe und die quantitative Zuverlässigkeit von Personalhandlungen bestimmen lassen. Diese Methoden stützen sich auf grundlegende Modelle menschlicher Informationsverarbeitung, Zeitbudget- und Ereignisablaufanalysen sowie Quantifizierungsmodelle, wie sie EdF (Electricité de France) /EDF 90/ und das Electrical Power Research Institute (EPRI) /HAN 87, HAN 88/ vorgelegt haben.

Die Festlegungen im PSA-Leitfaden /FAK 05/ und dem zugehörigen Fachband zu PSA-Methoden /FAK 05/ machen es erforderlich, die Konzepte bzw. Methoden zur Berücksichtigung software-basierter Leittechnik, einschließlich der Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA zu entwickeln. Im Rahmen der Konzeptentwicklung zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle, werden im Vorhaben SR 2547 folgende Arbeiten durchgeführt:

- Ermittlung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA. Die bereits vorliegende Dokumentation wurde vervollständigt und der schnell voranschreitenden Entwicklung der software-basierten Leittechnik anhand von Literaturrecherchen und durch Teilnahme an Veranstaltungen zu den Themen: "Entwicklung von PSA-Methoden", "Zuverlässigkeitsbewertung digitaler Leittechnik", "Mensch-Maschine-Schnittstellen in der Prozessüberwachung und -steuerung" angepasst;
- Aufbauend auf Erkenntnissen aus den Arbeiten zur Ermittlung des Standes von Wissenschaft und Technik und zur Identifikation der relevanten Mensch-Maschine-Schnittstellen in Kernkraftwerken wurde ein Grundkonzept zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA entwickelt.

2 Sachstand zum Stand von Wissenschaft und Technik

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle ist im Allgemeinen eine Benutzungsschnittstelle, die dem Benutzer das Bedienen einer technischen Einrichtung und das Beobachten der Anlagenzustände erlaubt. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle in einem Kernkraftwerk wird im Wesentlichen durch leittechnische Einrichtungen realisiert, die der Prozessüberwachung und -steuerung dienen. Eine Übersicht über generische Mensch-Maschine-Schnittstellen in einem Kernkraftwerk ist in der nachfolgenden **Abb. 2-1** dargestellt.

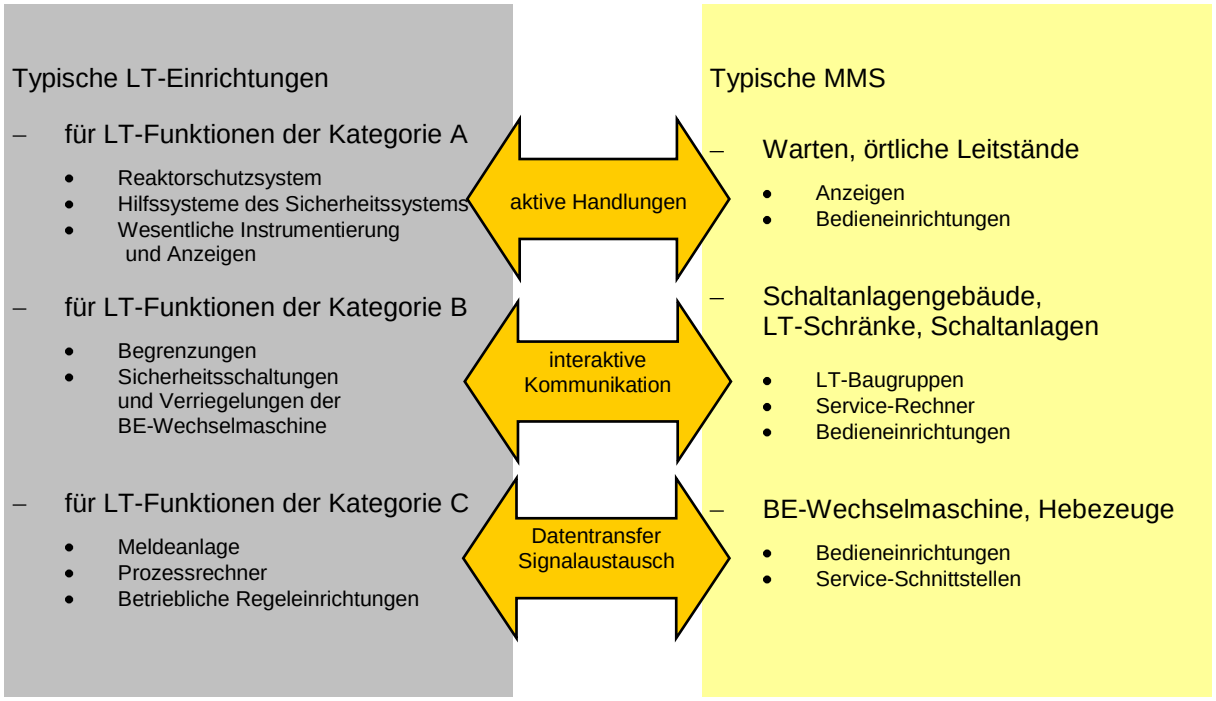


Abb. 2-1 Übersicht über Mensch-Maschine-Schnittstellen im Kernkraftwerk sowie Unterteilung der LT-Einrichtungen in Hauptkategorien für Personalhandlungen gemäß /FAK 05/

Die Bereitstellung der Informationen und das Bedienen der technischen Einrichtungen können sowohl konventionell über Bedienpulte, Anzeigefelder, Taster etc. als auch rechnergestützt über ein Visualisierungssystem erfolgen. Die Informationsaufbereitung und die Signalverarbeitung können dabei sowohl konventionell mittels analoger als auch mittels software-basierter Leittechnik erfolgen. Im Folgenden wird der Begriff

"rechnergestützte Mensch-Maschine-Schnittstelle" verwendet, um möglichst alle Kombinationen der Gestaltung dieser Schnittstelle unter Verwendung der software-basierten Leittechnik zu erfassen.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Recherchen zu PSA-Methoden nur im Zusammenhang mit der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle dargestellt, wobei die Wechselwirkung zwischen software-basierter Leittechnik und Personalhandlungen im Fokus liegt. Die generellen Aspekte der Analyse der Personalhandlungen (HRA) sind nicht Bestandteil der Untersuchungen und werden im vorliegenden Bericht nicht explizit behandelt.

2.1 Bundesrepublik Deutschland

Die Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über eine konventionell gestaltete Warte, wobei in einigen Bereichen der Warte bereits digitale Einrichtungen zur Informationsdarstellung eingesetzt werden. In einigen anderen Bereichen mit sicherheitstechnischer Relevanz außerhalb der Warte (u. a. Brennelementwechselbühne, örtliche Leitstände und Service-Schnittstellen an den Leittechnikschränken) sind die software-basierten Benutzungsoberflächen auch zur aktiven Einwirkung auf die Prozesse vorgesehen, bzw. in Einzelfällen bereits installiert. Bei all diesen Einrichtungen handelt es sich um sogenannte Hybrid-Schnittstellen.

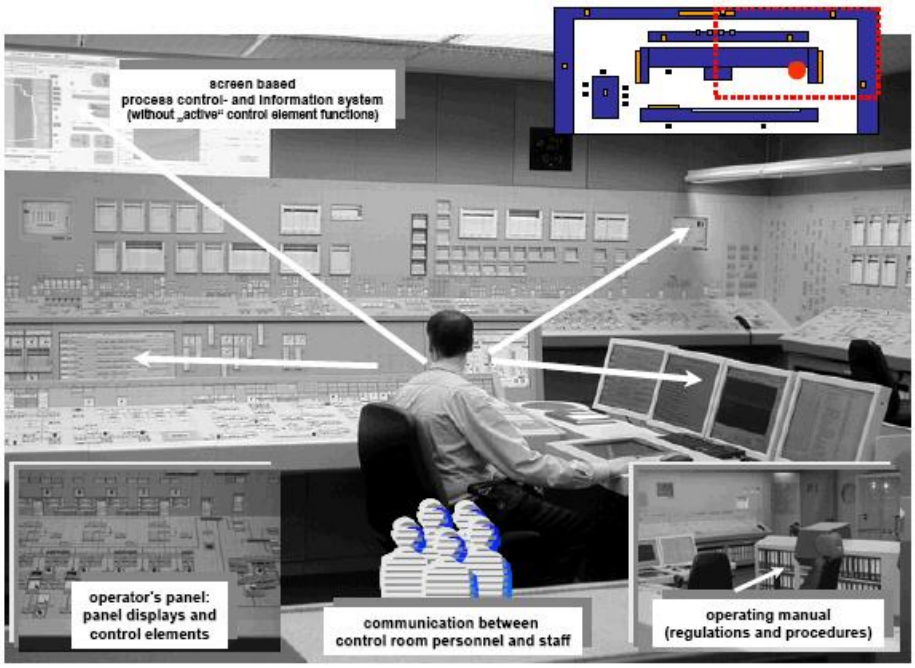


Abb. 2-2 Beispiel einer Hybrid-Warte in einem Kernkraftwerk in Deutschland

In der kerntechnischen Regel KTA 3904 /KTA 07/ sind die Anforderungen an die Planung und Ausführung der Warte, der Notsteuerstelle und der örtlichen Leitstände einschließlich der ergonomischen technischen Gestaltung festgelegt, wobei die Einhaltung der konventionellen Vorschriften und Normen (u. a. DIN-Normen und ISO- sowie VDE-Bestimmungen) vorausgesetzt wird, wenn nicht kernkraftwerksspezifisch andere Anforderungen gestellt werden. In der KTA 3904 /KTA 07/ wird explizit auf detaillierte Anforderungen an die Planung und Gestaltung von Warten in Kernkraftwerken in folgenden Standards hingewiesen:

IEC 60964	Control room design in nuclear power plants
IEC 60965	Supplementary control points for reactor shut-down without access to the main control room
IEC 61227	Control room - Operator controls
IEC 61771	Main control room - Verification and validation of design
IEC 61772	Main control room - Application of visual display unit (VDU)
DIN IEC 61839	Kernkraftwerke - Auslegung von Warten -Analyse und Zuordnung der Funktionen
DIN IEC 62241	Kernkraftwerke - Hauptwarte - Funktionen zur Meldung und Anzeige von Störungen
DIN IEC 61226	Kernkraftwerke - Leittechnische Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung Kategorisierung leittechnischer Funktionen
DIN IEC 62138	Kernkraftwerke - Softwareaspekte für rechnerbasierte Systeme zur Realisierung von Funktionen der Kategorien B und C

Die Anforderungen der KTA 3904 berücksichtigen auch ganz allgemein die spezifischen Aspekte der software-basierten Mensch-Maschine-Schnittstelle, u. a.:

- Qualifizierung der Hard- und Software (nach DIN IEC 61226 und DIN IEC 62138),
- Ergonomie der rechnergestützten Prozessinformationssysteme,
- Bewertung der Modernisierung
  (Anhang A, A3: Neuartige Teile des Arbeitssystems).

In der PSA wurden die spezifischen Aspekte der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle bisher nicht explizit berücksichtigt. Im Rahmen des Vorhabens SR 2314

entwickelte die GRS eine Methode, mit der sich Arbeitsabläufe in hybrid aufgebauten Warten eines Kernkraftwerks analysieren und hinsichtlich der zu erwartenden Zuverlässigkeit bewerten lassen. Diese Analysemethode geht von einem Verfahren aus, welches die U.S. Nuclear Regulatory Commission /NRC 94/ empfiehlt, wobei dieser Ansatz weiterentwickelt und seine praktische Anwendbarkeit verbessert wurde. In /FAS 02/ sind Vorgehensweisen und Kriterien zur Beurteilung von Voraussetzungen für eine zuverlässige Aufgabenerfüllung vorgestellt. Dazu zählen die Unterstützung von Arbeitsschritten durch Informationen und Bedienmöglichkeiten, die geistig-kognitive Beanspruchung und die Arbeitslast, die als Verhältnis von benötigter und verfügbarer Zeit für die Bearbeitung der Aufgabe definiert ist. Das System für die Einstufung geht von Erkenntnissen über Leistungsmöglichkeiten und Leistungsgrenzen des Menschen aus. Es erlaubt eine Beurteilung, wie günstig bzw. ungünstig die zeitliche bzw. kognitive Beanspruchung der Operateure durch die Aufgabe ist.

In /FAS 02/ werden die Ergebnisse einer Fallstudie am Beispiel der Schutzzielüberwachung vorgestellt, für die der Betreiber eines deutschen Kernkraftwerks ein Hard- und Softwaresystem entwickelt hat. Die Warte dieses Kernkraftwerks enthält alle konventionellen Anzeigen, so dass die Arbeitsabläufe direkt verglichen werden konnten, wenn das Personal die Aufgabe mit rechner- und bildschirmbasierten bzw. konventionellen Schnittstellen ausführt.

Der Beurteilungsprozess in der Studie wurde durch Anwendung der in /PRW 98/ beschriebenen Methode zur Quantifizierung menschlicher Zuverlässigkeit unterstützt. Für die Quantifizierung nutzt die in /PRW 98/ vorgestellte Methodik die Verfahren THERP (*T*echnique for *H*uman *E*rror *R*ate *P*rediction) /SWA 83/ und HCR (Human *C*ognitive *R*eliability-Model) /HAN 88/.

2.2 Erfahrungen mit rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstellen und Forschungsarbeiten im Ausland

2.2.1 Finnland

In Finnland wurden die Kernkraftwerke mit Siedewasserreaktoren Olkiluoto, Block 1 und 2 in den Bereichen Warten und Leittechnik modernisiert. Die finnischen Kernkraftwerke Loviisa, Block 1 und 2 (Typ WWER-440) werden demnächst auch im Bereich Warte und Leittechnik modernisiert. Dort entstehen hybrid aufgebauter Mensch-

Maschine-Schnittstellen. Am Standort Olkiluoto wird derzeit eine moderne Reaktoranlage vom Typ EPR errichtet. Die Anlage Olkiluoto 3 erhält eine rechnergestützte Warte (siehe dazu die Abbildungen **Abb. 2-3** und **Abb. 2-4**), wobei einige sicherheitsrelevante Teile der Mensch-Maschine-Schnittstelle sowohl mit softwarebasierter und als auch mit analoger Leittechnik aufgebaut sind.

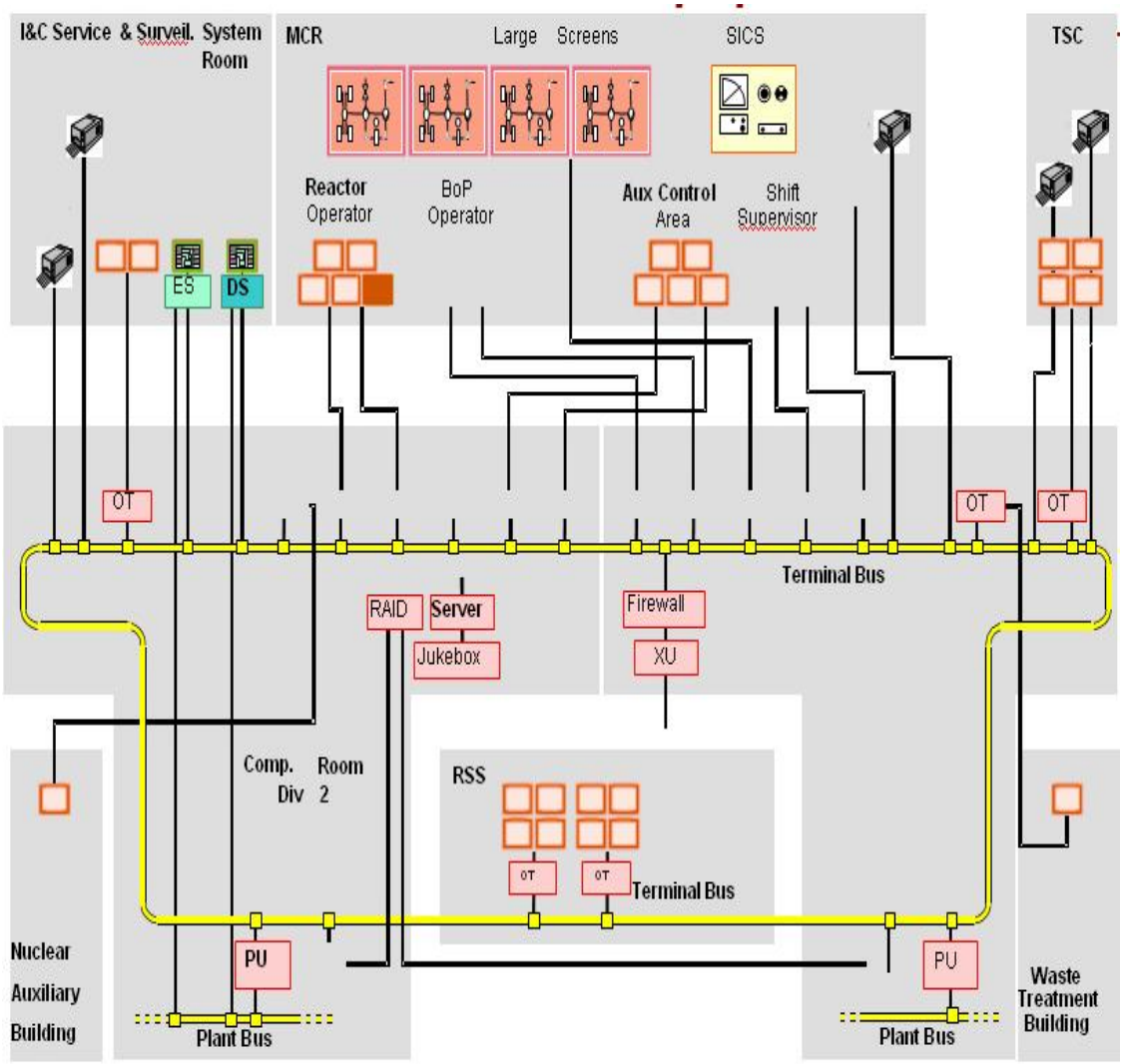
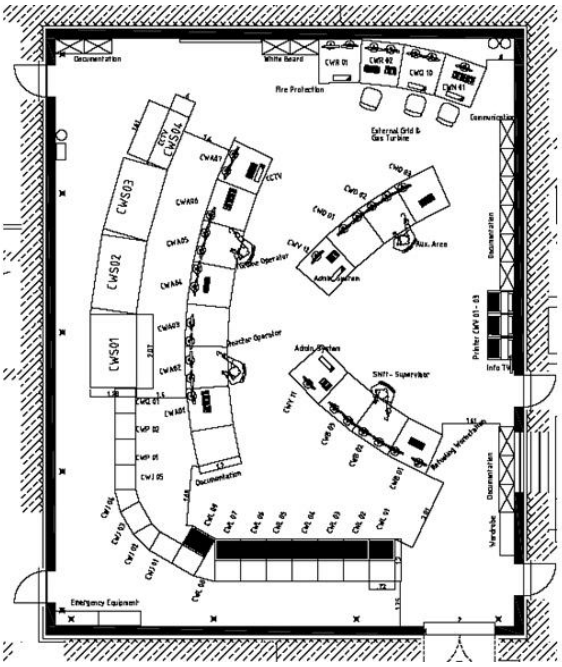


Abb. 2-3 Struktur der Leittechnik der Warte im Kernkraftwerk Olkiluoto-3



- 4 PICS sit-down operator work stations
- 5 additional work stations
  - 2 administrative PCs
  - Communication
  - Fire protection
  - External grid & gas turbine control
- 3 large screens
- 1 panel with 2 x 45" screens
- SICS panels (analogous I&C)

Abb. 2-4 Warte im Kernkraftwerk Olkiluoto-3

Der GRS liegen bisher keine Informationen vor, wie die rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstellen in der PSA im Olkiluoto-3-Projekt bewertet werden. Hierzu ist es notwendig, die Arbeiten zu den probabilistischen Analysen der modernisierten und neu zu errichtenden Anlagen in Finnland weiter zu verfolgen.

2.2.2 Frankreich

In Frankreich wurde 1996 der erste Kernkraftwerksblock vom Typ N4 mit der weitgehend vollständig rechnergestützten Warte in Betrieb genommen. Die N4-Warte wurde durch die Firma Sema Group (seit 2004 durch Fa. Atos Origin übernommen) auf der Basis vom Advanced Data Acquisition and Control System (ADACS) entwickelt. Der Vertreter des Auftraggebers EdF hat in einem Vortrag /PIR 06/ die Entscheidung zur Einführung einer rechnergestützten Warte damit begründet, dass dadurch folgende Verbesserungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle erreicht werden:

- zuverlässige Anzeige und optimale Darstellung sicherheitsrelevanter Informationen in der Warte,
- diversitäre und redundante Instrumentierung in der Benutzungsoberfläche,

- effiziente Signalisierung und Alarmierung,
- umfassende Diagnosemöglichkeiten,
- Flexibilität in der Erweiterung der Informationsdarstellung.

In den Bildern **Abb. 2-5** und **Abb. 2-6** sind rechnergestützte Arbeitsplätze in der Warte einer französischen N4-Anlage dargestellt.

Auf den Bildern sind auch die Wandtafeln mit der konventionellen Wartentechnik zu erkennen. Die Anzeigen und Fließbilder dieser Wandtafeln sind auf der Basis analoger Technik (Hersteller H & B) aufgebaut.

Abb. 2-5 Warte in einem N4-Kernkraftwerk (Anlagen Chooz und Civaux)

Abb. 2-6 Arbeitsplatz des Operateurs im N4-Kernkraftwerk

Während der NPIC & HMIT-Veranstaltung aus dem Jahr 2006 /DAC 06/ wurde über die Zuverlässigkeit der Warte-Leittechnik (KIC-N4) und die hohe Verfügbarkeit der Warte berichtet (siehe **Abb. 2-7**).

	Number of reactor years of operation	In hours	Number of Outages	Hours of system unavailability	Actual Availability %	Expected Availability %
Total (across all N4 sites)	30	262,800	4	11	99.99581%	99.985%
Since ADACS V5 was introduced	14	122,640	1	2	99.99837%	99.985%

Abb. 2-7 Betriebserfahrung mit der Leittechnik der N4-Warte

Die Betriebserfahrung mit einer rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle zeigte jedoch auch einige Probleme in der Wechselwirkung zwischen dem Operateur und dem Prozess auf /PIR 06/:

- "Key hole"-Effekt: Dieser entsteht bei der Konzentration auf einen relativ kleinen Bildschirm, der nur einen Ausschnitt der Anlage zeigt. Die Operateure holen sich

die geforderten Informationen auf den Bildschirm und sind stärker auf ihren Arbeitsplatz konzentriert. Dadurch entsteht Mangel hinsichtlich der Gesamtübersicht über die Anlage (global visions). Bei den großen analogen Benutzungsoberflächen müssen sich die Operateure zu den Anzeigen und Schaltern der einzelnen Systeme begeben. Allein aus der Position des Operateurs kann dort das Wartenpersonal schon Rückschlüsse auf seine Tätigkeit ziehen.

- Mangelnde Kommunikation zwischen den Operateuren, die bei rechnergestützten und bildschirmorientierten Mensch-Maschine-Schnittstellen stärker an ihrem Arbeitsplatz verharren, wird als weiteres Problem der software-basierten Leittechnik gesehen.

Der GRS liegen außerdem Erkenntnisse vor, dass in der Warte der N4-Anlagen einige Totalausfälle der rechnergestützten Benutzungsoberfläche bereits eingetreten sind.

Der Betreiber EdF hat einen Simulator mit der Bezeichnung FITNESS für die Untersuchungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle insbesondere für die Informationsdarstellung und Diagnose in der Warte entwickelt /PIR 06/. Nach Meinung der Entwickler ist dieser Simulator für die Verifizierung der HR-Analysen geeignet.

Die Literaturrecherchen ergeben, dass die Aspekte der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle und deren Wechselwirkung mit den Personalhandlungen eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Auslegung und der Modernisierung der Warte in Frankreich spielen. Dennoch sind der GRS bisher keine Ergebnisse zur Berücksichtigung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA in Frankreich bekannt bzw. zugänglich. Weitere Aktivitäten (u. a. bilaterale Arbeit) auf diesem Gebiet notwendig.

2.2.3 Schweiz

Im Rahmen der Modernisierung des Kernkraftwerks Leibstadt entschied man sich für den Umbau der konventionellen Warte zu einer Hybrid-Warte. Während mehrerer Revisionen /MÄR 06/ wurde die Warte vollständig modernisiert. Dabei erfolgte schrittweise eine Umstellung von einer auf einzelnen Funktionen orientierte auf eine prozessorientierte Darstellung. Das Modernisierungskonzept der Mensch-Maschine-Schnittstelle berücksichtigt auch die Umstellung der Benutzungsschnittstelle auf die

"soft control"-Funktion. Bei der Modernisierung der Warte wurde Leittechnik verschiedener Hersteller eingesetzt:

Vendor	**Operational I&C System Supplier**	**Safety I&C System Supplier**
Invensys Switzerland	I/A Series Foxboro	TRICON PLC Triconex
Framatome ANP Germany	TELEPERM XP Siemens	TELEPERM XS FANP
Hitachi Japan	HIACS 5000M	HIACS 5000M
Westinghouse Germany	Industrial ABB	Common Q Westinghouse

Die Implementierungen der Leittechnik verschiedener Hersteller verliefen nicht reibungslos und führten während der Realisierung zu einigen Änderungen im Konzept der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Bisher ist der GRS nicht bekannt, wie die Änderungen in der Mensch-Maschine-Schnittstelle durch die Modernisierung der Warte in der PSA berücksichtigt werden.

2.2.4 Süd-Korea

In Süd-Korea wird zurzeit die neue Kernkraftwerk-Generation (KNGR) mit digitaler Leittechnik errichtet. Dabei werden vorwiegend die inländischen Technologien eingesetzt. Die Zielstellung der Verbesserungen gegenüber in Betrieb befindlichen Anlagen ist die Erhöhung der Sicherheit und der Effizienz der Leistungserzeugung, wobei auch Verbesserung der Wartengestaltung und der Mensch-Maschine-Schnittstelle erwartet wird.

Im koreanischen Forschungsinstitut KAERI wurden Untersuchungen durchgeführt, um eine geeignete HRA-Methode zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit bei Personalhandlungen in der rechnergestützten Warte auszuwählen. Dabei wurden technischen Aspekte von 10 bekannten Methoden (u. a. THERP, SHARP, ATHEANA, CREAM) ausgewertet. Die Methoden wurden kategorisiert hinsichtlich der Identifikation der Personalfehlhandlungen (1. Schritt) und der Quantifizierung der leistungsbeei-

nflussenden Faktoren (PSF) (2. Schritt). Nach Meinung der Autoren ist die methodische Vorgehensweise in ATHEANA und CREAM am Besten geeignet, um das modernen Design der KNGR-Warte in der HF-Analyse bewerten zu können. Dennoch wurde für die Durchführung der PSA im Rahmen des Genehmigungsverfahrens entschieden, die Vorgehensweise und die Daten der THERP-Methodik zunächst beizubehalten, um die Verknüpfung mit vorhergehenden PSA Untersuchungen zur Auslegung der KNLR-Anlagen zu bewahren /LEE 00/.

2.2.5 Taiwan

In Taiwan befindet sich das Kernkraftwerk Lungmen (LMNPP) noch in der Errichtungsphase. Es besteht aus zwei Blöcken mit einer Reaktoranlage vom Typ ABWR (General Electric) jeweils mit der elektrischen Leistung 1350 MW_{el}. Die Warte wird mit einer rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle (vgl. **Abb. 2-8**) u. a. mit berührungsempfindlichen Bildschirmen, Soft Control-Funktionen, Großbildschirmen ausgerüstet. Alle Alarme und Betätigungseinrichtungen sind in zwei Kategorien unterteilt: feste Position und variable Position.

Abb. 2-8 LMNPP-Simulator mit dem Modell der Originalwarte

Das Wartendesign befindet sich derzeit in der Abschlussphase des Verifizierungs- und Validierungsprozesses (V & V Process) /CHU 06/. Die Begutachtung des Designs wurde auf der Basis von /NRC 04/ und /NRC 02/ durchgeführt. Für den Verifikations- und Validierungsprozess wird zurzeit die HF-Analyse mit Hilfe des LMNPP-Simulators

und der GETS-Simulatorumgebung der Fa. General Electric durchgeführt. Die V & V-Phasen der Warte sind in **Abb. 2-9** dargestellt.

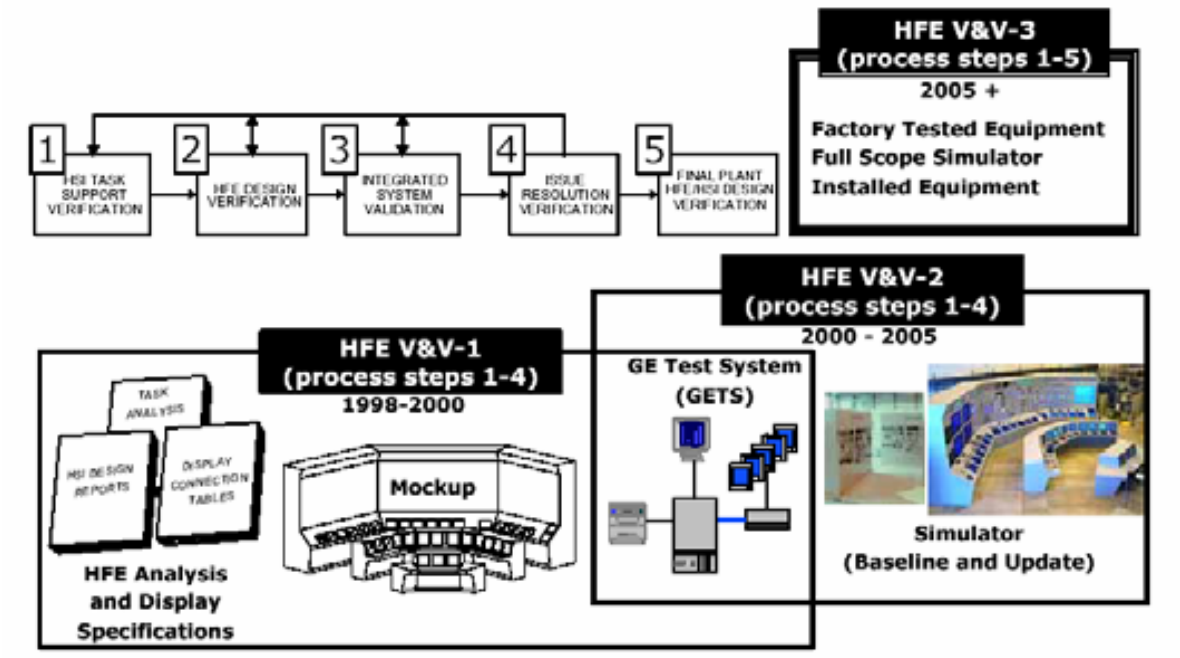


Abb. 2-9 Übersicht über die V&V-Phasen im Kernkraftwerk Lungmen

Über eine Berücksichtigung der Spezifik der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA sind bisher keine Informationen verfügbar.

2.2.6 Tschechische Republik

In der tschechischen Republik arbeitet das Kernkraftwerk Dukovany (Typ WWER-440) derzeit an der Modernisierung der Instrumentierung von Warten und örtlichen Leitständen. Ein Ziel der Modernisierung ist die Reduzierung der Anzahl der Leitstände von 12 auf 4. In der Anfangsphase der Auslegung sollten Untersuchungen zur Feststellung relevanter Einflüsse der geplanten Änderungen auf die menschliche Zuverlässigkeit erfolgen.

Im Kernforschungsinstitut Řež wurde eine Methode zur Bewertung der (Personal-) leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSF) entwickelt /KUB 06/. Die Liste von Faktoren sollte die folgenden Kriterien erfüllen:

- Aller Faktoren sind zu erfassen, die in den bekannten HRA-Methoden betrachtet werden (u. a. THERP, CREAM, HEART, SLIM usw.).

- Alle Faktoren sind zu erfassen, die aus der Betriebserfahrung der tschechischen Kernkraftwerke als relevante Faktoren ermittelt wurden,
- Die Struktur der Faktoren sollte nachvollziehbar sein.

Folgende Liste von PSF-Faktoren bezüglich Änderung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Warte, Leitstände) wurde erstellt:

Positive Beeinflussung	Negative Beeinflussung
– Good ergonomic characteristics of environment of man-machine interface	– Unfavourable ergonomic characteristics of environment, of man-machine interface
– Availability of special equipment, tools and support	– High number of simultaneous goals, information load
– Clarity of the information	– Suddenness of onset
– Available time	– Too many alarms
– Optimal number of advisors	– Long duration of difficult situation
– Sufficiency of the communication	– High task criticality
– High experience and practice	– Distracting interaction with other personnel
	– Lack of experience and of practice
	– Monotonous or meaningless work

Die meisten Empfehlungen der qualitativen Analyse führten nach Ansicht von Řež-Experten zu einer Lösung der Probleme, die mit dem entsprechenden PSF Faktoren verbunden waren:

- Verbesserung der Ergonomie des Arbeitsplatzes (unter Verwendung von NUREG-0700 /NRC 02/),
- Verringerung der Anzahl der gleichzeitig auszuführenden Tätigkeiten,
- Verbesserung der Informationsdarstellung,
- Vergrößerung der Zeitreserve, usw.

Die PSA für das Kernkraftwerk Dukovany soll nach Abschluss der Modernisierung aktualisiert werden. Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen. Es liegt auch keine Information vor, ob und wie die Bewertungsergebnisse der Modernisierung der Warte in der PSA des Kernkraftwerks Dukovany berücksichtigt sind bzw. berücksichtigt werden.

2.2.7 USA

In den USA haben die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der probabilistischen Bewertung der Personalhandlungen eine lange Tradition. Schon Anfang der 70er Jahre entstand die HRA-Methodik für die Analyse der Personalhandlungen in den Kernkraftwerken basierend auf den Untersuchungen aus dem militärischen Bereich. Die meisten Analysemethoden berücksichtigen auch die Bewertung der Ergonomie der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Die verstärkte Modernisierung der Kernkraftwerke machte auch eine Überprüfung und Optimierung der HRA-Analysemethoden für den Einsatz der software-basierten Leittechnik erforderlich.

Die schnelle Entwicklung der Digitaltechnik führt nach Meinung der U.S.-Aufsichtsbehörde (NRC) dazu, dass im regulatorischen Prozess möglicherweise neue methodische Vorgehensweisen bei der Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle benötigt werden /OHA 04/. Die Aufsichtsbehörde NRC hat dementsprechend die Anforderungen bzw. Empfehlungen in den aktuellen Ausgaben der Leitfaden zur HR-Analyse /NRC 02/, /NRC 04/ auf die Auslegungsaspekte der rechnergestützten Werte und auf die Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle fokussiert.

Im Leitfaden der NRC NUREG-0711 /NRC 04/ werden Kriterien zum Designprozess und Verknüpfungen zu den detaillierten Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstelle, wie sie im Leitfaden NUREG-0700 /NRC 02/ beschrieben sind, festgelegt (siehe dazu **Abb. 2-10**).

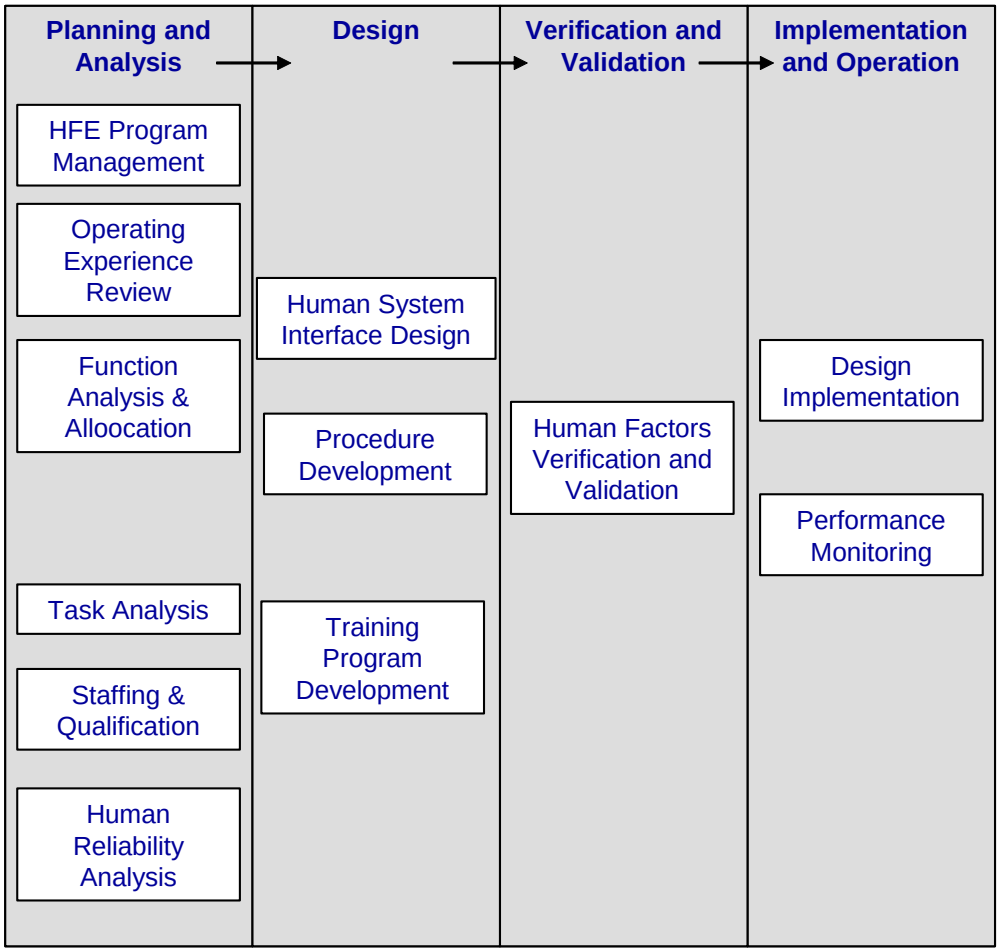


Abb. 2-10 Anforderungen an Designprozess der Mensch-Maschine-Schnittstelle in NUREG-0700 /NRC 02/

In NUREG-0700 werden folgende relevante Aspekte der Mensch-Maschine-Schnittstelle behandelt:

Part I Basic HSI Elements
1. Information Display
2. User-Interface Interaction and Management
3. Controls

Part II HSI Systems
4. Alarm System
5. Safety Function and Parameter Monitoring System
6. Group-View Display System
7. Soft Control System
8. Computer-Based Procedure System
9. Computerized Operator Support System
10. Communication System

Part III Workstations and Workplaces
11. Workstation Design
12. Workplace Design

Part IV HSI Support - Maintaining Digital Systems

Weitere Anforderungen an die Gestaltung und Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle werden im Rahmen der IEEE-Standards entwickelt. Seit 1980 unterstützt das IEEE-Institut die Entwicklung der Standards zum Thema "menschliche Zuverlässigkeit" /VOS 06/. Innerhalb IEEE ist der Unterausschuss SC-5 der NPEC-Kommission für HF, Warte und Zuverlässigkeit der Kerntechnik und die Entwicklung von technischen Standards (vgl. **Abb. 2-11**) zuständig.

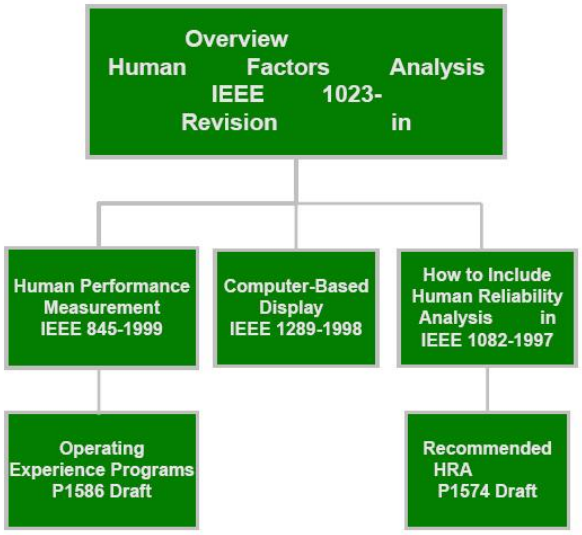


Abb. 2-11 IEEE-Standards mit Relevanz für Mensch-Maschine-Schnittstelle

Der Standard IEEE Std 1082-1997 beschäftigt sich mit der Analysen der menschlichen Zuverlässigkeit und deren Implementierung in die PSA. Der Standard IEEE Std 1289-1998 (geprüft 2004) "Guide for the Application of Human Factors Engineering in the Design of Computer-Based Monitoring and Control Displays for Nuclear Power Generating Stations" unterstützt den Designprozess und stellt einen Leitfaden zur HF-Analyse dar. Dieser Leitfaden ist für Manager und Ingenieure vorgesehen, die für Modernisierung und Auslegung der Leittechnik zuständig sind und sollte in Verbindung mit dem HRA-Standard, IEEE Std 1023 verwendet werden. Die Ergebnisse einer HR-Analyse, die gemäß IEEE 1574 ausgeführt wird, sind Schätzungen der Personalfehlhandlungen und die resultierenden Konsequenzen dieser Fehlhandlungen.

Sandia National Laboratories (SNL) hat im Auftrag der NRC die zweite Generation von HRA-Methoden (ATHEANA) entwickelt, wobei zwei Aspekte im Vordergrund standen:

- Realistisches Modell der Wechselwirkung zwischen den Personalhandlungen und dem System, einschließlich Identifikation und Modellierung der Ausführungsfehler und der Abhängigkeiten,
- Einsatz bei der Modellierung von fortschrittlichen Techniken und Erfahrungen aus den Bereichen: Psychologie, Betriebserfahrung, PSA usw. sowie für die Analyse von Personalhandlungen (HRA)

ATHEANA ist gleichzeitig eine Methode und ein Werkzeug zur Ereignisanalyse und kann sowohl qualitative als auch unter Verwendung zusätzlicher Methoden quantitative Ergebnisse liefern.

Die Industrie /FUL 06/ hat im Rahmen der Auslegung der neuesten Generation von Reaktoranlagen (AP1000) experimentelle Untersuchungen zum Thema "Mensch-Maschine-Schnittstelle" durchgeführt. Die Untersuchungen wurden in zwei Phasen durchgeführt, wobei zuerst nicht sicherheitsrelevante dezentrale Steuerungseinrichtungen DCS (distributed control system) einschließlich der Soft control-Steuerungsfunktion für sicherheitsrelevante Komponenten sowie generell die Integration der DCS-Schnittstellen in die zentrale Mensch-Maschine-Schnittstelle (rechnergestützter Betriebsführung, Signalisierung, Wartendisplays) getestet wurde. Die AP1000-Warte unterscheidet sich hinsichtlich der Mensch-Maschine-Schnittstelle von der Warte der Vorgängergeneration (AP600) durch folgende Merkmale:

- Soft control-Funktion,
- WPIS (wall panel integrated screen),
- Rechnergestützte Prozeduren,
- Rechnergestützte Anzeigen,
- Rechnergestütztes Meldesystem.

Die Untersuchungen wurden mit zwei Schichtmannschaften durchgeführt, wobei alle Personalhandlungen aufgezeichnet und ausgewertet wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden im Vortrag /FUL 06/ während der NPIC & HMIT-Veranstaltung im Jahr 2006 präsentiert und diskutiert.

Bei Untersuchungen zum Vergleich verschiedener HRS-Methoden /BYE 00/, /WIL 92/ wurde hinsichtlich der Einführung der software-basierten Leittechnik u. a. festgestellt,

dass bezüglich des Leistungsbeeinflussungsfaktors (PSF) in verschiedenen Methoden unterschiedliche Bezeichnungen für dieselben Aspekte angewendet wurden: "schlechte Ergonomie" vs. "unzuverlässige Instrumentierung". In den o. g. Berichten wird darauf hingewiesen, dass hinsichtlich der software-basierten Benutzungsoberflächen die Fehlerart "unzuverlässige Instrumentierung" einen Teilaspekt der Fehlerart "schlechte Ergonomie" (u. a. schlechtes Design des Displays, schlechte Kennzeichnung, schlechte Bedienung der Arbeitsstation) darstellen kann. Es wird auch auf die Notwendigkeit der HRA-Methodenanpassung in Bezug auf die Einführung der software-basierten Leittechnik bei Modernisierung hingewiesen. Wichtige Aspekte sind dabei: veränderte Informationsdarstellung, Veränderungen am Arbeitsplatz und bei der Arbeitsmittelgestaltung.

Ferner wurde berichtet, dass EPRI einen Leitfaden für die Bewertung der Modernisierung mit digitaler Leittechnik /EPR 04/ entwickelt.

Die Arbeiten zur Berücksichtigung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA werden sowohl für die Modernisierung der alten als auch für die Errichtung der neuen Anlagen in den USA durch verschiedene Institutionen durchgeführt. Es ist zu erwarten, dass in der nächsten Zukunft neue Ergebnisse zur Methodenentwicklung auf diesem Gebiet in den USA präsentiert werden. Zur Weiterverfolgung des Standes von Wissenschaft und Technik auf diesem Gebiet ist die Teilnahme an den entsprechenden internationalen Veranstaltungen und Fortsetzung der Literaturrecherchen erforderlich.

3 Bewertung der Methoden hinsichtlich Relevanz für PSA

3.1 Übersicht über die Methoden und die Werkzeuge

Die Literaturrecherchen haben eine relativ kleine Anzahl von etablierten Bewertungsmethoden der Mensch-Maschine-Schnittstelle mit Relevanz für die PSA ermittelt. Diese Methoden bzw. die Werkzeuge zur Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

	Methode/ Quelle	Kurzbeschreibung der Methodik	MMS/Relevanz für PSA
1	ATHEANA /NRC 96/ /NRC 98/ /SNL 99/	A Technique for Human Event Analysis	Analyse für die MMS, Personalhandlungen generell
		Aim is to analyze operational experience and understand the contextual causes of errors, and then to identify significant errors not typically included in PSAs for nuclear power plants, e.g. errors of commission. Key human failure events and associated procedures etc. are identified from the PSA, and unsafe acts are then identified that could affect or cause these events. Associated error-forcing conditions are then identified that could explain why such unsafe acts could occur. The important point is that these forcing conditions are based on the system being assessed, i.e. the real context that is the focus of the assessment. ATHEANA ist eine neue sogenannte 2. Generation-Methodik und gleichzeitig Werkzeug zur Durchführung der HRA. ATHEANA integriert neue Erkenntnisse der Arbeitspsychologie, der HF-Analyse und der PSA. ATHEANA wurde speziell für Kernkraftwerke entwickelt und berücksichtigt Wechselwirkungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Im Unterschied zu vielen anderen Methoden berücksichtigt ATHEANA auch den Ereignisablauf verschlimmernde Maßnahmen in Folge von Personalhandlungen. Die Vorgehensweise bei der Bewertung von Personalfehlhandlungen (human-centred failure	Detaillierte Modellierung möglich: beinhaltet detaillierte Angaben zur Bewertung der Schnittstelle; relevant für die Modellierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA (weitere Informationen siehe Abschnitt 3.2).

	Methode/ Quelle	Kurzbeschreibung der Methodik	MMS/Relevanz für PSA
		modes) ist ähnlich der FMEA Methode der Hard- und Software. NRC unterstützt die Weiterentwicklung der ATHEANA und nutzt ATHEANA für die NRC-Arbeit: – aktuelle Version wird auf der Basis der Peer Reviews demnächst revidiert, – ATHEANA wird derzeit. bei der Brand-PSA eingesetzt, – Daten zu Personalfehlhandlungen sollen erweitert werden.	
2	CREAM /HOL 98/	Cognitive Reliability and Error Analysis Method	Warte HF-Analysen generell
		Cognitive modelling approach. Attempts to bring cognitive psychology/science into the HEI arena, i.e. CREAM is aimed at being a more theoretically valid approach. It is a compound of SHERPA, SRK, and COCOM. The approach can be applied retrospectively or prospectively, although further development is required for the latter. The 'meat' of CREAM is the Action-Error-Analysis Matrix. This shows relationships between 'causes' and 'effects', in both cases being a non-mutually-exclusive mixture of error mechanisms and performance shaping factors and some external error modes, occurring on both axes. CREAM-Methode unterscheidet zwischen Phenotypen (Fehlerart und Fehlerauswirkung) und Genotypen (Ursachen) bei der Fehleranalyse. Phenotypen beinhalten einfache Fehlerarten, wie Zeitfaktor, Entfernungen, Reihenfolge usw. Genotypen beinhalten Charakteristiken zur Person, Technologie, Organisation und werden verknüpft mit kognitiven Funktionen. CREAM berücksichtigt Personalhandlungen in einem iterativen Modell, wobei die Vorhersage des Fehlers mit dem entsprechenden Kontext verknüpft ist. Die CREAM-Methode gehört zur 2. Generation von HRA-Methoden.	Sehr generelle Vorgehensweise hinsichtlich der MMS. Die Ergebnisse der CREAM-Analyse können prinzipiell bei der Entwicklung des HF-Modells für die PSA eingesetzt werden.

3	FITNESS /PIR 06/	Functional Integrated Treatments for a Innovative Ecological Support System	Warte Simulationswerkzeuge
		Simulationswerkzeug für die Untersuchungen der rechnergestützten Schnittstellen in der Warte. EDF plant die Ergebnisse der Simulatorsergebnisse für die Quantifizierung und Verifizierung der HR-Analysen zu nutzen.	In Frankreich für die Bewertung der modernen rechnerbasierten MMS in der Warte vorgesehen.
4	ECAT /PLO 06/	Engineering Control Analysis Tool	Bewertungsmethode für technische Systeme, MMS generell
		ECAT erlaubt Modellierung von Systemfehlern und der Recovery-Maßnahmen. Bei der ECAT-Modellierung kann HF-Potenzial auf der Basis der Bewertung des Designs der Schnittstelle und der durchzuführenden Aufgaben berechnet und verfolgt werden. Obwohl ECAT für die U.S. Marine entwickelt wurde, enthält es Anleitung von NUREG/CR-1278 /SWA 83/.	Detailuntersuchungen der MMS möglich. Anwendbarkeit für Modellierung der MMS in der PSA ist noch zu klären.
5	HCR/TRC /HAN 84/	Human Cognitive Reliability Model	HF-Analyse generell
		Method for determining probabilities for human errors after trouble has occurred in the time window considered. Probability of erroneous action is considered to be a function of a normalised time period, which represents the ration between the total available time and the time required to perform the correct action. Different time-reliability curves are drawn for skill-based, rule-based and knowledge-based performance. Das HCR-Modell ist für die Bewertung der menschlichen kognitiven Zuverlässigkeit vorgesehen und besteht aus drei TRCs (TRC- Methode zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit in Abhängigkeit von verfügbarer Zeit). Alle drei TRC-Methoden werden für – kognitive Handlungen – wissensbasierte Handlungen – regelbasierte Handlungen, – fertigkeitsbasierte Handlungen angewendet. Basis für TRC-Bewertung bilden	Nicht speziell für rechnergestützte MMS. Diese anerkannte Methode wird bereits zur Quantifizierung menschlicher Zuverlässigkeit in der PSA eingesetzt.

		Simulatorbeobachtungen, die in Form von Weibull-Funktionen abgebildet werden. HCR-Methoden verwendet für die Bewertung der Personalfehlhandlungen: – Schätzung verfügbarer Zeit, – Schätzung notwendiger Zeit für die Tätigkeit, – Bewertung von drei PSF-Faktoren (Erfahrung, Stress, Qualität der MM Schnittstelle) – Bewertung der Art des kognitiven Verhaltens.	
6	SLIM/MAUD /EMB 84/	Success Likelihood Index Method/Multi-Attribute Utility Decomposition	HF-Analyse generell
		Estimates human error probabilities. Two modules: MAUD (Multi-Attribute Utility Decomposition, used to analyse a set of tasks for which human error probabilities are required) and SARAH (Systematic Approach to the Reliability Assessment of Humans, used to transform success likelihoods into human error probabilities (HEP)). SLIM/MAUD gehört zur 1. Generation der HRA-Werkzeuge. SLIM/MAUD verwendet Expertenschätzung, um Aufgaben in Gruppen zu kombinieren, die in Bezug auf PSFs recht homogen sind und zwischen korrekter und fehlerhafter Ausführung der Aufgabe unterscheiden. Die Experten identifizieren relevante PSFs und weisen ihnen relative Wertgewichte zu (für eine gruppierende Aufgabe). Der Erfolgswahrscheinlichkeit-Index basiert auf Bewertungen der PSFs für eine Situation, gewichtet durch ihre relativen Auswirkungen auf Erfolg. Der Erfolgswahrscheinlichkeit-Index wird für Kalibrierung von Aufgaben (z. B. mit entsprechenden HEPs) angewendet, um HEP- Schätzungen für die Gruppierung zu errechnen.	Erlaubt nur grobe Schätzung der Personalhandlungen. Nicht speziell für MMS. Diese Methode wird in den USA zur Quantifizierung menschlicher Zuverlässigkeit in der PSA eingesetzt (siehe NUREG/CR-3518 /EMB 84/).
7	SPAR/SPAR-H /BY 00/PLO 06/	Simplified / Standardized Plant Analysis Risk Human Reliability Analysis (Methodology)	HF-Analyse generell
		Quick easy to use screening level (i.e. not full scope) HRA technique. Significant revision of ASP (Accident Sequence Precursor). Supports ASP analysis of operating events at Nuclear Power Plants. Incorporates the advantages of other human reliability assessment methods (e.g.	Nicht speziell für die Bewertung der MMS entwickelt. SPAR-H wird zur Quantifizierung menschlicher Zuverlässigkeit in der PSA

		IPE, HPED, INTENT). SPAR-H wurde im Idaho National Engineering Laboratory entwickelt und für die Bewertung der HF-Wahrscheinlichkeiten auf der Basis der PSF-Methode (8 PSF leistungsbeeinflussende Faktoren: verfügbare Zeit, Stress, Erfahrung und Training, Komplexität der Aufgabe, Ergonomie, Qualität der Anweisung, Arbeitsprozess, Fertigkeiten) benutzt. Die Wertung der PSF-Faktoren erfolgt auf der Basis von Bewertungstabellen.	eingesetzt (weitere Informationen NUREG/CR-6883).
8	THERP /SWA 83/	Technique for Human Error Rate Prediction	HF-Analyse generell
		Aim is to predict human error probabilities and evaluate degradation of a man-machine system likely to be caused by human error, equipment functioning, operational procedures and practices, etc. This technique provides a quantitative measure of human operator error in a process. Die Technik für Vorhersage der Häufigkeit von Personalfehlhandlungen (THERP) wird oft in der Kernindustrie für HRA angewendet. Nach der THERP-Methode werden HRA Ereignisbäume so entwickelt, dass es eine logische Verknüpfung zwischen Fehlerfolge und Recovery–Maßnahme hergestellt wird. THERP enthält auch ein Abhängigkeitsmodell für Bewertung der Abhängigkeiten und Anpassung von HEPs. THERP enthält HEP Tabellen für spezifische Fehlerarten. Der Einfluss von PSFs wird in den HEP Tabellen dargestellt.	Kann generell zur Bewertung der MMS verwendet werden. THERP wird als anerkannte Methode in der PSA eingesetzt. (siehe Absatz 3.2)
9	ASEP /SWA 87/	Accident Sequence Evaluation Program	HF-Analyse generell
		Abbreviated and slightly modified version of THERP. ASEP comprises pre-accident screening with nominal human reliability analysis, and post-accident screening and nominal human reliability analysis facilities. ASEP provides a shorter route to human reliability analysis than THERP by requiring less training to use the tool, less expertise for screening estimates, and less time to complete the analysis. Vereinfachte Vorgehensweise nach THERP: Screening-Methode	ASEP wird als anerkannte Methode in der PSA eingesetzt.

10	MAPPS /KOP 85/	Maintenance Personnel Performance Simulation	HF-Analyse generell
		Computer-based, stochastic, task-oriented model of human performance. It is a tool for analysing maintenance activities in nuclear power plants, including the influence from environmental, motivational, task and organisational variables. Its function is to simulate a number of human 'components' to the system, e.g. the maintenance mechanic, the instrument and control technician together with any interactions (communications, instructions) between these people and the control room operator. MAPPS-Simulation-Computermodell wird genutzt, um HF zu modellieren und in der HRA quantitativ zu bestimmen. Die MAPPS-Methode wird verwendet für die Simulation der Instandhaltungstätigkeiten. Die Simulation beinhaltet folgende Faktoren: Umgebung, Motivation, Aufgabe, organisatorische Vorgaben und Ergebnisse. Diese Faktoren sind dafür da, um Fehlerhäufigkeit und Informationen über den Einfluss von Eingangsvariablen, auf den Simulationsablauf vorherzusagen.	Simulationswerkzeug Die Ergebnisse der MAPPS-Analyse sollten nach Ansicht der Autoren in der PSA angewendet werden.
11	NUREG 0700 /NRC 02/	Human-System Interface Design Review Guidelines	MMS generell
		NUREG-0700 beinhaltet eine moderne (state-of-the-art) detaillierte Anleitung für rechnergestützte Mensch-Maschine-Schnittstelle (u. a. für soft controls, CBP). Dort sind Details, wie Ausgabeformate für Textinformation, grafische Darstellung der Information, Farben, Navigation, Symbole, Beleuchtung, Benutzungsoberflächen, Steuerungselemente usw. geregelt.	Regulatorisches Bewertungskriterium (deterministisch)
12	NUREG 0711 /NRC 04/	Human Factors Engineering Program Review Model	MMS generell
		NUREG-0711 wurde ursprünglich zur Unterstützung der Begutachtung bei der Auslegung neuer Reaktoren entwickelt und beinhaltet Kriterien zum Auslegungsprozess der MMS. NUREG-0711 trifft spezifische Vorkehrungen für die festgestellten Abweichungen zwischen Anforderungen aus NUREG-0700 /NRC 02/ und dem zu begutachtenden Design der MMS. Die technische Grundlage für Akzeptanz der Abweichungen soll auf der Grundlage weiterer Analysen (u. a. Literaturrecher-	Regulatorisches Bewertungskriterium (deterministisch)

		chen, praktische Erfahrungen, Studien) erarbeitet werden.	
13	CASE /PAR 04/ /WEL 01/	Computer Assisted Software Engineering Tools	Analysewerkzeuge rechnergestützte Warte
		CASE is a training system that models the complete airspace system from gate-to-gate. The CASE simulator is capable of recording every single event that occurs within the scenario that has been defined. *In addition to modelling the performance/profiles of any number of aircraft and ground vehicles, CASE is also able to evaluate and analyse events such as congestion, sector loading, the number of times a separation threshold has been violated the number of aircraft controlled by each control station, etc. The core elements are: 1) a Central Processing Suite, 2) up to thirty-five Pilot, Controller. (and Supervisor) Operator Workstations, 3) an Exercise Preparation System, and 4) Voice and data communications networks.* CASE Werkzeuge wurden ursprünglich entwickelt, um Softwareentwicklung zu unterstützen. Dennoch besitzen sie leistungsfähige Analysewerkzeuge. CASE-Werkzeuge sind in drei Kategorien unterteilt: – Editor der Taskanalyse – Textanalyse Werkzeuge – Ereignisrecorder. Taskeditor unterstützt rechnergestützte Analyse eines Modells (u. a. rechnerbasierte Handlungsanweisungen). Textanalyse-Werkzeugen helfen Experten Handlungen direkt aus dem Text der Anweisungen, Beschreibungen, Szenarien automatisch (Parser) oder manuell zu generieren. Bei Analyse der rechnergestützten Schnittstelle (MMS-Modell) kann der Ereignisrecorder potenzielle Personalhandlungen simulieren und aufzeichnen.	Simulationswerkzeuge zur Fehlerart- und Fehlereffektanalysen. Anwendung der CASE-Ergebnisse für die PSA sollen noch geklärt werden.
14	MIDAS /SHE 98/	Man-Machine Integration Design and Analysis System	HF-Analyse generell
		MIDAS is an integrated suite of software components to aid analysts in applying human factors principles and human performance models to the design of	Analysewerkzeug kann speziell für die Analysen der Wechselwirkung zwischen Perso-

		complex human systems; in particular, the conceptual phase of rotorcraft crew station development and identification of crew training requirements. MIDAS focuses on visualisation, contains different models of workload and situation awareness within its structure and contains an augmented programming language called the Operator Procedure Language (OPL) incorporated into its programming code. MIDAS ist ein bei NASA Ames Research Center entwickeltes Analysewerkzeug. Mit MIDAS können Personalhandlungen in 2- und 3-D-Umgebung simuliert und statisch und dynamisch analysiert werden. Im INL (Idaho National Laboratory) wurde MIDAS für die Quantifizierung der HF-Analyse (SPAR-H) eingesetzt. Dabei wurden PSF-Faktoren in MIDAS modelliert und die HEP-Wahrscheinlichkeit ermittelt, dabei kann der Einfluss von Hardware-Fehlern der MMS auf PSF untersucht werden.	nal und der rechnergestützten Schnittstelle benutzt werden. MIDAS wird bereits versuchsweise für die Quantifizierung menschlicher Zuverlässigkeit in der PSA in den USA eingesetzt.

3.2 Vergleichende Darstellung der THERP- und ATHEANA-Methoden

Im Folgenden werden zwei der meist verbreiteten Methoden zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit und zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA gegenübergestellt.

3.2.1 Beschreibung der Methode THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)

Die THERP-Methode /SWA 83/ wurde 1961 von den Sandia National Laboratories für Analysen der menschlichen Zuverlässigkeit in der militärischen Verteidigung entwickelt. WASH-1400 benutzte das Verfahren 1975, um eine Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit im Rahmen einer PSA-Studie in zwei amerikanischen Kernkraftwerken durchzuführen. Aus den Erfahrungen dieser Anwendung resultierte das THERP Handbook.

Schwerpunkt der Methode sind Fehler bei Handlungen, die fertigkeitsbasiert (hoch geübte Handlungen) oder regelbasiert (Handeln nach Regeln, z. B. Prozeduren) sind. Fehler bei wissensbasierten Handlungen (Handlungen abgeleitet aus dem Wissen der

Person/ der Personen in einer neuartigen Situation) sind nur in einem einfachem Modell zur Systemdiagnose repräsentiert, welches einen Zusammenhang zwischen Fehlerwahrscheinlichkeit und der für die Diagnose zur Verfügung stehenden Zeit vorgibt.

Eine Analyse nach THERP gliedert sich wie folgt:

- qualitative Analyse:
  - Modellierung des Handlungsablaufes,
  - Durchführung einer qualitativen Tätigkeitsanalyse bei, der die Handlungen und die auftretenden Fehlhandlungen analysiert und qualitativ bewertet werden,
  - Identifizierung der Rahmenbedingungen für die Handlung, der sogenannten Performance Shaping Factors,
  - Ableitung von Empfehlungen für Gegenmaßnahmen,
- quantitative Analyse (basierend auf den Ergebnissen der qualitativen Analyse)
  - Aufbau eines Event Trees (Ereignisbaumes)
  - Auffinden von möglichen Fehlhandlungen durch vorgegebenes Schema,
  - Bestimmung der nominalen Wahrscheinlichkeiten für die Fehlhandlungen aus der THERP-Tabellensammlung,
  - Bewertung der Rahmenbedingungen für die Handlung, der sogenannten Performance Shaping Factors (Das Verfahren nennt explizit drei Faktoren: Grad der Kennzeichnung, Erfahrung des Operateurs und Höhe des Stresses, weitere sind implizit in den Tabellen zur Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit in der Beschreibung der zu bewertenden Tätigkeit enthalten, nicht berücksichtige Faktoren können implizit über den Faktor Stress berücksichtigt werden),
  - Beurteilung des Grades der Abhängigkeit der Handlungen untereinander auf einer fünfstufigen Skala,
  - Ermittlung der möglichen "Recoveries", d. h. der Möglichkeit, dass eine Fehlhandlung durch den Operateur selbst, durch eine Person oder ein System entdeckt und behoben wird,

- Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Fehlers über ein mathematisches Verfahren, welches die möglichen Fehlhandlungen, die PFSs, die Abhängigkeiten und die Recoveries mit einbezieht.

Die Ergebnisse der THERP-Analysen sollen in der PSA berücksichtigt werden.

3.2.2 Kommentierung der THERP-Methode hinsichtlich des Einsatzes zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstellen

Die THERP-Methode könnte zur Bewertung der rechnergestützten MMS hinsichtlich Handlungen auf fertigkeitsbasierter und regelbasierter Ebene eingesetzt werden.

Hierzu muss überprüft werden in wieweit sich die in THERP beschriebenen Fehlhandlungen, leistungsbeeinflussenden Faktoren, Möglichkeiten zur Fehlerbehebung und Abhängigkeiten auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle, die auf der Basis der softwarebasierten Leittechnik realisiert ist, übertragen lassen und welche Anpassungen oder Erweiterungen ggf. notwendig sind.

Aufgrund ihrer hohen Strukturiertheit und der Möglichkeit der Einbindung in eine PSA findet diese Methode sehr hohe Akzeptanz. Es erscheint deshalb sinnvoll auf diese Methode für die Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle aufzusetzen und sie ggf. zu erweitern.

3.2.3 Beschreibung der Methode ATHEANA (A Technique for Human Event Analysis)

Die ATHEANA-Methode /NRC 00/, /NRC 07/ ist das Produkt einer mehrstufigen Forschungsarbeit finanziert durch die US Regulatory Commission. Das Projekt wurde 1992 ins Leben gerufen, um zu versuchen, die Unzulänglichkeiten der bisherigen Methoden vor allem. im Bereich der "Errors of Commission", bei denen eine starke kognitive Beanspruchung des Kraftwerkspersonals zu erwarten ist, mit einer neuen Methodik zu beseitigen. Betriebserfahrungen zu Ereignisabläufen, die nicht mit den "klassischen" Methoden zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit erklärbar waren, machten diesen Schritt notwendig. ATHEANA wird als eine Methode vorgestellt, die auf eine bereits bestehende Probabilistic Risk Analysis, PRA (incl. HRA) oder zumindest auf einem fundierten Risiko-Screening aufsetzt, um bestimmte Fehlhandlun-

gen eingehender zu untersuchen. Sind weder PRA noch Screening vorhanden, so muss, soweit wie für die Durchführung der Methode notwendig, ein PRA-Modell oder ein anderes risikobezogenes Modell erstellt werden.

ATHEANA benutzt das Konzept der "Error Forcing Contexts" (EFCs), situationsbezogene Randbedingungen (zusammengesetzt aus Performance Shaping Factors (PSFs) und den spezifischen Anlagenzuständen) bei denen die Möglichkeit einer Fehlhandlung des Menschen erhöht ist. Schwerpunkt sind hierbei Fehlhandlungen, die sich aus den besonderen Gegebenheiten der jeweiligen Situation ergeben können, in den Erfahrungen aus Training und Inhalte von Prozeduren nicht anwendbar sind.

Situationen, in denen solche Eingriffe beobachtet wurden, wiesen folgende Merkmale auf:

- Anlage oder Systemverhalten befindet sich außerhalb des in der Auslegung erwarteten Bereiches (z. B. multipler oder kaskadierender Systemausfall oder -nichtverfügbarkeit).
- Das Verhalten der der Anlage wird nicht verstanden (z. B. weil das Verhalten der Anlage sich außerhalb der Erwartungen der Operateure bewegt, die auf deren Erfahrung und Training basieren).
- Anzeigen von Anlagenzustand, Systemzustand oder Systemverhalten werden nicht bemerkt oder sind irreführend aufgrund von Instrumentenfehlern oder anderen Anomalien.
- Verfügbare Pläne und Prozeduren sind weder anwendbar noch hilfreich, da der aktuelle Anlagenzustand oder die Entwicklung des Ereignisses außerhalb dessen liegt, was bei der Entwicklung dieser Anleitungen vorgesehen wurde.

Es hat sich gezeigt, dass in solchen Situationen selbst hoch trainierte Mannschaften die Situation falsch einschätzen und wirkungslose oder sogar schädliche manuelle Eingriffe durchführen. Die Methode geht dabei immer davon aus, dass bei diesen Handlungen rationales Denken hinterlegt ist. Das bedeutet, dass die Fehlhandlungen oder Umgehungsmaßnahmen Schlussfolgerungen eines kognitiven Prozesses des Operateurs aus den externen Informationen und seinem eigenen Wissen sind.

In der Grundstruktur weist ATHEANA Ähnlichkeiten mit der Vorgehensweise bei anderen Methoden auf. So werden die Schritte:

- Identifizierung der zu betrachtenden menschlichen Handlungen,
- Definition der möglichen Fehlhandlungen,
- Identifikation von Schwachstellen im Betrieb der Anlage, die zu unerwünschten Handlungen führen können (z. B. Schwachstellen in Prozeduren, Beschränkungen im Wissens- und Erfahrungsumfang der Operateure und mögliche Verzerrungen in diesem Wissens),
- Identifikation von leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSFs),
- Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit für die definierten Fehlhandlungen durch Expertenschätzung nach dem "ATHEANA User´s Guide" /NRC 07/ bzw. Rückgriff auf andere Methoden zur Quantifizierung von menschlichen Fehlerwahrscheinlichkeiten (HEPs)

durchgeführt.

Zusätzlich zu diesen Punkten werden in ATHEANA weitere Analysen durchgeführt:

- Identifikation von plausiblen Abweichungen vom nominalen Anlagenzustand oder von Entwicklungen des Anlagenzustandes, die zu Problemen oder Missverständnissen führen könnten und deren Auftrittswahrscheinlichkeit,
- Identifikation von leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSFs) für den abweichenden Anlagenzustand,
- Identifikation weiterer Faktoren, die signifikanten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit der menschlichen Fehlhandlungen und deren Streubreite haben könnten (d. h. die Untersuchung eines sehr weiten Bereiches an potentiellen Einflüssen)

Die in /NRC 00/ beschriebene Methode liefert keinen direkten Beitrag zur Quantifizierung der auftretenden Fehler, sondern stellt ein Verfahren dar, mit welchem potentielle menschliche Fehlleistungen, die damit verbundenen Fehlhandlungen und EFCs identifiziert werden können. Im "ATHEANA User's Guide" /NRC 07/ wird allerdings eine Methode zur geführten Expertenschätzung der Wahrscheinlichkeit von menschlichen Fehlhandlungen vorgestellt.

Abschließend gibt ATHEANA Hilfestellung, wie die Ergebnisse der Szenarien in eine PSA eingearbeitet werden können.

3.2.4 Kommentierung der ATHEANA - Methode hinsichtlich des Einsatzes zur Bewertung rechnergestützter Mensch-Maschine-Schnittstellen

Die Methode könnte ggf. einen Beitrag bei der Identifikation von menschlichen Fehlhandlungen mit Schwerpunkt im Bereich der wissensbasierten Fehlhandlungen leisten, die im Zusammenspiel mit der software-basierten Leittechnik auftreten könnten. Allerdings ist die Identifikation der EFCs sehr ressourcenintensiv. Da die Methodik weitestgehend auf Expertenwissen basiert, ist außerdem anzuzweifeln, dass alle möglichen Fehlhandlungen identifiziert werden bzw. zwei Teams die gleichen Fehlhandlungen ableiten.

Auch wird als Schwachstelle gesehen, dass die Methode keinen direkten Beitrag zur Quantifizierung der Fehlhandlungen in Form von Wahrscheinlichkeiten für die Integration in eine PSA liefert. Im Basisdokument der Methode wird zwar auf veröffentlichte Verfahren zur Bewertung verwiesen, allerdings ist besonders im Bereich der Bewertung von kognitiven Fehlern die Datenbasis sehr klein und die Wahrscheinlichkeiten werden oft durch Übertragung von Fehlermustern aus anderen Bereichen generiert. Im "ATHEANA Users´s Guide" /NRC 07/ wird als Methode zur Ermittlung von HEPs eine geführte Expertenschätzung verwendet. Dies gilt als gängige Methode in Bereichen, für die keine ausreichenden Daten vorliegen. Allerdings muss bei solchen Betrachtungen von einer großen Streuung der gemachten Schätzungen ausgegangen werden.

4 Entwurf eines Konzepts zur Bewertung rechnergestützter Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA

Durch die Einführung von software-basierter Leittechnik können sich sowohl Vorteile wie auch Nachteile für die mit dieser Technik arbeitenden Menschen ergeben. Es ist nicht auszuschließen, dass sich durch den Einsatz software-basierter Leittechnik Fehlhandlungen ergeben, die bei der analogen Leittechnik in dieser Ausprägung nicht beobachtet wurden. Um mögliche negative Effekte des Einsatzes software-basierter Leittechnik frühzeitig zu erkennen und zu beheben, müssen spezifische Untersuchungen durchgeführt werden. Darüber hinaus ist zu untersuchen, ob die bisherigen Ansätze zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit auch beim Einsatz software-basierter Leittechnik anwendbar sind.

4.1 Kerntechnische Regelungen zur Einführung neuartiger Teile im Arbeitssystem

Die KTA 3904 /KTA 07/ legt u. a. ergonomische Anforderungen an Leitstände in Kernkraftwerken fest. Dabei wird zwischen "bewährten" und "neuartigen" Teilen des Arbeitssystems unterschieden:

- Als bewährt werden die Teile des Arbeitssystems bezeichnet, bei denen gegenüber Vorläufersystemen keine wesentlichen Änderungen vorgenommen werden.
- Als neuartig werden die Teile des Arbeitssystems bezeichnet, bei denen gegenüber Vorläufersystemen in Kernkraftwerken wesentliche Änderungen vorgenommen werden.

Nach dieser Definition ist die Einführung von software-basierter Leittechnik und deren Schnittstelle zum Menschen als "neuartig" zu einzustufen.

In der KTA 3904 sind weiterhin die Schritte ausgeführt, die bei der Einführung neuer Teile des Arbeitsystems durchgeführt werden müssen und somit auch auf die Einführung software-basierter Leittechnik anzuwenden sind.

Die dort beschriebenen Vorgehensweisen können als Ausgangsbasis für die qualitativen Analysen von Personenhandlungen in der PSA verwendet werden. Insbesondere zu nennen wäre hierbei:

- Analyse repräsentativer Aufgaben des Leitstandpersonals für die Betriebszustände Leistungsbetrieb, An- und Abfahren, Brennelementewechselphase, Fehlfunktionen von Anlagenteilen, Instandhaltung und Störfälle,
- Zerlegung der Aufgaben in Teilaufgaben und Bewertung hinsichtlich Zeit, Genauigkeit der Informationsdarstellung, Vernetzung mit anderen Aufgaben, Möglichkeit der Zurücknahme von eingeleiteten Handlungen, Unterbrechbarkeit der Abläufe und geforderte Zuverlässigkeit und sicherheitstechnische Anforderungen,
- Durchführung einer Aufgabenanalyse unter Berücksichtigung folgender Aspekte:
  - erforderliche und bereitstellbare Informationen für den Operateur,
  - erforderliche Informationsverarbeitungsprozesse,
  - zu treffende Entscheidungen und Handlungen,
  - zeitliche Eigenschaften der Aufgaben, z. B. geforderte Reaktionszeiten, Zeitdauer der Aufgaben, zeitliche Parallelität zu anderen Aufgaben, Häufigkeit und Toleranz gegen Fehlreaktionen,
  - räumliche Eigenschaften der Aufgaben, z. B. Zuordnung zugehöriger Informationen und Eingriffsmöglichkeiten, Arbeitsraum und
  - Modalität der Durchführung von Aufgaben, z. B. Zuständigkeiten, Kommunikationsvorgänge, Teamarbeit, erforderliche Unterlagen und Arbeitshilfen, Anzahl der erforderlichen Personen.

Auch sind in der KTA 3904 Hinweise für die Bewertung neuartiger Teile des Arbeitssystems zu finden:

- Übertragung von ergonomischen Grundkenntnissen und Übertragung von Einsatzerfahrung in vergleichbaren Bereichen, soweit sie zur Bewertung anwendbar und ausreichend sind,
- Experimente zur Klärung ungelöster ergonomischer Fragen,
- Modelle zur Bewertung der räumlichen Gestaltung der neuartigen Teile des Arbeitssystems und deren Einbindung in das gesamte Arbeitssystem und

- Simulation zur Bewertung der dynamischen Aspekte des neuartigen Arbeitssystems und dessen dynamische Vernetzung mit dem gesamten Arbeitssystem.

Die nach KTA 3904 durchzuführenden Schritte bei der Einführung neuartiger Teile des Systems liefern somit eine wichtig Grundlage für die spätere Bewertung im Rahmen einer PSA.

4.2 Bewertung von Personalhandlungen gemäß dem Methodenband zum PSA-Leitfaden

Im Methodenband zum PSA-Leitfaden wird zwischen folgenden Hauptkategorien von Personenhandlungen unterschieden:

- (A) Personalhandlungen vor Eintritt eines auslösenden Ereignisses während des bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlage,
- (B) Personalhandlungen, die ein auslösendes Ereignis zur Folge haben; insbesondere jene, die zusätzlich den Ausfall sicherheitsrelevanter Systeme verursachen,
- (C) Personalhandlungen nach Eintritt eines auslösenden Ereignisses.

Dabei wurde in der Kategorie (C) noch eine weitere Untergliederung getroffen:

- (C1) Sicherheitsmaßnahmen auf der Grundlage von Anweisungen (procedural safety action),
- (C2) [die Situation] verschlimmernde Maßnahmen/Fehler (aggravating actions/errors),
- (C3) nicht geplante Korrektur/Reparatur-Maßnahmen (improvising recovery/repair actions).

Für die Einordnung des Verhaltens des Personals im Hinblick auf die kognitive Involvierung wird auf die Klassifizierung nach Rasmussen verwiesen.

Rasmussen unterscheidet in:

- *Fertigkeitsbasiertes Verhalten (skill-based behaviour)*:
  Darunter wird ein häufig geübtes Verhalten verstanden, das nach Wahrnehmung der Eingangsinformation auf Grund der vorhandenen Erfahrung bzw. Übung quasi

"automatische" Verhaltensweisen auslöst (Routinearbeiten, auch Maßnahmen nach erfolgter Diagnose bzw. erfolgter Wahrnehmung bzw. Erkennung).

- *Regelbasiertes Verhalten (rule-based behaviour)*:
  Darunter wird ein Verhalten verstanden, bei dem nach Erkennen der Eingangsinformation auf Grund bereits vorhandener Regeln die entsprechenden vorgeplanten Aktionen abgearbeitet werden (auch Maßnahmen nach erfolgter Diagnose). Regeln können schriftlich niedergelegt sein (u. a. im Betriebshandbuch (BHB), Notfallhandbuch (NHB)) oder im Gedächtnis gespeichert (verinnerlicht, nachweislich häufig geübt bzw. angewendet).

- *Wissensbasiertes Verhalten (knowledge-based behaviour)*:
  Darunter wird ein Verhalten in ungewohnten Situationen verstanden, die eine Problemlösung durch den Operateur erfordern. Nach Identifizierung der vorliegenden Merkmale einer Störfallsituation werden vom Betriebspersonal aus vorgegebenen Schutzzielen Handlungskomplexe definiert und die zu ihrer Ausführung nötigen Schritte geplant.

Im Methodenband /FAK 05/ zum PSA-Leitfaden wird weiter ausgeführt, dass die Randbedingungen, unter denen die Handlungen stattfinden, in Form sogenannter Performance Shaping Factors (PSFs) zu ermitteln sind.

Zur qualitativen Analyse und Quantifizierung der Fehlerwahrscheinlichkeit der Personenhandlungen wird auf die Methoden ASEP und THERP verwiesen.

4.3 Abschätzen der Gültigkeit des PSA-Leitfadens für die Bewertung der Wechselwirkungen der Personalhandlungen und der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstellen

Die im Methodenband /FAK 05/ zum PSA-Leitfaden beschriebenen Kategorien der Personenhandlungen (A, B, C1, C2, C3) wie auch die Klassifizierung des Verhaltens (fertigkeits-, regel-, wissensbasiert) besitzen generischen Charakter und sind somit als unabhängig von der jeweilig eingesetzten Technologie anzusehen. Aus heutiger Sicht wird deshalb erwartet, dass sich an diesen Kategorien und Klassifizierungen beim Einsatz von software-basierter Leittechnik in der Mensch-Maschine-Schnittstelle keine Änderungen ergeben werden und auch keine neuen hinzukommen.

Auch die in den empfohlenen HRA-Methoden beschriebenen leistungsbeeinflussenden Faktoren, werden weiterhin Grundbestandteil der Analyse innerhalb der HRA sein. Hier ist allerdings zu erwarten, dass sich durch die Einführung software-basierter Leittechnik in der MMS neue leistungsbeeinflussende Faktoren ergeben.

Bei der Entwicklung der etablierten Methoden ASEP und THERP fand der Einsatz von software-basierter Leittechnik bei der MMS keine explizite Berücksichtigung. Es muss deshalb überprüft werden, in wieweit die Ansätze und Inhalte der Methoden übertragbar sind und wo neue Entwicklungen und Untersuchungen notwendig sind.

4.4 Entwicklung einer Methode zur Vorgehensweise bei der Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstellen hinsichtlich Personalhandlungen

Im Rahmen der Einführung von software-basierter Leittechnik stellt sich die Kernfrage, was sich an der Nutzerschnittstelle mit Ihren Ausprägungen ändert und wie diese Veränderungen sich auf den Menschen auswirken.

Insbesondere ist von Interesse, ob neue Möglichkeiten für Fehlhandlungen hinzukommen, die zu einem auslösenden Ereignis führen könnten.

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht muss angemerkt werden, dass der Mensch mit seinen grundlegenden Eigenschaften und Fähigkeiten derselbe bleibt. Zudem ist zu berücksichtigen, dass software-basierte Leittechnik bereits in vielen anderen Industriezweigen Anwendung findet. Es erscheint deshalb als wenig wahrscheinlich, dass durch die Einführung von software-basierter Leittechnik in Kernkraftwerken im Verhalten des Menschen grundlegend neue Aspekte zum Vorschein treten, die nicht bereits von der wissenschaftlichen Forschung auf einer generischen Ebene identifiziert und beschrieben worden sind.

Es wird deshalb, basierend auf dem heutigen Wissensstand, zunächst davon ausgegangen, dass sich die grundlegende Vorgehensweise zur Analyse von Personenhandlungen auch bei der Einführung von software-basierter Leittechnik nicht ändert.

In **Abb. 4-1** ist die grundlegende Vorgehensweise für die Analyse von fertigkeits- und regelbasierten Handlungen und in **Abb. 4-2** die grundlegende Vorgehensweise für die

Identifizierung und Bewertung von schädlichen Eingriffen dargestellt. Mit weißem Hintergrund sind dabei die einzelnen Schritte der Analyse dargestellt. Die Fragestellungen, die bei der Einführung von software-basierter Leittechnik bearbeitet werden müssen, sind grau hinterlegt.

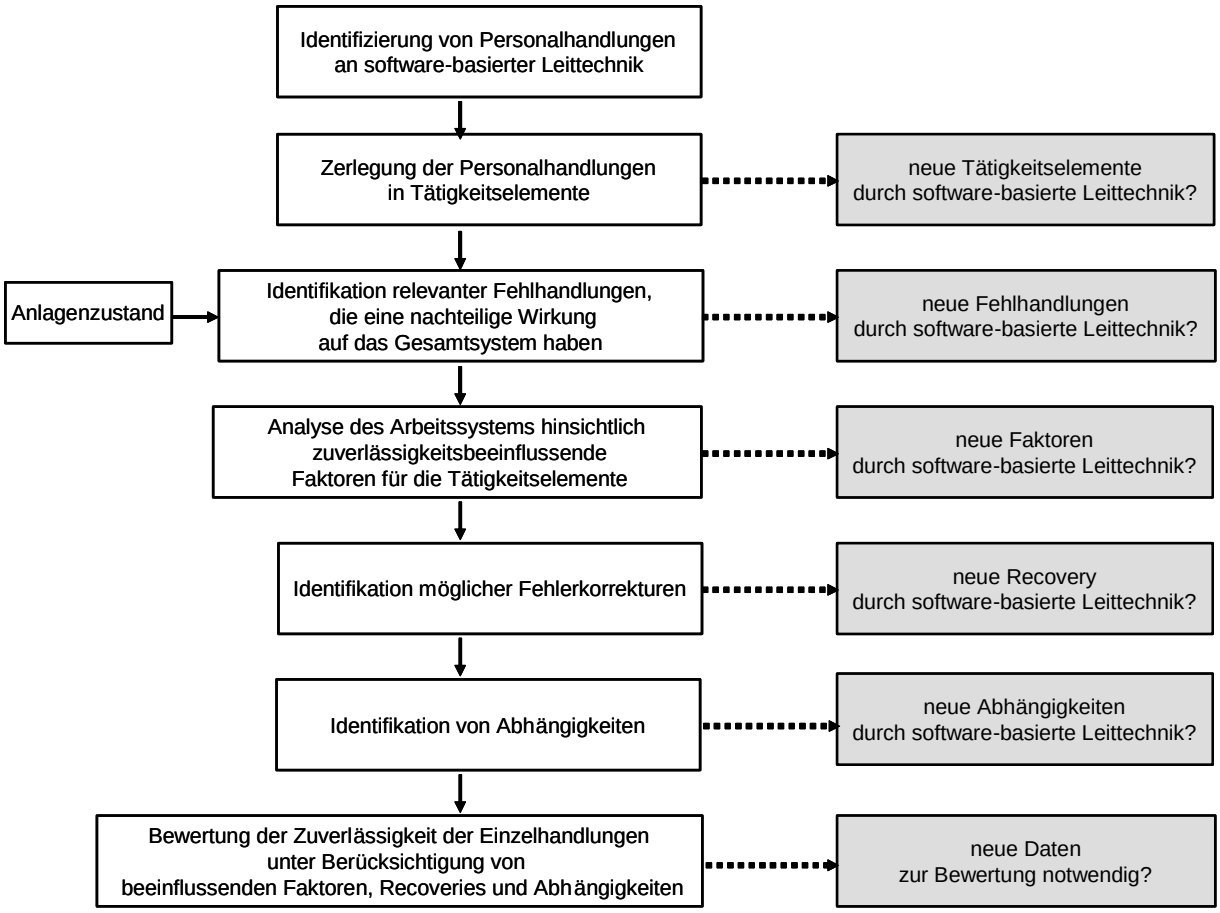


Abb. 4-1 Grundlegende Vorgehensweise für die Analyse fertigkeits- und regelbasierter Personenhandlungen

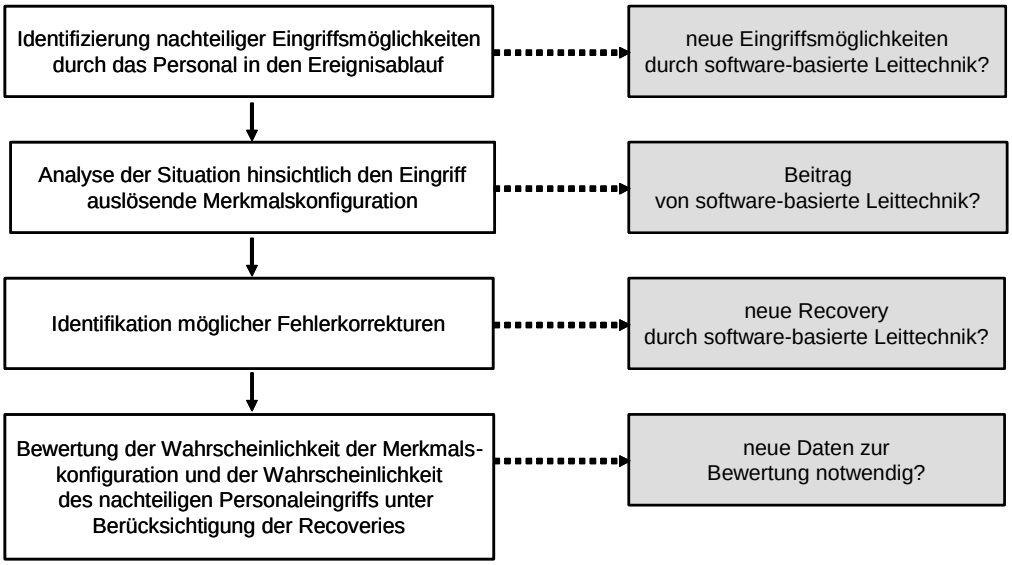


Abb. 4-2 Grundlegende Vorgehensweise für die Analyse schädlicher Personaleingriffe

Für diese grundlegenden Vorgehensweisen ist hinsichtlich der Einführung software-basierter Leittechnik somit für jeden Analyseschritt zu überprüfen, ob sich gegenüber dem jetzigen Wissensstand neue Aspekte ergeben. Unter Umständen müssen im Lichte neuer Erkenntnisse auch die Vorgehensweisen selbst modifiziert werden.

Für die Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle software-basierter Leittechnik wird von den dargestellten Vorgehensweisen zur Bewertung von Personenhandlungen ausgegangen. Kernpunkt der Arbeiten bei der Entwicklung der Methode ist die Identifizierung der neuen Aspekte, die durch die Einführung software-basierter Leittechnik hinzukommen (in **Abb. 4-1** und **Abb. 4-2** grau hinterlegt).

Um dies durchführen zu können, muss das Konzept bzw. die technische Realisierung der software-basierten Leittechnik und deren Mensch-Maschine-Schnittstelle bekannt sein. Ohne dieses Konzept über die Art und Weise der Realisierung der software-basierten Leittechnik und deren Mensch-Maschine-Schnittstelle ist eine strukturierte Untersuchung nicht möglich. Dies sollen zwei Beispiele verdeutlichen.

So könnte z. B. die software-basierte Leittechnik und deren Mensch-Maschine-Schnittstelle so ausgeführt sein, dass sie optisch, haptisch, funktionell und bedientechnisch eine 1:1-Kopie einer analogen Warte mit analoger Leittechnik ist. Hier wäre anzuneh-

men, dass sich keine Änderungen in der Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ergeben. Ein Beispiel für ein anderes Extrem wäre eine virtuelle Warte mit head mounted displays sowie Sprach-, Gesten- und Blicksteuerung und einem extrem hohen Automatisierungsgrad. In diesem Fall erscheint es plausibel, dass einige (aber auch nicht alle) Ansätze zur Bewertung neu überdacht werden müssen. Die tatsächliche technische Umsetzung einer Warte mit software-basierter Leittechnik wird für die nächste Zukunft zwischen diesen beiden Extremen liegen.

Die Beispiele zeigen, dass eine spezifische Modellvorstellung einer Warte mit software-basierter Leittechnik und deren Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Entwicklung der Methode notwendig ist.

Sind die neuen Aspekte, die sich durch die Einführung software-basierter Leittechnik ergeben, identifiziert, so muss überprüft werden, ob sie mit den empfohlenen Methoden (THERP, ASEP), ggf. durch Übertragung von Zahlenwerten und Bewertungskonzepten, quantifiziert werden können.

Ist dies nicht der Fall, ist zu überprüfen, ob andere Methoden einen Beitrag für die Bewertung liefern können oder es notwendig ist, eine neue Vorgehensweise bei der Bewertung zu entwickeln.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Bericht sind Informationen zum Stand von Wissenschaft und Technik zur Berücksichtigung einer rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA dargestellt.

Die Recherchen im Vorhaben SR 2547 zeigen, dass der Aspekt der Mensch-Maschine-Schnittstelle eine wesentliche Rolle bei der Durchführung der Analyse der Personalhandlungen im Rahmen der PSA spielen kann. Es existieren einerseits viele HRA/HF-Methoden, die diesen Aspekt berücksichtigen, andererseits ist deren Anwendbarkeit für die moderne rechnergestützte Mensch-Maschine-Schnittstelle nicht nachgewiesen. Die Modellierung der software-basierten Leittechnik einschließlich Mensch-Maschine-Schnittstelle im Rahmen der probabilistischen Sicherheitsanalyse stellt eine große Herausforderung hinsichtlich Methoden und Analysewerkzeuge dar und macht eine systematische Vorgehensweise bei deren Auswahl erforderlich.

Die Recherchen zu den Bewertungsmethoden der Mensch-Maschine-Schnittstelle in der PSA haben bisher nur die Warte (zum Teil auch Leitstände) als Bewertungsobjekt identifiziert. Für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, die auf der Basis der software-basierten Leittechnik realisiert ist, liegen keine expliziten quantitativen Modelle zur Bewertung zum menschlichen Verhalten vor. Darüber hinaus wird die Instandhaltung der software-basierten Leittechnik einschließlich zugehöriger Mensch-Maschine-Schnittstelle nicht explizit behandelt. Die software-basierte Leittechnik hat jedoch eine Vielzahl von Schnittstellen (u. a. Service-Monitor, Fremdmitteln / Service-Interface zur Instandhaltung der Hard- und Software), bei denen Eingriffe des Personals zur relevanten Änderungen in der Funktionsweise leittechnischer Einrichtungen führen können. Weitere Recherchen bzw. eigene Untersuchungen sollen solche Mensch-Maschine-Schnittstellen, die für die PSA relevant sind, außerhalb der Warte (Wartenpersonal) im Kernkraftwerk identifizieren und die relevanten Einflüsse auf die Personalfehlhandlungen ermitteln.

Ferner sind im voliegenden Bericht zwei weitverbreitete Methoden zur Analyse der Personalhandlungen hinsichtlich deren Anwendbarkeit für die rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstellen gegenübergestellt.

Die ATHEANA-Methodik stellt eine moderne HRA-Methode dar, wobei die Mensch-Maschine-Schnittstelle generell in der Analyse berücksichtigt wird. Es existiert eine umfassende Dokumentation zur Anwendung dieser Methode (NUREG Reports) und die Weiterentwicklung wird durch die U.S. NRC unterstützt. Die Qualität und die Schwachstellen dieser Methode konnten im Rahmen des Vorhabens nicht fundiert geklärt werden. Es ist hierfür eine tiefer gehende Analyse der Methode, ggf. auch anhand von Beispielen und anhand der Spiegelung am Stand von Wissenschaft und Technik, insbesondere anhand der Spiegelung an anderen, vergleichbaren Methoden, durchzuführen, um zu einem fundierten Urteil zu kommen. Zu Realisierung einer solchen Analyse ist ein breit angelegtes, dediziertes Projekt notwendig.

Die THERP-Methode könnte zur Bewertung der rechnergestützten MMS hinsichtlich Handlungen auf fertigkeitsbasierter und regelbasierter Ebene eingesetzt werden. Hierzu muss überprüft werden in wieweit sich die in THERP beschriebenen Fehlhandlungen, leistungsbeeinflussenden Faktoren, Möglichkeiten zur Fehlerbehebung und Abhängigkeiten auf die Schnittstelle, die auf der Basis der software-basierten Leittechnik realisiert ist, übertragen lassen und welche Anpassungen ggf. notwendig sind. Notwendig ist eventuell auch eine Erweiterung der Ausprägungen der oben genannten Aspekte. Allerdings ist zu beachten, dass Analysen zu Handlungen mit kognitiv hoher Beanspruchung damit nicht oder nur im eingeschränkten Maße durchgeführt werden können.

Auf der Basis der Recherchen wurde ein Grundkonzept zur Bewertung der rechnergestützten Mensch-Maschine-Schnittstelle hinsichtlich Personalhandlungen für die PSA erstellt. Dieses Konzept sollte in der Zukunft auf der Basis eines konkreten Beispiels überprüft werden.

6 Literatur

/ATG 02/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565) zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 22. April 2002 (BGBl I, Nr. 26, S. 1351)

/BMU 05/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Sicherheitsüberprüfung für Kernkraftwerke gemäß §19a des Atomgesetzes - Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse, 31. Januar 2005, Bekanntmachung vom 30. August 2005, Bundesanzeiger, Jahrgang 57, Nummer 207a, ISSN 0720-6100, 3. November 2005

/BOR 06/ Boring, R.L.
Modeling Human Reliability Analysis Using MIDAS, Human Factors, Instrumentation and Control Systems Department Idaho National Laboratory, Idaho Falls, ID 83415, USA, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/BYE 00/ Byers, J.C., et al.
Simplified Plant Analysis Risk (SPAR) Human Reliability Analysis (HRA) Methodology, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM ; November 12-16, 2006

/CHU 06/ Chuang, C.-F., H.-P. Chou
Investigation on the Design of Human-System Interface for Advanced Nuclear Plant Control Room, Department of Engineering and System Science Science, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/DAC 06/ DaCruz, P.
A Practical Appreciation of the Implementation a Fully Computerized Monitoring and Control System in N4 NPP Series, Atos Origin, 4, Triton Square, Regent's Place, London NW1 3HG, UK, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/EMB 84/ Embrey, D.E.
SLIM-MAUD: An approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgement, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, USA, NUREG/CR-3518, BNL-NUREG-51716, 1984

/EPR 04/ Electric Power Research Institute (EPRI)
Guidelines for Performing Defense-In-Depth and Diversity Assessments for Digital Upgrades: Applying Risk Informed and Deterministic Methods, EPRI-1002835; December 2004

/FAK 05/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: August 2005, BfS-SCHR-37/05, Wirtschaftsverlag NW / Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Salzgitter ISSN 0937-4469, ISBN 3-86509-414-7, Oktober 2005

/FAS 02/ Fassmann, W.
Ergonomische Anforderungen an rechnerbasierte Informations- und Bedientechnologien in Kernkraftwerkswarten, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A–2966, März 2002

/FUL 06/ Fuld, R.B., D. Harmon
Results of AP1000 Human System Interface Engineering Tests. Westinghouse Electric Company, Windsor, USA, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/HAC 78/ Hacker, W.
Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie, Huber-Verlag, 2. Auflage, Bern, Stuttgart, Wien; 1978

/HAN 84/ Hannaman, G. W., A.J. Spurgin, Y.D. Lukic
Human Cognitive Reliability Model for PRA Analysis, NUS-4531, Electric Power Research Institute´(EPRI), 1984

/HOL 98/ Hollnagel, E.
Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), Elsevier, Oxford, UK, 1998

/KOP 85/ Kopstein, F., J.J. Wolf
Maintenance Personnel Performance Simulation (MAPPS) Model: User's Manual, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., NUREG.CR-3634, ORNL/TM-9545; 1985

/KTA 07/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA)
Sicherheitstechnische Regel des KTA, Warte, Notsteuerstelle und örtliche Leitstände in Kernkraftwerken, KTA 3904; November 2007

/KUB 06/ Kubíček, J., J. Holý
Assessment of the Intention of Control Rooms Aggregation of Auxiliary Buildings in NPP Dukovany, Nuclear Research Institute Řež, Czech Republic, IAEA Technical Meeting on the Use of Advanced Safety Assessment Methods for Evaluation of NPP Upgrades, Daejon, Republic of Korea; 13-17 November 2006

/LEE 00/ Lee, Y.H., et al.
A survey on the human reliability analysis methods for the design of Korean next generation reactor, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Taejon, Republic of Korea, KAERI/AR--564/2000; 2000

/MÄR 06/ Märzendorfer, M.
The Comprehensive I&C Modernization Project ANIS+ of the Swiss NPP Leibstadt, Kernkraftwerk Leibstadt AG, CH-5325 Leibstadt Switzerland, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/NEI 76/ Neisser, U.
Cognition and Reality, Freeman, San Francisco, CA; 1976

/NRC 00/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Technical Basis and Implementation Guidelines for A Technique for Human Event Analysis (ATHEANA), NUREG-1624 Rev. 1, Washington, D.C.; 2000

/NRC 02/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Human System Interface Design Review Guideline, NUREG-0700, Rev. 2, Washington, D.C.; May 2002

/NRC 04/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev.2, Washington, D.C.; 2004

/NRC 07/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
ATHEANA User´s Guide, NUREG-1880, Washington, D.C.; 2007

/NRC 94/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev.0, Washington, D.C.; 1994

/NRC 96/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
S. E. Cooper, A. M. Ramey-Smith, J. Wreathall, G. W. Parry, D. C. Bley, W. J. Luckas, J. H. Taylor and M. T. Barriere, A Technique for Human Error Analysis (ATHEANA), NUREG/CR-6350, Washington, D.C.; 1996

/NRC 98/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)
Technical Basis and Implementation Guidelines for A Technique for Human Error Analysis (ATHEANA), NUREG-1624, Rev. 1, Washington, D.C.; 1998

/OHA 04/ O'Hara, J.M., and J.C. Higgins
Regulatory Review of Advanced and Innovative Human-System Interface Technologies, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, USA, NPIC&HMIT 2004, Columbus, OH; September, 2004

/PAR 04/ Paris, C., S. Lu, K. Linden
Environments for the Construction and Use of Task Models, in: D. Diaper and N.A. Stanton (Eds.): The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ; 2004

/PIA 76/ Piaget, J.
Die Äquilibration der kognitiven Strukturen, Klett-Cotta, Stuttgart; 1976

/PIR 06/ Pirus, D.
Why and How a Functional Information System Improves Computerized Operations, EdF SEPTEN, Service Etudes et Projets Thermiques et Nucléaires, 12-14, Avenue Dutriévoz, 69628 Villeurbanne Cedex, France, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/PLO 06/ Plott, C., et al.
Identification of Advanced Human Factors Engineering Analysis, Design and Evaluation Methods, Alion Science & Technology, MA&D Operation, 4949 Pearl E. Circle, NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/PRW 98/ Preischl,, W., et al.
Untersuchungen zu Handlungen des Betriebspersonals in Notfallsituationen, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2617; Oktober 1998

/SNL 99/ Sandia National Laboratories (SNL)
John A. Fores et al., Philosophy of ATHEANA, AN99-702C; 1999

/SHE 98/ Sherman, W., et al.
The Midas Human Performance Model NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 42nd Annual Meeting; 1998

/SWA 83/ Swain, A.D., H.E. Guttman
Handbook of human reliability with emphasis on nuclear power plants applications, Sandia National Laboratories (SNL), NUREG CR-1278, Washington, D.C.; 1983

/SWA 87/ Swain, A.D., H.E. Guttman
Accident sequences evaluation program human reliability analysis procedure, U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), NUREG/CR-4772, Washington, D.C.; 1987

/VOS 06/ Voss, T.J.
An Overview of IEEE Human Factors Standards Activities, Operations Regulatory Services, Washington Safety Management Solutions, Aiken, SC; NPIC&HMIT 2006, Albuquerque, NM; November 12-16, 2006

/WEL 01/ van Welie, M.
Task-Based User Interface Design, SIKS Dissertation Series No. 2001-6, Dutch Graduate School for Information and Knowledge Systems; 2001

/WIL 92/ Wilhelmsen, C.A., et al.
Reviewing the impact of advanced control room technology, EG and G Idaho, Inc., Idaho Falls, 5th Conference on Human Factors and Power Plants: Power Generation - The Next Decade and Beyond, Monterey, CA; 7-11 June 1992

7 Abbildungsverzeichnis

8 Abkürzungen und Begriffe (Glossar)

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor
Antwortzeit	(Synonym: Rückantwortzeit)**:** Antwortzeit bezeichnet die Zeitspanne zwischen dem Absenden einer Eingabe und dem Anfang der darauffolgenden Antwort an einem Bildschirm (DIN 66 233, Teil 1).
Anzeige	Die Anzeige ist eine mittelbare, also durch eine technische Einrichtung, den menschlichen Sinnen dargebotene Information. VDI/VDE-Richtlinie 2172: Anzeige ist die wahrnehmbare Darstellung von Daten. DIN 66233: Die Anzeige kann sichtbar, hörbar oder fühlbar erfolgen.
Arbeitsmittel	Die Arbeitsmittel im Arbeitssystem sind beispielsweise Anlagen, Einrichtungen, Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen sowie Betriebs- und Hilfsstoffe (DIN 33400).
Arbeitsplatz	Der Arbeitsplatz ist der räumliche Bereich im Arbeitssystem, in dem die Arbeitsaufgabe verrichtet wird (DIN 33400).
Arbeitssystem	Ein Arbeitssystem dient der Erfüllung einer Arbeitsaufgabe; hierbei wirken Mensch und Arbeitsmittel im Arbeitsablauf am Arbeitsplatz in einer Arbeitsumgebung unter den Bedingungen dieses Arbeitssystems zusammen (DIN 33400).
Belastung	Unter Belastung versteht man alle Anforderungen an den Menschen, die sich aus Arbeitsplatz und Arbeitsablauf, sowie allen physikalischen Umgebungseinflüssen, ergeben.
Benutzer/in	(Synonym: Bediener/in)**:** Eine Person in der Rolle eines Auftraggebers gegenüber einem Rechensystem (DIN 66200)
Benutzerfreundlichkeit	(Synonym: Bedienerfreundlichkeit)**:** Benutzerfreundlichkeit ist die globale Qualität oder Eigenschaft eines Dialogsystems. leicht und effizient benutzbar zu sein.

Benutzerführung	Synonym: Bedienerführung)**:** Programm. das den Bediener anweist oder zwingt, bestimmte Bedienteile zu betätigen oder Handgriffe auszuführen (zum Beispiel Kontokarten zu führen), um den Programmablauf weiterzuführen beziehungsweise den Programmablauf auslösen zu können. DIN 32754: Unterstützung des Benutzers einer Datenstation oder eines Computers durch programmgesteuerte Hinweise oder Meldungen auf dem Bildschirm eines Sichtgerätes.
Benutzerinitiierter Dialog	Ein benutzerinitiierter Dialog liegt vor, wenn der Benutzer eine Eingabe generiert, auf die der Rechner mit einer Antwort reagiert. Gegenteil: rechnerinitiierter Dialog
Benutzungsschnittstelle	(Synonym: Mensch-Maschine-Schnittstelle)**:** Unter Benutzungsschnittstelle versteht man die Systemkomponente. die zwischen Benutzer und technischem System eingerichtet ist, um den Benutzer auf das technische System einwirken zu lassen und ihm über die Folgen der Einwirkung Rückmeldung zu geben.
Benutzungsschnittstellengestaltung	Gestaltung von Hardware- und Softwareelementen, mit denen sich der Benutzer bei der Handhabung des Systems in unmittelbarer Interaktion befindet
Berührungsempfindlicher Bildschirm	Berührungsempfindliche Bildschirme haben Sensoren, die durch Berühren einen vorher definierten Prozess auslösen.
Bildschirmarbeitsplatz	Arbeitsplatz mit Bildschirmgerät, bei dem Arbeitsaufgabe mit und Arbeitszeit am Bildschirmgerät bestimmend für die gesamte Tätigkeit sind (DIN 66233)
CBP	Computer Based Procedure: rechnergestützte Prozeduren (BHB, NHB, Unterstützung des Operateurs).
DCS	Distributed Control System
dedicated	Used for one purpose only, in contrast to "multiplexed”.
Dialog	Wechselseitiger, unmittelbarer Informationsaustausch zwischen zwei Personen (Sprachdialog), zwei Datenverarbeitungsanlagen (Datenaustausch zwischen Computern) oder zwischen Mensch und Maschine

Dialogkonsistenz	Eine Mensch-Maschine-Schnittstelle ist konsistent, wenn sowohl das konzeptuelle Modell, die Semantik, die Syntax der Kommandosprache als auch das Präsentationsformat der Ausgabesprache durchgängig sind und keine Ausnahmen beinhalten. Einige Beispiele der Konsistenz sind: - Es werden immer dieselben Kodierungen benutzt. - System-Statusmeldungen erscheinen logisch immer auf derselben Stelle. - Optionen eines Menüs erscheinen auf derselben Position im Menü. - Tasten haben immer dieselbe Bedeutung. - Globale Kommandos haben in jedem Kontext dieselbe Bedeutung. - Die Kommandoabkürzungen sind gleich lang.
Dialogmanager	(Synonym: Dialogprozessor)**:** 1. Software-Werkzeug zur Spezifikation und Implementierung von Mensch-Computer-Dialogen 2. Software-Komponente. die den Mensch-Computer-Dialog steuert. Anforderungen an einen Dialogmanager in diesem Sinne sind: - Verwaltung von Ein- und Ausgabe, - Aufbereitung von Benutzereingaben (Tastatur. Maus,usw.) und - Repräsentation von Objekten: Fenster. Menüs. Icons); Verbindung zum Anwendungsprogramm, das die eigentlichen Aufgaben des Rechners ausführt
Dialogsystem	(Synonym: Interaktives System)**:** Dialogsystem heißt eine Form der Mensch-Maschine-Kommunikation. bei der über ein dialogfähiges Terminal ein Mensch in den Dialog mit einem Computersystem eintritt.
Dialogtechnik	(Synonym: Interaktionstechnik)**:** Die Dialogtechnik betrifft die An und Weise der Interaktion zwischen Rechner und Benutzer. Man unterscheidet in benutzerinitiierte Dialogtechniken (Abfragetechnik, mnemotechnische Transaktionscodes, spezialsprachenorientierte Abfragedialoge, programmiersprachenähnliche Abfragedialoge) und rechnerinitiierte Dialogtechniken (Menüauswahltechniken, Formulareingabe, Anweisungen an den Benutzer). Zu den hybriden Techniken zählt die direkte Manipulation, die im konkreten Fall mehr oder weniger graphisch orientiert ist. Hinzu kommen die natürliche Sprache und die Kombination verschiedener Techniken.

discrete (individual) controls	Devices to support operator control to plant components, such as pumps, valves, controllers, with one control being assigned to a single plant component or function
EFC	Error Forcing Context
Fenster	Der informationstechnische Begriff Fenster wird definiert als Darstellungsbereich auf einem Computerbildschirm. in dem beliebige Texte und Graphiken ausgegeben werden können und der sich mit anderen Fenstern auf dem Bildschirm temporär überlappen kann. Aus Sicht der Informatik stellt ein Fenster ein virtuelles Terminal dar.
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
Formulardialog	Dialog eines Benutzers mit einem Rechner, bei dem zur Datenein- und -ausgabe Formulare benutzt werden, die auf einem Bildschirm angezeigt werden
Graphiktableau	(Synonym: Graphiktablett)**:** Eingabetechnik für Graphikelemente und -funktionen, bei der auf eine dünne Platte gezeichnete Graphikelemente angeklickt, mittels Sensoren erkannt, in den Rechner eingegeben und mittels entsprechender Funktionswahl verändert werden
Handhabbarkeit	Handhabbarkeit meint die ergonomische Qualität eines Arbeitsmittels beziehungsweise dessen Benutzeroberfläche. Sie drückt also aus, wie gut oder schlecht ein Arbeitsmittel an die ergonomischen Bedürfnisse des Benutzers angepasst ist.
Hardware-Ergonomie	Unter Hardware-Ergonomie versteht man die Ergonomie im Bereich der Datenverarbeitung, die sich auf die Geräteentwicklung bezieht, zum Beispiel die Gestaltung von Bildschirmgeräten, Tastaturen und anderer Hardware für die Benutzungsschnittstelle.
HEP	Human Error Probability
HF	Human Factor
HFE	Human Factor Engineering
Hilfesystem	Ein Hilfesystem ist eine Systemkomponente, die die Benutzer in Fehlerfällen, bei Unkenntnis von Kommandos oder in noch nicht häufig aufgetretenen Situationen weiterhilft. Man unterscheidet sowohl zwischen statischen und dynamischen als auch zwischen aktiven und passiven Hilfesystemen.
HMI	Human Machine Interface
HRA	Human Reliability

HSI	Human System Interface
Human Engineering	Human Engineering ist eine auf Ingenieurwissenschaften und angewandter Psychologie aufbauende Richtung der Arbeitswisseschaft/Ergonomie in den angelsächsischen Ländern.
Icon	(Synonym: Piktogramm)**:** Icons sind abstrahierte, bildhafte Darstellungen von Objekten. Sie dienen der Visualisierung und sind auf der Bildschirmoberfläche sichtbar und veränderbar. Als Darstellungsformen stehen Texte und Bitmaps zur Verfügung. Icons können einerseits Repräsentanten für Objekte des Anwendungssystems, der Benutzungsschnittstelle oder ganzer Systemkomponenten sein, sie können andererseits aber auch Aktionen repräsentieren. Die graphische Darstellung der Icons spiegelt den semantischen Hintergrund, also die Bedeutung der dahinter liegenden Objekte, wieder.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineer
Key hole-Effekt	(Synonym: Schlüsselloch-Effekt): Funktionsorientierte Auslegung (Function-oriented Design - FOD) gibt Richtlinien zum Aufbau und zur Aufteilung der Bildschirminhalte um eventuelle Probleme wie Schlüsselloch Effekt zu vermeiden. (vgl. NUREG 0700 /NRC 02/)
Kognitive Ergonomie	Innerhalb der kognitiven Ergonomie versucht man, Prinzipien für die Gestaltung von Mensch-Rechner-Systemen zu entwickeln, wobei die für menschliche kognitive Prozesse bedeutsamen Systemparameter zu analysieren, zu modellieren, experimentell zu untersuchen und zu bewerten sind.
Lichtgriffel	(Synonym: Lichtstift)**:** Ein Lichtgriffel. ist ein stabförmiges Eingabegerät mit einem Lichtsensor an der Spitze. Setzt man ihn wie einen Schreibstift auf eine beliebige Stelle des Bildschirms, so liefert er beim Durchgang des Elektronenstrahls durch diesen Punkt ein Signal, das entsprechend umgesetzt dann vom Programm ausgewertet werden kann.
Maske	(Synonym: Bildschirmmaske): Auf dem Bildschirm dargestelltes Schema zur Anzeige und Eingabe von Daten (DIN 66233)
Maus	Ein in der Hand gehaltener Lokalisierer, der durch Bewegen auf einer Fläche betrieben wird.

Menü	Menüs sind graphische oder symbolische Darstellungen von Auswahllisten auf dem Bildschirm. Der Benutzer kann in jedem Interaktionsschritt einen Menüeintrag auswählen oder selektieren. Gegebenenfalls ist auch Mehrfachselektion möglich. Die Selektion kann durch verschiedene Interaktionstechniken realisiert werden, z. B. Zeigen mit einer Maus, Funktionstasten, Kommandokürzel etc.
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
multiplexed	Used for several purposes at different times. For example, a start-stop switch may be selected by another device to a number of plant items and used to start or stop the item it is connected to at the time
NUREG	U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulations
PRA	Probabilistic Risk Analysis
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
PSF	Performance Shaping Factors: (Personal) Leistungsbeeinflussende Faktoren
Soft control	A multiplexed device which has many programmable functions, the function at any time being shown by a label. The label may be an illuminated fascia or a message on a VDU. Operator information may be given by related light devices or VDU.
Software Engineering	Der 1968 geprägte Begriff des Software Engineering beinhaltet die Forderung und Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Prinzipien bei der Produktion von Software.
Software-Ergonomie	(Abkürzung: SW-Ergonomie)**:** Software-Ergonomie im engeren Sinne ist der Teilbereich der Ergonomie, der sich mit der menschengerechten Gestaltung von Benutzungsschnittstellen befasst. Im weiteren Sinne ist Software-Ergonomie die Gewinnung und Anwendung von ergonomischem Wissen über die Beziehung zwischen Mensch, Rechner und Umgebung mit dem Ziel der sicheren, effizienten und befriedigenden Anwendung der Informationstechnologie.
Software-Werkzeug	(Synonym: Software tool)**:** Unter Software-Werkzeug versteht man ein Programm, das die Realisierung von Benutzungsschnittstellen und deren Implementation effizienter gestaltet. Man unterscheidet Werkzeuge der Ein/Ausgabeebene (Fenstersysteme, Icons, Maus, Zeichensätze), der Dialogebene (Menü- und Formularmanager,

	Scanner, Parser), der Aufgaben / Anwendungsebene (Editoren, Interpreter, Compiler, Shells).
Statische Hilfe	Statische Hilfe gibt Auskunft über feste Strukturen im Programm. Sie beinhaltet in etwa die Information, die auch in einem Handbuch vorliegt.
Steuerknüppel	(Synonym: Joystick)**:** Ein Steuerknüppel ist ein (kleiner) Hebel, der sich mit mindestens zwei Freiheitsgraden bewegen lässt und als Eingabegerät - normalerweise als Lokalisierer - benutzt wird.
Terminal	Eine Funktionseinheit mit einem Bildschirm und im Allgemeinen mit einer Eingabeeinheit (DIN 66233) Text-Graphik-Editor: Ein Software-Produkt, das die gleichzeitige Verarbeitung (Erfassung, Änderung) von textlichen und graphischen Informationen gestattet. Während die textlichen Informationen in der Regel mit einer alphanumerischen Tastatur eingegeben werden, wird zur Eingabe der graphischen Informationen spezielle Graphik-Hardware (Maus, Tablett, Lichtgriffel) benötigt. Der Bildschirm muss zur Darstellung der beiden Informationsarten sowohl alphanumerische Zeichen als auch Graphiken wiedergeben können.
Touch panel	A soft control which uses a position detector to detect the operator’s finger pointing at the label on the VDU. Alternatively, a light pen may be used or a cursor may be moved over the VDU format to identify a label. The label may describe an item of plant or a control action
NRC	Nuclear Regulatory Commission (USA)
Usability	Ergonomie (der Software)

VERTEILER

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

AG RS I 3			2x

Bundesamt für Strahlenschutz

SK 2			2x
SK 3, Herr Dr. Rehs			3x
	CD ROM		5x

GRS

Geschäftsführer	(hah, stj)	je	1x
Bereichsleiter	(erv, lim, prg, rot, tes, zir)	je	1x
Abteilungsleiter	(poi, stc, ver, mem)	je	1x
Projektleitung	(row)		2x
Projektcontrolling	(hab, vet)	je	1x
Bibliothek	(hog)		1x
TECDO	(rop)		1x
Autoren	(pil, har)	je	3x

Gesamtauflage: **31 Exemplare**

5 CD ROM