

BRIGITTE BEER & PETER STADLER
DIAGNOSE & TRANSFER · INSTITUT FÜR ANGEWANDTE PSYCHOLOGIE

GESTALTUNG DER SCHNITTSTELLE MASCHINE/ANLAGE/PROZESS IM RAHMEN VON ANLAGENPLANUNGEN - SICHERHEITSBEZOGENE ANFORDERUNGEN UND UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

· *Arbeitsschutz und Planung · arbeitsschutzorientierte Anlagenplanung · Schnittstelle Mensch/Anlage/Prozess · prospektive Arbeitsgestaltung*

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag werden, vor dem Hintergrund des arbeitspsychologischen und arbeitswissenschaftlichen Forschungsstandes, die Ergebnisse einer empirischen Untersuchung von Neu- bzw. Änderungsplanungen zur Planung der Schnittstelle Mensch/Anlage/Prozess in der chemischen Industrie vorgestellt. Auf Basis der Analyseergebnisse wird eine Planungstypologie entwickelt.

CONCEPTION DE L'INTERFACE HOMME/"MACHINE"/ PROCESSUS DANS LE CADRE DE LA PLANIFICATIONS DE NOUVELLES INSTALLATIONS – EXIGENCES RELATIVES A LA SECURITE ET RESULTATS DE RECHERCHE

· *Sécurité du travail et planification · planification des installations en vue de la sécurité du travail · interface homme/"machine"/processus · analyse prospective des postes de travail*

RESUME

Dans cet article, les résultats d'une étude empirique, sur la planification et les modifications de planification nécessaires pour la conception de l'interface homme/"machine"/processus, dans l'industrie chimique, sont présentés. Il tient compte des derniers résultats de la recherche dans le domaine de l'ergonomie et de la psychologie du travail. Sur la base des résultats de cette analyse, une typologie de planification est élaborée.



DESIGNING THE HUMAN/MACHINE INTERFACE IN CHEMICAL PLANT PLANNING PROCESSES: SAFETY REQUIREMENTS AND FINDINGS OF AN EMPIRICAL STUDY

· *Occupational safety in planning processes* · *Human/machine interface in plant planning* · *preventive work design*

SUMMARY

Occupational safety in the chemical industry requires preventive design of the human/machine interface when the plant is being planned. This involves an anticipatory analysis of the future working tasks and the psychological processes (by way of perception, assessment and decision) which are necessary for plant safety. Objects of planning with regard to safety are function sharing between operator and process control system and the tailoring of both the working tasks and the information and instruction input system. The article presents first research results on ergonomics and occupational psychology with respect to safe behavior in chemical plants. It then shows findings of an empirical study analysing the design of the human/machine interface in 10 chemical planning processes. It is shown that planning processes differ above all in terms of the philosophy of automation and the assessment of human reliability. Planning processes were suboptimal in terms of the design of working material, qualification and participation when they took only the technical aspects into consideration and failed to see the operators as a resource for comprehensive safety. Deficits and improvement potentials are discussed on the basis of these results. Focusing the perspective of the operators appears to be essential to planning processes because the operators are much more critical of the safety of new plant than the planning engineers.



1 EINLEITUNG

Grundlegend für einen nachhaltig und präventiv wirksamen betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz (AGS) ist die Integration von Arbeits- und Gesundheitsschutzziele in Planungsprozesse, insbesondere in jene Planvorhaben, die durch Neukonstruktion bzw. Änderung der Arbeitsmittel und Arbeitsverfahren neue *Arbeitsaufgaben* und *Arbeitstätigkeiten* projektieren. Anlagenplanungen gehen in aller Regel mit einer Änderung des Automatisierungsgrades und damit einer Änderung der Funktionsteilung zwischen Mensch und Prozessleitsystem einher. Allerdings machen Planungsingenieure die Arbeitsgestaltung nur in eingeschränktem Maße zum expliziten Gegenstand ihrer Überlegungen. Häufig findet eine Fixierung auf technische, anlagenspezifische Gestaltungspotentiale statt, die Arbeitsgestaltung resultiert dann gewissermaßen als „Abfallprodukt“ der technischen Realisierung (vgl. Hacker 1984). Eine ganzheitliche Planungsstrategie setzt hier an und geht mit einer bewussten und aktiven Planung der Schnittstelle Mensch/Anlage/Prozess (MAP) über die „technischen Seite“ des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (Anlagensicherheit, Emissionsschutz etc.) hinaus. Sie lässt sich von folgenden Grundsätzen leiten (vgl. Stadler & Beer 2001):

- Grundsatz der Prävention: Umfassende Sicherheit wird nur durch vorausschauende, vorbeugende Vorgehensweisen, nicht durch korrektive Maßnahmen erzielt.
- Grundsatz „Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz als Planaufgabe“: Sicherheit und Gesundheit sind bei der Entwicklung und Realisierung neuer Anlagen, Verfahren und Produkte wesentliche Gestaltungsaufgaben.
- Grundsatz der Partizipation von Fachexperten und Mitarbeitern: Nur durch die Bündelung aller betrieblichen Kompetenzen, zu denen auch das Erfahrungswissen der Mitarbeiter vor Ort gehört, kann man ganzheitliche Lösungen im Arbeits- und Gesundheitsschutz erzielen.
- Grundsatz der Ganzheitlichkeit: Technische, organisatorische und verhaltensbezogene Maßnahmen sind zu integrieren und nicht isoliert zu planen.

Wie aber sind diese Grundsätze umzusetzen, d.h. im Planungsprozedere zu verwirklichen

Bild 1:

Qualitätskriterien zur Förderung sicheren Arbeitshandeln in Planungsprozessen (nach Stadler & Beer, 2001)

Qualitätskriterien zur Plansystematik und Planorganisation

1. Verankerung von Arbeits- und Gesundheitsschutzziele in Planungsprozessen
2. AGS-orientierte Plansystematik
3. Integration von AGS-Experten
4. Kooperation und Rückkopplung zwischen Planung und Betrieb

Qualitätskriterien zur Planung der Schnittstelle Mensch / Anlage / Prozeß

5. AGS-orientierte Gestaltung der Schnittstelle Mensch/Anlage/Prozeß
6. Entwicklung einer systematischen Qualifizierungsstrategie
7. Planungsbeteiligung von Meistern und Mitarbeitern

und in die Plansystematik wie Planorganisation so einzuarbeiten, dass bereits bei der Anlagenprojektierung präventiv im Sinne des AGS vorgegangen wird und sicheres Arbeitshandeln gefördert wird? Um diese zentrale Fragestellung zu beantworten, führten die Autoren im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten Verbundprojektes „Ganzheitliches Management des Arbeits- und Gesundheitsschutzes“ (GAMAGS) eine empirische Untersuchung von Neu- bzw. Änderungsplanungen in 10 Unternehmen der chemischen Industrie durch mit dem Ziel, Defizite und Schwachstellen ebenso wie „good practices“ bei der Integration verhaltens- und organisationsbezogener Arbeitsschutzziele in Planungsprozesse zu systematisieren und zu bewerten. Dazu wurden betriebliche Planungsprozesse dahingehend analysiert,

- welcher Stellenwert der Arbeitssicherheit und dem Gesundheitsschutz beigemessen wird,
- in welchen Planphasen und bei welchen Plangegegenständen das zukünftige Arbeitshandeln unter arbeitsschutzorientierten Gesichtspunkten thematisiert wird,
- welche betrieblichen Funktionsträger mit arbeitsschutzrelevanten Planaufgaben befasst sind und
- zu welchen Planresultaten sowohl arbeitsschutzoptimierte Planungsstrategien als auch defizitäre Strategien führen.

Die Autoren entwickelten als Analyse- und Bewertungsinstrument den Kriterienkatalog „Förderung sicheren Arbeitshandeln in Planungsprozessen“ (Stadler & Beer 2001), der in Form von Qualitätskriterien darlegt, wie bereits im Planungsprozess das sichere

Arbeitshandeln der zukünftigen Operateure gefördert werden kann und welche arbeitsschutzbezogene Anforderungen bei Innovationsvorhaben zu erfüllen sind, um in der Planung einen ganzheitlichen AGS zu verfolgen (vgl. Bild 1).

Im vorliegenden Artikel konzentrieren wir uns auf das Vorgehen der Anlagenplaner bei der Gestaltung der Schnittstelle Mensch/Anlage/Prozess unter dem Gesichtspunkt der „Planung sicheren Arbeitshandeln“ (Qualitätskriterium 5). Verwiesen sei an dieser Stelle auf den aus dem Kriterienkatalog resultierenden Leitfaden für Planer und Arbeitsschutzexperten „Förderung sicheren Arbeitshandeln bei der Anlagenplanung“ (Stadler & Beer 1999) sowie auf die Fülle von Analyseergebnissen, die an dieser Stelle im Einzelnen nicht vorgestellt werden können (vgl. Stadler & Beer 2001).

2 AUFGABEN UND ANFORDERUNGEN AN SICHERE ANLAGENBEDIENUNG: ZUM FORSCHUNGSSTAND

Sichere Prozessbeherrschung ist die chemie-spezifische Variante „sicheren Arbeitshandeln“, also ein Typ von Gefahrenkontrolle, der aufgrund des Gefahrenpotentials, das die chemische Industrie für die in ihr Beschäftigten wie auch für die Allgemeinheit birgt, hohe Anforderungen an die Anlagenfahrer stellt. Kennzeichnend für den Anlagenfahrer ist ein Aufgabenkontinuum von „Überwachungs-, Kontroll- und Steuerungstätigkeiten“ (Reichart & Bubb 1992), vom Anlagenbediener hängt die Stabilität der Prozesse wesentlich ab. Ein Teil der Funktionen (Steuern, Regeln, Überwachen) wird durch den Anlagenfahrer, der andere durch das Steuerungssystem (Prozessleitsystem PLS) erbracht. Der Automatisierungsgrad verweist auf die „Arbeitsteilung“



zwischen dem Operateur und dem PLS (vgl. Epple 1994), mit ihm wird festgelegt, welche (sicherheitsrelevanten und anderen) Aufgaben beim Operateur verbleiben.

Die Kenntnis dieser Funktionsteilung und damit der Aufgaben und der Anforderungen, die sich für die Operateure ergeben, ist von zentraler Bedeutung, wenn man sich mit der Arbeitstätigkeit von Operateuren unter sicherheitlichen Gesichtspunkten befasst. Dabei sei daran erinnert, dass die Tätigkeit des Anlagenfahrers nicht nur die naturwissenschaftlich und technologisch gegebenen „Gesetzmäßigkeiten“ einer Synthese oder einer Stofftrennung mittels der Prozesssteuerung zu vollziehen hat, sondern dabei wirtschaftlichen Berechnungen, Kapazitätsplanungen, Zeitdruck etc. subsumiert ist.

2.1 Das Aufgabenspektrum der Anlagenfahrer

Das Spektrum der Aufgaben der Anlagenfahrer, die die Prozesse bei chemische Anlagen steuern und kontrollieren, ist im wesentlichen bestimmt durch den Aufgabenzuschnitt und die Funktionsteilung zwischen Mensch und Prozessleitsystem. Hinzu kommt die Abhängigkeit der Prozesse bzw. Arbeiten voneinander (vgl. Reichart & Bubb 1992). Die Tätigkeit des Anlagenfahrers ist indirekt abhängig von den Prämissen des Verwertungskonzepts (Umsetzung der konkreten Betriebsparameter wie Auftragslage, aktuelle Rohstoff- und Energiekosten, verfügbares Arbeitskräftepotential etc.). Diese werden in Eckdaten der Prozessführung übersetzt, die ihrerseits neben der Sicherheitskonzeption die Festlegung der Anlagen-Fahrweise determinieren. Zudem sind die Anforderungen an die Anlagenfahrer dadurch bestimmt, „inwieweit sie in der Praxis zur Stabilisierung der Prozessbedingungen beitragen müssen“ (Böhle & Rose 1992, S. 39).

Je nach Automatisierungsgrad, Verfahren und Prozessnähe obliegen dem Anlagenfahrer die nachfolgenden Tätigkeiten (vgl. Rulla & Schäfer 1995; Kern & Schumann 1984; Böhle & Rose 1992).

- Einrichtungstätigkeiten, Herstellen von Anfahrbedingungen bzw. Anfahren;
- Ausführung der Rezepte;
- Ändern von Rezepturen nach Laboranleitung;

- Optimieren von Prozessbedingungen, Sicherung der maximalen Auslastung besonders teurer Aggregate, Regulieren von verändertem Bedarf bei unterschiedlichen Wetterlagen;

- Prozessüberwachung, d.h. Überwachung, inwieweit die Soll-Werte eingehalten werden, Erkennen der Abweichung von Soll- zu Ist-Werten und das Herausfinden von Falschmeldungen innerhalb von Toleranzen. Dazu gehört die Beurteilung von Trends wechselseitig aufeinander wirkender Parameter, sowie die Beobachtung von Störungsanbahnungen durch wahrgenommene Auffälligkeiten rückgemeldeter Daten;

- Störungsdiagnose: „Frühzeitiges Erkennen von Störungen durch Vergleich von Daten, Registrieren von Störungsmeldungen, Eingrenzen und Bestimmen einer Störung, Beteiligung einer Lokalisierung und Bestimmung von Störungsquellen an der Anlage innerhalb von Teilkomponenten (z.B. Pumpen, Ventilen, Motoren, Getrieben, Hydraulik-Aggregaten, elektrischen Steuerungen usw.), vor allem in Zusammenarbeit mit Spezialisten aus zentralen Einrichtungen“ (Böhle & Rose 1992, S. 52);

- Veranlassung der Störungsbehebung: durch Stellen von Reglern über das Prozessleitsystem oder Meldung der Störungsbehebung für spezialisierte Stellen und Nennung von Hinweisen für Ansatzpunkte zur Störungsbehebung;

- Wartung und Instandhaltung: Beobachtung des Anlagenverschleißes und des Verschleißes von Komponenten im Verlauf von Prozessen;

- Arbeitsdokumentation;

- Resttätigkeiten, wenn prozessnah (z.B. Abfüllen, Probeentnahme). Je nach Automatisierungsgrad, Verfahren und Prozessnähe werden solche Tätigkeiten vom Bediener vor Ort ausgeführt. Dieser führt Anlagenrundgänge mit Kontrolle der örtlichen Anzeigen und Sichtkontrolle auf Schäden (z.B. Leckagen) durch sowie - auf Weisung des Operators in der Warte - Eingriffe vor Ort, die von der Warte nicht erfolgen können (z.B. Schließen von Ventilen, Öffnen von Ablasserichtungen). Häufig kommen diskontinuierliche Tätigkeiten wie Entleeren oder Einfüllen von Stoffen hinzu so-

wie das Entnehmen von Proben (manuell).

2.2 Anforderungen an sicheres Arbeitshandeln

Bei den Arbeitstätigkeiten der Anlagenfahrer handelt es sich um Aufgaben mit überwiegend mentalen Anforderungscharakter (vgl. Bubb & Seifert 1992). Die Anforderungen bei den Überwachungs-, Kontroll- und Steuerungstätigkeiten lassen sich in Anlehnung an den „Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose (FSD)“ (Hoyos & Ruppert 1993) wie folgt differenzieren:

- *Wahrnehmen und Beachten der Prozessdaten:* Spezifisch für die verfahrenstechnische Produktion ist die Mensch-Prozess-Kommunikation. Die jeweilige Eigenschaft von Produkt und Prozess wird nicht unmittelbar mit menschlichen Sinnen, sondern vermittelt über physikalische und chemische Sensoren erfasst. Diese gelieferten Einzelsignale hat der Anlagenfahrer richtig zu deuten und darüber auf den Gesamtzustand des Prozesses zu schließen. Je nach Funktionsteilung zwischen den Informationssystemen und dem handelnden Akteur trägt letzterer die Verantwortung für die Prozessbeherrschung, je nach Informationsquelle und Informationspräsentation ändern sich die Anforderungen an Informationswahrnehmung und Informationsverarbeitung des Operateurs (vgl. Heim et al. 1994; Bubb & Seifert 1992).

- *Beurteilen und Vorhersehen von Gefahren:* Der Anlagenfahrer erhält Daten, die von Messgeräten und Reglern erfasst sind, Unregelmäßigkeiten im Prozessverlauf werden angezeigt. Um mit den vorliegenden Informationen den Prozess überwachen und das Funktionieren einer Anlage fortlaufend überprüfen zu können, muss der Operateur wissen, was die einzelnen Informationen bedeuten (welche Ausschnitte der Anlagen und Prozesszustände sie repräsentieren) und diese Informationen beurteilen können. Diese Beurteilung ist Grundlage des Erkennens von Störungsanbahnungen, damit Grundlage für korrigierende Eingriffe. Die Operateure in der Leitwarte bzw. am Steuerstand müssen deshalb die Phasen- und Funktionskonzepte für die gesamten Prozessabläufe (Reaktionen) annäherungsweise überblicken und verstehen. Die Informationsbeurteilung verlangt anlagen- und prozessspezifische



Kenntnisse, d.h. Wissen um Anlage, Verfahren und Stoffeigenschaften (vgl. Böhle & Rose 1992; Bubb & Seifert 1992).

- **Steuernde Eingriffe:** Sichere Prozessbeherrschung ist nicht einfach als eindeutiges, korrektes und fehlerfreies Arbeitshandeln zu verstehen, sowohl der Anlas für steuernde Eingriffe wie deren Durchführung stehen ihrerseits in Wechselwirkung zum Prozess, werden also durch Reaktionsverläufe beeinflusst. Sicheres Handeln verlangt hier

„Kenntnisse darüber, wie Abweichungen zwischen Soll- und Ist- Werten ausgelöst werden (z.B. Öffnen oder Schließen eines Ventils) und welche Wirkungen hierdurch erzeugt werden (z.B. Veränderung des Drucks und dessen Auswirkungen auf den Prozesszustand und -ablauf). Bei der Überwachung der Produktionsanlagen kommt es daher in erster Linie darauf an, dass Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Werten rechtzeitig erkannt und beurteilt werden, und ob regulierende Eingriffe notwendig sind. Bei der Regulierung (Gegensteuerung) ist entscheidend, dass die für Abweichungen ausschlaggebenden Einflussfaktoren erkannt und dass hiermit zusammenhängende Prozessgrößen so verändert und optimiert werden, dass der Normallauf wieder erreicht, die Prozessbedingungen angepasst oder/und weitere Folgeprobleme einer Störung bis zu ihrer Behebung abgefangen werden“ (Böhle & Rose S.1992, S. 76f).

- **Zusammenarbeiten und Sichverständigen:** Für den Anlagenfahrer in der Leitwarte sind die Auskünfte der Bediener „vor Ort“ eine wichtige Informationsquelle für Zustand der Anlage und Anlageteile. Diese Informationen sind Mittel für die Gegenkontrolle (Messdaten, Bemerkungen von Leckagen, Ventilfehlstellungen oder Überlastungen von Pumpen durch abweichende Geräusche oder Gerüche). Im Rahmen dieses Informationsaustauschs findet auch ein Erfahrungsaustausch statt, der dem Anlagenfahrer die Vorstellung und Zustandsbewertung des Prozessgeschehens erleichtert, gegebenenfalls diese Vorstellungen auch korrigiert. Dieser Kontakt ist bei Störungsanbahnungen wichtig für die Gefahrenkontrolle und das Gefahrenmanagement. Gleiches gilt für die Kooperation und Kommunikation bei Schichtwechsel (vgl. Grote & Künzler 1996).

3 ANFORDERUNGEN AN EINE ARBEITSSCHUTZ-ORIENTIERTE PLANUNG BEI DER GESTALTUNG DER SCHNITTSTELLE MAP

Von den Wahrnehmungs- und Entscheidungsleistungen des Anlagenfahrers und von seiner sicheren Beherrschung aller Einflussgrößen auf den Prozessverlauf hängt die Stabilität der Prozesse wesentlich ab, aber auch, ob Korrekturmaßnahmen bzw. Entstörungsmaßnahmen gelingen. Die Anlagenplanung muss das Arbeitshandeln der zukünftigen Stelleninhaber also mit einbeziehen, d.h. sicherheitskritische wie sicherheitsförderliche Bedingungen des Arbeitshandeln antizipieren, analysieren und bewerten. Darüber, wie sich das Arbeitshandeln vollzieht, ob unter sicherheitsförderlichen oder aber sicherheitskritischen Bedingungen, wird bei einer Reihe verschiedenster Plangegenstände (mit) entschieden. Wir konzentrieren die Darlegung der Anforderungen in diesem Artikel auf die sicherheitskritischen bzw.- förderlichen Bedingungen für Wahrnehmungs-, Beurteilungs- und Entscheidungsleistungen der Anlagenfahrer, d.h. wir abstrahieren an dieser Stelle von den Anforderungen an die ergonomische Gestaltung von Teilanlagen bzw. Aggregaten und Anlagekomponenten sowie der Arbeitsumgebung.

Die sicherheitsrelevanten Gegenstände der Planung sind

- die Funktionsteilung zwischen Operateur und Prozessleitsystem (PLS) in sicherheitsbezogenen Fragen (Automatisierungs- und Kontrollphilosophie, Bedienkonzept, Technische Schutzmaßnahmen und Not-Aus-Konzept, Organisatorische Schutzmaßnahmen, Festlegung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums der Operateure) und
- die Gestaltung des Informationssystems (v.a. Prozesspräsentation, Alarmhierarchie) sowie die Gestaltung der Befehls-eingabe zur Stützung der Wahrnehmungs-, Beurteilungs- und Entscheidungsleistungen.

3.1 Planung der Funktionsteilung zwischen Operateur und Prozessleitsystem

Die Automatisierungs- und Kontrollphilosophie. - Wesentlich für die Anlagenplanung ist die Festlegung auf eine klare und eindeutige „Automatisierungs- und

Kontrollphilosophie“ (vgl. Polke 1994; NAMUR 1993, Arbeitsblatt 31), wobei etwaige Kollisionen zwischen wirtschaftlicher und sicherheitlicher Verfügbarkeit zu antizipieren und zugunsten der sicherheitlichen Verfügbarkeit zu entscheiden sind (vgl. Hauptmanns & Rodriguez 1994). Nur mit einer in diesem Sinne klar definierten Automatisierungs- und Kontrollphilosophie und einem eindeutigem Sicherheitskonzept kann verhindert werden, dass diese Kollisionen zu widersprüchlichen Handlungsanforderungen an die Operateure (riskante Entstörungsmaßnahmen durch „Austricksen“ der definierten Fahrweise) führen. Mögliche Fehlhandlungen sind ebenso zu antizipieren wie auch die Notwendigkeit von Eingriffen für als selten bis unwahrscheinlich angenommene Systemzustände (vgl. Zimolong & Dörfel 1992; Bubb & Dörfel 1992).

Arbeitsorganisatorische Planüberlegungen zum Aufgabenzuschnitt. - Bei der Funktionsteilung zwischen Anlagenfahrer und Prozessleitsystem spielen arbeitsorganisatorische Aspekte eine wichtige Rolle. Folgende Gesichtspunkte sind in die Planungsüberlegungen einzubeziehen:

- **Rotation zwischen Leitwarte und Anlage.** - Ausschließliche Messwartentätigkeit birgt die Gefahr in sich, dass der Operateur seines Erfahrungswissens über Prozessverlauf und Anlageverhalten verlustig geht bzw. dies nur mangelhaft erwirbt. Ein Wechsel mit Tätigkeiten in der Anlage (Kontrollgänge, Resttätigkeiten) fördert die Fähigkeit des Anlagenfahrers, ein adäquates mentales Modell der Anlage zu entwickeln („In welchem Anlagenabschnitt läuft aktuell das Verfahren?“) und aktiviert das Wissen um Prozessverlauf und Anlageverhalten. Dies fördert zudem seine Kompetenzen zur Störungsdiagnose, weil er sich ein genaues Bild von der Abhängigkeit aufeinander folgender Prozessschritte machen und die einzelnen Prozessschritte den jeweiligen Apparaten und Aggregaten zuordnen kann (vgl. Böhle & Rose 1992). Darüber hinaus übt der Wechsel verschiedener Arbeitstätigkeiten einen positiven Einfluss auf die Arbeitsmotivation aus, da dieser einer partiellen Monotonie ausschließlicher Messwartentätigkeit entgegenwirkt. Das „Rotationsprinzip“ sollte so ausgelegt sein, dass Anlagenfahrer, die sich auch nach qualifizierenden Maßnahmen nicht zutrauen, in die Messwarte zu rotieren, nur vor Ort eingesetzt werden.



- ♦ **Festlegung der Entscheidungskompetenzen und der Kommunikationsstruktur für sicherheitskritische Zustände im Anlagenverhalten.** - Für die Planung einer sicherheitsförderlichen Arbeitsorganisation ist eine klare Verteilung der Entscheidungskompetenzen für Gefahrenkontrolle und Gefahrenmanagement unerlässlich. Das Prinzip wechselseitiger Beratung und Risikokommunikation ist abzuwägen und abzuklären für die Fälle, in denen schnelles Entscheiden und Handeln erforderlich ist.
- ♦ **Personelle Redundanz.** - Sicheres Gefahrenmanagement verlangt personelle Redundanz (vgl. Reichart & Bubb 1992), d.h. die Anzahl des Personals ist an Betriebsstörungen und Störfällen auszulegen und nicht am Normalbetrieb. Überdies ist durch eine solche Personalplanung gesichert, dass an Entscheidungsprozessen in sicherheitskritischen Situationen mehrere Personen beteiligt sind.

3.2 Prospektive Arbeitsgestaltung für eine sichere Prozessbeherrschung

Gestaltungsüberlegungen zur Leitwarte. -

Der Standort der Leitwarte sollte unter Gesichtspunkten der Prozessnähe und der Anforderungen an Risikokommunikation geplant werden. Allerdings können Gesichtspunkte vom Standpunkt der Anforderungen an sicheres Arbeitshandeln mit Fragen des Schutzes vor Explosion, Brand und Emission kollidieren. Letztere Maßnahmen zur Schadensbegrenzung bzw. der Begrenzung der Auswirkungen von Schadensereignissen haben selbstverständlich Vorrang, auch wenn vom Gesichtspunkt der mentalen Modellierung der Anlage und des Aktivierens des Erfahrungswissens her Prozessnähe erwünscht ist. Die Auslegung der Leitwarte muss so vorgenommen werden, dass sich optimale Bedien- und Sehbereiche zum Tasten, Greifen und Beobachten ergeben. Die anthropometrische Arbeitsplatzgestaltung betrifft auch Pultform und Pultanordnung, Maße für Bewegungsfreiraum, Beinfreiraum etc., sowie die Funktionalität des Pultes unter Berücksichtigung der optimalen Prozessbeobachtungsmöglichkeiten. Anzeige- und Steuertafeln sind so zu platzieren, dass sie frei im Blickfeld des Operators liegen und anthropometrische Aspekte wie Neigungswinkel der Sehachsen, Gesichtsfeld etc. berücksichtigen (vgl. Mutz & Polke 1994; NAMUR 1991, Arbeitsblatt 26). Des Weiteren müssen die Arten der Beleuchtung an die unterschiedli-

chen Aufgaben der Wahrnehmung angepasst werden. Reflexbildungen auf Bildschirmen und Displays sind zu verhindern. Von der notwendigen Sicherstellung der Kommunikation in der Warte wie mit der Außenwelt ist darauf zu achten, dass die Verständigung optimal erfolgen kann (Telefon, Sprechfunk). Lärmschutzmaßnahmen sind auch unter diesem Gesichtspunkt anzustrengen. Eine gesonderte Überlegung bedarf die Gestaltung des Alarmsignalsystems. Die Leitwarte gehört in übergeordnete Warn- und Alarmsysteme einbezogen.

Gestaltung des Informationssystems für Wahrnehmungs-, Beurteilungs- und Entscheidungsleistungen. - Wesentlich für die Informationswahrnehmung wie -beurteilung als auch für die menschlichen Eingriffe sind die an die speziellen Verfahren und Prozessschritte angepassten Bedien- und Beobachtungsstrukturen. Kriterien hierfür sind:

- ♦ klare und übersichtliche Darstellung des Prozesses,
- ♦ Einheitlichkeit der Symbole,
- ♦ verständliche und eindeutige Datendarstellung,
- ♦ sinnvolle Datenreduktion,
- ♦ eindeutige Alarmhierarchien,
- ♦ Rückmeldungen über die Auswirkungen der Bedieneingriffe sowie
- ♦ Rat- und Hilfesysteme (vgl. Windel & Zimolong 1996).

Diese Gestaltung soll eine mentale Modellierung von Prozessverlauf und Anlage erlauben, die Auswahl der Farben und Symbole soll erwartungskonform sein und die notwendigen Daten sind auf einen sinnvollen Umfang zu reduzieren. Die Alarmierung muss strikt zwischen Bedienalarman und Alarmen bezüglich kritischer Prozessparameter unterscheiden.

Gestaltung der Befehlseingabe (Bedien- und Stellteile). - Zusätzlich zu anthropometrischen Überlegungen sind Planüberlegungen zur Vermeidung von Fehlbedienungen erforderlich. Folgende Gestaltungsprinzipien spielen dabei eine Rolle:

- ♦ Kompatibilität, d.h. vor allem Erwartungskonformität bei Funktion (die

Bewegungsrichtung des Stellteils folgt der erwarteten Funktionalität gemäß Stereotypen) und Position (sinnvolle räumliche Anordnung der Bedienteile im Verhältnis zu den Anzeigen, die Anordnung der Anzeigen sollte der Anordnung der Stellteile entsprechen);

- ♦ Gruppierung, d.h. logische Abfolge der Bedieneingaben (Gruppierung nach Zugehörigkeit zu gleichem Prozessabschnitt) bei Berücksichtigung der Häufigkeit der Bedieneingaben und der Gefährdung durch Fehlbedätigung;
- ♦ Codierung gemäß diesen Gestaltungsprinzipien, d.h. sinnfällige Beschriftung/Bezeichnung; es sollte eine direkte Beziehung zwischen Code und Merkmal bestehen, die Codemerkmale in der Anzahl (z.B. Farben) beschränkt sein;
- ♦ Sicherung gegen unbeabsichtigte Betätigung und Sicherung gegen Unaufmerksamkeit, d.h. Quittierungen, Rückmeldungen sowie Unterstützung durch optische und akustische Signale bei Wahrung des Prinzips der Eindeutigkeit und Datenreduktion (vgl. Windel & Zimolong 1996; Bubb & Dörfel 1992).

4 BETRIEBLICHE PLANUNGSSTRATEGIEN ZUR GESTALTUNG DER SCHNITTSTELLE MAP - ERGEBNISSE DER GAMAGS-UNTERSUCHUNG

4.1 Methodisches Vorgehen

Ziel der empirischen Erhebungen war es, betriebliche Planungsprozesse unter dem Gesichtspunkt arbeitsschutzbezogener Gestaltung der Schnittstelle Mensch/Anlage/Prozess zu analysieren. Hierfür wurden verschiedene subjektive und objektive Erhebungsmethoden eingesetzt: Bild 2 zeigt im Überblick die verwendeten Instrumente zur Datengewinnung und differenziert die Methoden danach, ob sie zur Analyse des Planungsprozesses oder des Planungsergebnisses eingesetzt wurden.

- ♦ **Interviews mit den betrieblichen Akteuren:** Die Befragungsschwerpunkte orientierten sich am Kriterienkatalog (siehe Bild 1) und den daraus abgeleiteten Anforderungen an die Planungsakteure. Gegenstand der Interviews waren u.a. das Aufgabenspektrum der Operateure, die Automatisierungs- und Kontroll-

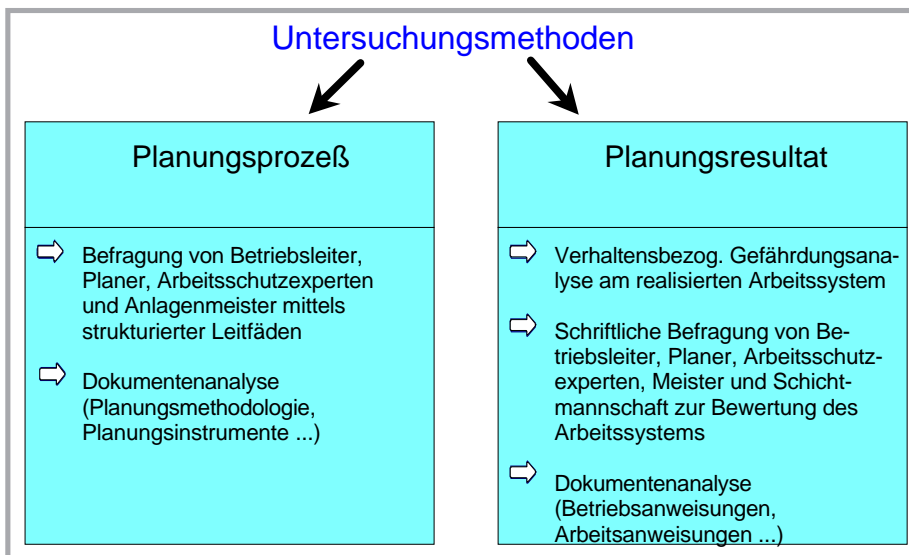


Bild 2: Untersuchungsinstrumente

philosophie der Planungsakteure, die Gestaltung von Bedien- und Steuereinrichtungen und die Art der Informationsdarstellung (Prozesspräsentation, Alarmierung etc.). Die Grobstruktur der Leitfäden war für die verschiedenen Akteure (Planer, Betriebsleiter, Anlagenmeister, AGS-Experte) gleich, die Gewichtung, Vertiefung oder Ausklammerung von Fragen wurde je nach Aufgaben und Rolle im Planungsprozess vorgenommen.

- **Dokumentenanalyse zum Planungsprozess:** Zur weiteren Analyse des untersuchten Planungsprozesses ließen wir uns verschiedene Dokumente aushändigen, wie z.B. Planungshandbuch und firmeneigene Planungsinstrumente, vor allen Dingen Risikoanalysen.
- **Gefährdungsanalysen an den fertiggestellten Arbeitsplätzen:** Für die Anforderungs- und Gefährdungsanalysen wurde der „Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose (FSD)“ (Hoyos & Ruppert 1993) bei sechs der zehn Planvorhaben in modifizierter Form eingesetzt. Da der FSD ein branchenunspezifisches Instrument der Gefährdungsanalyse ist, wurden einzelne FSD-Items von uns für den Bereich der Chemie präzisiert und spezifiziert, um dem chemiespezifischen Gefährdungspotential und den chemiespezifischen Anforderungen der Stelleninhaber gerecht zu werden. Hierzu griffen wir u.a. auf den „Fragenkatalog zum Schutz der Beschäftigten bei Sicherheitsbetrachtungen nach Störfallverordnung“ (Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 1991) sowie Bewertungskriterien „zur menschlichen Gestaltung von Leitwarten“ (vgl.

Windel & Zimolong 1996) zurück. Aus Platzgründen wird auf die Ergebnisse der Gefährdungsanalysen nur im Zusammenhang mit Mängeln des Informations- und Eingabesystems eingegangen. Eine ausführliche Ergebnisdarstellung findet sich in Stadler & Beer (1998).

- **Fragebogen zur Bewertung der realisierten Arbeitssysteme:** Ein Fragebogen wurde entwickelt (Stadler & Beer 1998), mit dem die aktuell abgeschlossene Planung und die neu eingerichteten Arbeitssysteme unter dem Gesichtspunkt „sicheren Arbeitshandeln“ bewertet und Vergleiche zwischen den Arbeitstätigkeiten vor und nach Realisierung des Innovationsvorhabens angestellt werden sollten. Der Fragebogen wurde Planern, Sicherheitsfachkräften, Betriebsleitern sowie den Meistern und Schichtmannschaften vorgelegt, die an der neuen oder geänderten Anlage arbeiteten. Themenschwerpunkte des Fragebogens sind:
 - Arbeitstätigkeit der Operateure (beispielhaftes Item: „Der Anlagenfahrer hat jetzt größere Entscheidungsspielräume bei der Bedienung der Anlage“),
 - Gefahrenspektrum an den Arbeitsplätzen (beispielhaftes Item: „Die Anlagenfahrer werden bei kritischen Situationen von der Software gut unterstützt“),
 - Fragen zur Qualifizierung für die neue Arbeitstätigkeit (beispielhaftes Item: „In der Qualifizierung wurde der Umgang mit allen möglichen Betriebszuständen der Anlage - Normalbetrieb,

An- und Abfahren, Störungen - ausreichend trainiert“),

- Fragen zur Beteiligung von Meistern und Mitarbeitern am Planungsprozess (beispielhaftes Item: „Die Erfahrungen der Meister und Anlagenfahrer werden in der Planung zu wenig berücksichtigt“).

- **Dokumentenanalyse zu den fertig eingerichteten Arbeitsplätzen:** Die Betriebs- und Arbeitsanweisungen sowie - wo vorhanden - die Trainingsmodule wurden inhaltsanalytisch ausgewertet. Dabei interessierte auch, wer sie verfasst hatte und in welchem Umfang sie während des Probebetriebs und des laufenden Betriebs modifiziert wurden.

Unternehmensstichprobe. - Ziel war es, aktuell abgeschlossene Innovationsvorhaben zu untersuchen, die aufgrund von Automatisierungsschritten eine Neugestaltung oder umfangreiche Änderungen der Schnittstelle MAP zum Inhalt hatten. Für unsere Feldstudie wurden 10 Unternehmen ausgewählt. In diesen Unternehmen waren im Untersuchungszeitraum chemische Anlagen entweder neu errichtet oder in solchem Ausmaß modifiziert worden, dass sich die Anforderungen an das sichere Arbeitshandeln der Operateure und die bereitgestellten Arbeitsmittel maßgeblich änderten. Davon waren 9 Planvorhaben mit einer wesentlichen Änderung der Funktionsteilung von Anlagenfahrer und PLS befasst. Der Fragebogen zur Bewertung der realisierten Arbeitssysteme wurde bei jenen sieben Unternehmen eingesetzt, die das Planvorhaben bereits im Untersuchungszeitraum abgeschlossen hatten.

Acht Unternehmen hatten mehr als 500 Beschäftigte, in zwei Fällen betrug die Mitarbeiterzahl zwischen 100 und 499 Beschäftigten. Die Mehrzahl der Unternehmen verfügten über ein überdurchschnittliches AGS-Leistungsniveau und hatten deshalb von ihrer Berufsgenossenschaft einen Beitragsnachlass erhalten. Insgesamt 50 mehrstündige Interviews wurden geführt. An der schriftlichen Befragung nahmen insgesamt 96 betriebliche Akteure teil: acht Planer, sieben Betriebsleiter, sieben Sicherheitsfachkräfte, 21 Schichtmeister bzw. Schichtführer sowie 53 Anlagenfahrer.

4.2 Ergebnisse

Im Folgenden wird dargestellt, wie und in welcher Form die untersuchten Anlagen-



planungen den in Kapitel 2 entwickelten Anforderungen an eine arbeitsschutzorientierte Planung bei der Gestaltung der Schnittstelle MAP gerecht werden. Dabei haben wir bei der Ergebnisdarstellung besonderen Augenmerk auf die Automatisierungsphilosophie (Planung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums) gelegt, die sich konstitutiv sowohl in der Planung der Arbeitstätigkeiten, der Funktionsteilung zwischen Operateur und Prozessleitsystem und der Informationsdarstellung geltend macht. Zunächst werden die Ergebnisse zum Aufgabenspektrum der Operateure wiedergegeben (4.2.1). Im Anschluss daran wird gezeigt, welche (sicherheitsbezogenen) Aufgaben in den untersuchten Anlagen beim Operateur verbleiben und welche Aufgaben automatisiert wurden (Funktionsteilung zwischen Operateur und Prozessleitsystem; 4.2.2). Zum Schluss werden Ergebnisse zur Gestaltung des Informations- und Befehlseingabesystems referiert (4.2.3).

4.2.1 Die Planung der Arbeitstätigkeiten und des Aufgabenzuschnitts

Die Planung der Arbeitstätigkeiten und des Aufgabenzuschnitts bei den konkreten Innovationsvorhaben wird in den folgenden drei Tabellen angezeigt. Diese dokumentieren das Aufgabenspektrum für die Operateure in der Messwarte, wie viele Anlagen gleichzeitig zu betreuen sind und welche Arbeitstätigkeiten die Operateure in der Anlage auszuführen hatten. Das Unternehmen 3 fehlt in dieser Ergebnisdarstellung, da dieses Planvorhaben nur Steuerungen vor Ort und nicht ein übergreifendes PLS oder SPS plante. Tabelle 1 zeigt das Aufgabenspektrum der Operateure in den untersuchten Unternehmen.

Tabelle 2 zeigt auf, wie viele Anlagen der Operateur gleichzeitig bzw. im Wechsel zu steuern und zu überwachen hatte:

- Bei den Unternehmen (4) (7) (9) (10) hat der Messwartenführer zwei Anlagen gleichzeitig zu bedienen/kontrollieren. Davon sind bei (4) die Anlagen bezüglich Aufbau und Funktionsweise gleich, allerdings eine Anlage per PLS, die andere konventionell zu fahren. Bei (7) und (10) handelt es sich um zwei verschiedene Anlagen in der Funktionsweise, bei (10) auch in Bezug auf das Gefahrenpotential. Bei (9) werden mehrere gleichgeartete Anlagen von einem Operateur überwacht.

Tabelle 1: Aufgaben des Operateurs in der Messwarte (U = Unternehmen; „X“ bedeutet „trifft zu“)

	U1	U2	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
Herstellen von Anfahrbedingungen	X	X	X	X	X		X	X	X
An- und Abfahren	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Optimieren von Prozessbedingungen	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Prozessüberwachung	X	X	X	X		X	X	X	X
Störungsdiagnose	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Veranlassung der Störungsbehebung	X	X		X	X	X	X	X	X
Arbeitsdokumentation	X	X	X	X				X	

Tabelle 2: Betreuung von mehreren Anlagen durch den Messwarten-Operateur (U = Unternehmen; „X“ bedeutet „trifft zu“)

	U1	U2	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
Bedienung einer Anlage	X			X	X				
Bedienung von zwei gleichartigen Anlagen (im Wechsel)							X		
Bedienung von zwei verschieden-artigen Anlagen (im Wechsel)		X							
gleichzeitige Bedienung von zwei Anlagen			X			X		X	X

Tabelle 3: Arbeitstätigkeiten des Messwarten-Operateurs in der Anlage (U = Unternehmen; „X“ bedeutet „trifft zu“)

	U1	U2	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
Beschickung per Hand (Additive)				X	X		X		
Kontrollgänge (Routine)	X		X	X	X		X		
Kontrollgänge bei Störung	X	X	X	X	X		X		X
Eingriffe vor Ort, die von der Warte nicht erfolgen können (z.B. Ventilöffnung oder -schließung)	X		X	X	X		X		
Probenahmen	X		X	X			X		
Probeanalysen			X	X					
Beobachtung des Anlagenverschleißes und des Verschleißes von Komponenten				X	X		X		

- Bei (2) und (8) hat der Anlagenfahrer nur eine Anlage zu bedienen, muss aber aus Gründen der Personalplanung alle in der Messwarte gefahrenen Anlagen beherrschen. Diese sind nach Aufbau und Funktionsweise bei (2) verschieden.

Tabelle 3 stellt dar, welche Arbeitstätigkeiten die Operateure während ihrer Steuerungs-, Überwachungs- und Kontrolltätigkeit in der

Anlage „vor Ort“ auszuführen hatten. Überwiegend in der Messwarte (d.h. mehr als 75% Zeitanteil) halten sich die Operateure (im Sinne der Funktion, nicht der Rotation) bei (1) (2) (4) (7) (8) (9) (10) auf. Bei (5) beträgt das zeitliche Verhältnis PLS und Anlage etwa 50% zu 50%, bei (6) etwa 20% am Leitstand gegenüber 80% in der Anlage. Bei (7) und (9) hat der jeweilige Messwarten-Operateur keine Aufgaben im Anlagen-

bereich zu erledigen. Bei (1) (4) und (8) ist der Operateur in der Messwarte für die Kontrolle der Anlage gleichfalls zuständig.

4.2.2 Die Planung der Funktionsteilung zwischen Operateur und Prozessleitsystem

Analyseergebnisse

Eine Vollautomatisierung, bei der alle Funktionen von der Prozesssteuerung über An- und Abfahrvorgänge sowie Lastwechsel allein vom Rechner ausgeführt werden, war bei keinem der 10 Planvorhaben anvisiert. Bei drei der neun PLS-Planvorhaben wurde der Automatisierungsgrad im Vergleich zu den bestehenden Anlagen des Unternehmens unwesentlich erhöht, bei zweien wurde eine Umstellung von konventioneller Schalttechnik auf PLS vollzogen. Den Planungen lagen unterschiedliche Automatisierungs- und Kontrollphilosophien zugrunde. Diese hängen sehr von den Auffassungen über „menschliche Zuverlässigkeit“ ab, d.h. wie sehr das Arbeitshandeln der Operateure als potentielle Fehlerquelle und/oder als Sicherheitsressource betrachtet werden. Drei verschiedene Typen konnten dabei unterschieden werden.

Typ 1: Bei einem Planvorhaben erfolgte die Festlegung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums der Operateure nicht auf Basis eines klar definierten Sicherheitskonzeptes. Zwar sollten - so die Planungsüberlegungen - die Handlungen der Operateure als mögliche Fehlhandlungen prospektiert werden und deren Entscheidungsspielraum durch das Planvorhaben stark reglementiert werden; dies führte aber nicht dazu, ein stimmiges Konzept zu erarbeiten und z.B. riskante Entstörmassnahmen auszuschließen. Vielmehr ergeben sich unter zeitkritischen Bedingungen widersprüchliche Handlungsanforderungen an die Operateure. Nicht verwunderlich ist, dass bei diesem Planungsprozess kaum Gestaltungsüberlegungen erfolgten zur Bildbelegung des PLS wie z.T. der Befehls-eingabe; auch die Qualifizierungsbemühungen und Beteiligungsstrategien waren nur sehr gering ausgeprägt.

Typ 2: Bei zwei Planvorhaben erfolgte die Festlegung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums der Operateure ausschließlich aufgrund von sicherheitstechnischen Gesichtspunkten. Die Eingriffstätigkeiten der Operateure wurden primär unter dem Gesichtspunkt potentieller Fehl-

handlungen prospektiert. Daraus wurde ein Bedienkonzept entwickelt, das die Eingriffsmöglichkeiten auch für Entstörmassnahmen weitgehend minimiert. In der Sicherheitsanalyse wurden zwar mögliche Fehlhandlungen untersucht, nicht aber in Erwägung gezogen, dass der Operateur auch in der Lage sein sollte, eine potentiell fehlerhafte Technik zu kontrollieren.

Typ 3: Bei sechs Planvorhaben wurden explizit Planüberlegungen angestellt und umgesetzt, wie die Operateure durch aktive Eingriffsmöglichkeiten zur Erhöhung des Systemziels Anlagensicherheit beitragen können. Auch hier erfolgte die Festlegung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums der Operateure auf der Basis sicherheitstechnischer Gesichtspunkte, ohne jedoch die Anforderungen an aktive Prozesssteuerung, -beurteilung und -kontrolle zu minimieren. Anfahrvorgänge können bei diesen Anlagen auch auf „Hand“ genommen werden und es ist bis zu einem gewissen Punkt dem Anlagenfahrer überlassen, inwieweit er „auf manuelle Fahrweise geht“.

Vergleicht man die drei Typen hinsichtlich des Kriteriums „Förderung sicheren Arbeitshandelns“, so zeigt sich: Wenn in der Planung Operateure vornehmlich als Fehlerquelle antizipiert werden und ihr Handlungs- und Entscheidungsspielraum (in sicherheitlichen Fragen) weitgehend eingeschränkt werden soll, dann werden eher geringe Anstrengungen unternommen, sicheres Arbeitshandeln durch die Gestaltung eines optimierten Informations- und Eingabesystems zu unterstützen. Darüber hinaus wurden bei diesen Unternehmen Meister und Operateure kaum in den Planungsprozess eingebunden und es waren deutlich geringere Qualifizierungsbemühungen zu verzeichnen als bei Unternehmen, die die Operateure nicht nur als Fehlerquelle, sondern auch als Ressource zur Sicherheitsoptimierung betrachteten.

Bewertung durch die Planungsakteure

Die befragten Planungsakteure (Planer, Betriebsleiter, Arbeitsschutz-Experten und Anlagenmeister) bewerteten es positiv, wenn im Rahmen des Innovationsvorhabens sicherheitskritische Aufgaben, die zuvor in der Verantwortung des Operateurs lagen, auf das PLS übertragen wurden. Dies war in den Augen vieler Befragter mit einem Sicherheitsgewinn verbunden. Wichtig erschien vielen eine klar und eindeutig definierte

Fahrweise, die tendenziell mit einer Einschränkung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums der Operateure verbunden war. Die Mehrzahl der Befragten wiesen jedoch darauf hin, dass die vollständige Verlagerung von Sicherheitsfunktionen auf das PLS „ein Ideal“ sei, das nicht realisiert werden könne. Zur sicheren Beherrschung der Anlage bedürfe es auch der Kompetenzen der Operateure (bei der Störungsdiagnose, bei der Einleitung von Entstörmassnahmen etc.). Bestrebungen, die Operateure von sicherheitsbezogenen Aufgaben auszuschließen, würde diese zudem aus der Pflicht entlassen, einen verantwortungsbewussten Umgang mit den Risiken der Anlage zu pflegen. Diese Frage wurde also durchaus kontrovers diskutiert, als Grundtenor lässt sich ermitteln: System-sicherheit ist letztlich nur dann zu erreichen, wenn sowohl PLS als auch Operateur sicherheitsbezogene Aufgaben übernehmen, jedoch sollten möglichst viele dieser Aufgaben auf das PLS übertragen werden. Dabei gibt es jedoch eng gesteckte Grenzen. Die deutliche Mehrheit der Befragten (78,9 %) meinte, dass die Potentiale der Sicherheitstechnik an der untersuchten Anlage weitgehend „ausgereizt“ seien: Zusätzliche Automatisierungsschritte würden die Sicherheit der Anlage kaum befördern und wären überdies mit nicht zu rechtfertigenden Kosten verbunden. Eine typische Planersichtweise und die Erfahrungen im Zusammenhang mit Automatisierungsschritten gibt folgendes Zitat aus einem der Interviews wieder:

„Als Ingenieur tendiert man dazu, sowenig wie möglich auf Hand fahren zu lassen - vor allem als junger Ingenieur. Als Betreiber nimmt man die Verriegelungen wieder zurück. Die Anlage muss laufen. Sind zu viele Verriegelungen, trauen sich die Leute die Eingriffe nicht mehr zu. Es sollten also nur die sicherheitsrelevanten Sachen verriegelt werden, z.B. sollte bei einer Füllstand-überschreitung die Abschaltung der Pumpe hart verdrahtet sein, damit diese nicht ausgetrickst werden kann. Verloren geht durch die Automatisierung generell das Prozessverständnis. Die Operateure, die die Anlage gefahren sind, als sie noch nicht automatisiert war, kennen sich besser aus in der Anlage. Bei Störungen - z.B. ein Ventil bleibt hängen - wissen diese, was (möglicherweise) vor sich geht. Diese Operateure mit diesem Erfahrungswissen kennen sich auch in den neuen Anlagen besser aus. Sie haben eine bessere Vorstellung davon, was physikalisch passiert, wenn z.B. ein Ventil androsselt.“



4.2.3 Die Gestaltung des Informations- und Befehlseingabesystems

Analyseergebnisse

Überlegungen zur Informationsvermittlung und zur Darstellung der Prozessdaten waren bei allen Planvorhaben planungsmanent und wurden von der Abteilung PLT bzw. Hersteller der PLT/PLS gemeinsam mit dem Betriebsleiter bzw. den Operateuren durchgeführt. Große Unterschiede jedoch gab es hier bezüglich des Stellenwerts, der dieser Gestaltungsaufgabe eingeräumt wurde.

Präsentation des Prozessgeschehens. - Vor allem jene Unternehmen, die mit der Neueinführung bzw. dem Wechsel des PLS befasst waren, führten Alternativerörterungen (rein textuelle Darstellung versus Visualisierung; wie soll die Visualisierung gestaltet werden? etc.) durch. Insgesamt wurde eine Alternativerörterung bei fünf Planvorhaben durchgeführt. Bei allen untersuchten Planvorhaben wurde bei der Auswahl der Farben und Symbole darauf geachtet, Eindeutigkeit und Erwartungskonformität zu wahren. Die Gestaltung der Farbsymbolik nach Stereotypen ist im Prinzip bei allen Unternehmen durchgesetzt; allerdings zeigte sich, dass v.a. bei späteren Änderungen (z.B. während der Inbetriebnahme) Stereotypen nicht eingehalten werden. So kam es in zwei Fällen vor, dass die Rot-Darstellung eines Ventils, die eine Störung anzeigen sollte, auch dann noch beibehalten wurde, als diese Ventilstellung gar nicht mehr eine Störung bedeutete.

Gestaltung des Alarmsystems. - Bezüglich der Alarmhierarchie wurde verschiedene

Planüberlegungen angestellt. Bei sechs der neun PLS-Projekte wurde darauf hingewirkt, eine Alarmhierarchie durch optische und akustische Signale herzustellen bzw. eine vorhandene zu optimieren. Allerdings haben nur vier Planvorhaben eine Differenzierung innerhalb der Alarmierung selbst eingeführt, die zwischen sicherheitskritischen Überschreitungen von Prozessparameter und produktkritischen Überschreitungen innerhalb der Alarmhierarchie unterscheidet. Eine sicherheitskritische Bedingung stellt die Gestaltung der Alarmierung bei drei Planvorhaben dar. Das Alarmierungs-System unterscheidet in keiner Weise zwischen kritischen Alarmen und bedienungsrelevanten Signalen (weder akustische noch optische Differenzierung) bzw. ist hierin uneindeutig (Grenzwerte, die in der Phase „Inbetriebnahme“ modifiziert wurden, wurden nicht im Prozessbild entsprechend geändert). Bei zwei Planvorhaben wird diese sicherheitskritische Bedingung durch ein klares und eindeutiges (fehlertolerantes) Not-Aus-Konzept relativiert.

Gestaltung der Befehlseingabe. - Ziel der Gestaltungsüberlegungen war es in erster Linie, Verwechslungen (z.B. beim Stoffeinzug) zu vermeiden, z.B. durch Sicherungsmaßnahmen gegen unbeabsichtigte Betätigung und gegen Unaufmerksamkeit. So müssen in diesen Fällen die Operateure abgeschlossene Sequenzen bei vorgegebener Steuerung quittieren, dies stellt eine aktive Prozessbeobachtung sicher. Planungsmängel konnten bei zwei Planvorhaben festgestellt werden, in einem Falle gravierender Natur: Die Gestaltung der Befehlseingabe (Bedienpult per Tastatur) wurden dem PLS-Hersteller überlassen, was eine mangelhafte Anordnung der Bedientasten (keine sinnfällige

Gruppierung) zur Folge hatte. Dadurch wurden - wie Operateure und Meister bestätigten - Verwechslungen erleichtert.

Tabelle 4 gibt Analyseergebnisse zur Gestaltung von Informations- und Befehlseingabesystem wieder, die im Rahmen der sechs FSD-Analysen ermittelt wurden.

Bewertung durch die Planungsakteure

Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie Fehlertoleranz der Technik. - Tabelle 5 zeigt, wie die Planungsakteure und Operateure aller beteiligten Unternehmen die Gestaltungslösungen bewerteten. Besonders wichtig erscheinen folgende Ergebnisse:

- Die Bedieneingabe wurde überwiegend als nicht wesentlich optimiert beurteilt, so war die Möglichkeit von Bedienfehlern nach Auskunft der Mehrheit der Befragten nach wie vor gegeben.
- Dem Item: „Im Unterschied zu früher sind mitunter zu viele Informationen zu verarbeiten“ stimmten 27,4 % ziemlich bzw. völlig und 23,2 % teilweise zu.
- Die Softwareunterstützung in kritischen Situationen wurde insgesamt eher positiv beurteilt.

Unterschiede zwischen Planern/Betriebsleitern und Meistern/Operateuren. - Bei einer Reihe von Fragen zeigten sich deutliche Unterschiede im Antwortverhalten der befragten Zielgruppen (Planer, Betriebsleiter, Arbeitsschutzexperten, Meister und Operateure), die wir im Rahmen der Auswertung inferenzstatistisch untersuchten. Die bedeutsamsten Unterschiede gab es zwischen der Gruppe der Betriebsleiter und Planungsingenieure - sozusagen den Hauptakteuren von Planungsprozessen - einerseits und den Meistern und Operateuren - also den Hauptbetroffenen von Planungsprozessen - andererseits. Im Folgenden werden solche systematischen und - statistisch - bedeutsamen Unterschiede erläutert.

- Möglichkeit von Bedienfehlern: Ein Item des Fragebogens lautete: „Die Anlage ist jetzt so gestaltet, dass Bedienungsfehler praktisch nicht mehr vorkommen können“. Tabelle 6 zeigt das Antwortverhalten von Meistern/Operateuren einerseits und Planungsingenieuren/Betriebsleitern andererseits. Unter den Meistern und Anlagenbedienern lehnten

Tabelle 4: Analyseergebnisse zur Qualität der Gestaltung des Informations- und Befehlseingabesystems

	Gestaltung der Informationsdarstellung	Gestaltung der Befehlseingabe
Unternehmen 1	unübersichtlich, da zu viele Daten angezeigt werden; keine Prozesspräsentation; eindeutige Alarmhierarchie	mangelhafte Gruppierung der Bedientasten und deren Codierung
Unternehmen 2	nicht eindeutige Farbgebung; mangelhafte Prozesspräsentation; keine Alarmhierarchie	mangelhafte Gruppierung der Bedientasten
Unternehmen 4	sinnfällig und eindeutig	sinnfällig und eindeutig
Unternehmen 5	sehr klare Prozesspräsentation; eindeutige Alarmhierarchie	sinnfällig und eindeutig
Unternehmen 6	klare Prozesspräsentation; eindeutige Alarmhierarchie	sinnfällig und eindeutig
Unternehmen 8	mangelhafte Sicht auf das System; uneindeutige Alarmhierarchie	sinnfällig und eindeutig



	„Stimmt kaum bzw. gar nicht“	„teils/ teils“	„stimmt ziemlich bzw. stimmt völlig“	keine Angabe
„Die Anlage ist jetzt so gestaltet, dass Bedienungsfehler praktisch nicht mehr vorkommen können“	31,5	38,9	28,4	1,1
„Im Unterschied zu früher sind mitunter zu viele Informationen zu verarbeiten“	46,3	23,2	27,4	3,2
„Die Anlagenfahrer werden bei kritischen Situationen von der Software gut unterstützt“	11,6	33,7	52,6	2,1

Tabelle 5: Sicherheitsrelevante Aspekte der Arbeitstätigkeit der Anlagenfahrer nach Realisierung des Innovationsvorhabens aus der Sicht von Planungsakteuren und Operateuren aller beteiligten Unternehmen (n=95) (Angaben in Prozent)

deutlich mehr Probanden die Aussage ab (29) als ihr zustimmten (13). Bei der Vergleichsgruppe war es umgekehrt. Überwiegend stimmten Planer und Betriebsleiter dem Item zu, kein einziger bezweifelte es. Für die Mitarbeiter vor Ort sind Bedienfehler also signifikant selte-

ner ausgeschlossen als für die Planungsverantwortlichen (χ^2 ; $p=0.001$).

- Software-Unterstützung: Signifikante Unterschiede gab es auch bei der Frage, ob Anlagenfahrer in kritischen Situationen von der Software gut unterstützt werden (χ^2 ; $p=0.001$). Wengleich die Softwareunterstützung von beiden Gruppen insgesamt eher positiv beurteilt wurde, so fällt auf, dass mehr als die Hälfte der „vor Ort-Mannschaft“ (57,1%) dem Item nicht oder nur teilweise zustimmte, hingegen nur einer von 16 aus der Gruppe der Betriebsleiter und Planer (siehe Tabelle 7).

Tabelle 6: Möglichkeit von Bedienfehlern aus der Sicht verschiedener Funktionsträger (absolute Angaben; n = 87)

„Möglichkeit von Bedienfehlern an der neu oder umgestalteten Anlage praktisch nicht mehr gegeben“	Meister und Operateure	Planer und Betriebsleiter
„Stimmt kaum“ bzw. „stimmt gar nicht“	29	0
„Teils / teils“	30	6
„Stimmt ziemlich“ bzw. „stimmt völlig“	13	9

Tabelle 7: Qualität der Software-Unterstützung aus der Sicht verschiedener Funktionsträger (absolute Angaben; n = 86)

„Anlagenfahrer werden bei kritischen Situationen von der Software gut unterstützt“	Meister und Operateure	Planer und Betriebsleiter
„Stimmt kaum“ bzw. „stimmt gar nicht“	11	0
„Teils / teils“	29	1
„Stimmt ziemlich“ bzw. „stimmt völlig“	30	15

5 DISKUSSION

Ziel der empirischen Untersuchung von 10 chemischen Anlagenplanungen war es, betriebliche Planungsprozesse unter dem Gesichtspunkt einer sicherheitsoptimierten Gestaltung der Schnittstelle Mensch/Anlage/Prozess zu analysieren, wobei vor allem solche Planungsprojekte in die Untersuchung einbezogen wurden, die mit der Umstellung von konventioneller Steuerung auf PLS bzw. mit erheblichen Änderungen bei der Gestaltung des Informationssystems und der Befehlseingabe befasst waren. Auch wenn die Auswahl der Unternehmen und Planvorhaben nicht repräsentativ sein konnte - dafür war die Anzahl von 10 Planvorhaben zu klein - konnten doch typische betriebliche Vorgehensweisen und Einstellungsmuster der Planungsakteure und betrieblichen Akteure ermittelt werden (vgl. Stadler & Beer 2001).

- Die Planung der Funktionsteilung zwischen Anlagenfahrer und Prozessleitsystem - und damit die Festlegung des Handlungs- und Entscheidungsspielraums der Anlagenfahrer hängt wesent-

lich von der im Unternehmen vorherrschenden Automatisierungs- und Kontrollphilosophie ab. Die größten Planungsmängel wurden bei jenem Unternehmen festgestellt, das sich bei der Kollision zwischen wirtschaftlicher und sicherheitlicher Verfügbarkeit der Anlage nicht eindeutig für die Sicherheit entschied, Mängel bei elementaren sicherheitstechnischen Vorkehrungen wie Not-Aus-System und Alarmierung aufwies und entsprechend widersprüchliche Handlungsanforderungen an die Operateure vorsah.

- Eine wichtige Rolle spielte bei den Planüberlegungen die Einschätzung der „menschlichen Zuverlässigkeit“. Werden in der Planung die Operateure vornehmlich als Fehlerquelle antizipiert und werden von daher technikzentrierte Planstrategien verfolgt, werden eher geringe Anstrengungen unternommen, sicheres Arbeitshandeln durch die Gestaltung eines optimierten Informations- und Eingabesystems zu unterstützen. Darüber hinaus waren bei diesen Unternehmen geringe Qualifizierungs- und Beteiligungsbemühungen zu verzeichnen. Anders bei jenen Unternehmen, die Planüberlegungen anstellen, wie die Operateure durch aktive Eingriffsmöglichkeiten zur Erhöhung des Systemziels Anlagensicherheit beitragen können. Die Gestaltung des Informationssystems und Eingabesystems (vor allem die Prozesspräsentation und Not-Aus-System) wurde unter Einbezug der Anlagenmeister erarbeitet, um der Perspektive der Anlagenbediener zu entsprechen. Dabei bestätigten sowohl die ermittelten Planungsmängel als auch die aufgespürten „good practices“ die Wichtigkeit von Gestaltungsüberlegungen, die Maß an den geforderten Wahrnehmungs-, Beurteilungs- und Entscheidungsleistungen der Operateure nehmen.
- Wichtige Aufschlüsse über die Gestaltung der Schnittstelle MAP ergab der Einsatz des Fragebogen „Planung sicheren Arbeitshandeln“ an den realisierten Planvorhaben. Es zeigte sich eine deutliche Differenz zwischen Bedienerperspektive und der Perspektive der Planungsverantwortlichen. Die Einschätzungen der Betriebsleiter und Planer könnte man pointiert so zusammenfassen: Die Arbeitsanforderungen (Aufgabenschnitt und Anforderungen an Gefahrenkontrolle und Gefahrenmanagement) sind angemessen, sicheres Arbeitshandeln -



nicht zuletzt durch die gelungene Arbeitsgestaltung bzw. Sicherheitstechnik - gewährleistet. Dies wird in wichtigen Teilen von den Mitarbeitern vor Ort in Frage gestellt. Für die Operateure sind hohe Anforderungen mit der sicheren Beherrschung der Anlage verbunden, was die Informationsaufnahme, die gleichzeitige Erledigung von Arbeiten und die Vermeidung von Bedienfehlern anbelangt. Überdies wird vielfach darauf verwiesen, dass nun weniger Zeit verbleibe, sich in kritischen Situationen mit Kollegen zu beraten. Entscheidend für die Sicherheit der Anlage sind aber nicht allein die Einschätzungen der professionellen Planer und Betriebsleiter - letztlich sind es die Operateure, die für die Sicherheit der Anlage tagtäglich gerade stehen müssen. Und wenn diese der Meinung sind, die Schnittstellengestaltung sei deutlich optimierungsfähig, dann ist dies ernst zu nehmen und ggf. zu verbessern.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Anlagenplanungen, die nur die „technische Seite“ präventiv berücksichtigen und den Operateur nicht als „Sicherheitsressource“ aktiv einbeziehen, Defizite bei der Arbeitsmittelgestaltung sowie bei planungsbegleitenden personellen und organisatorischen Maßnahmen aufweisen. Offenbar führt dieses Planungsverständnis zu dem Schluss - und der falschen Sicherheit -, verhaltensbezogene Überlegungen - sowohl in der Gestaltung des Informationssystems als auch bei der Qualifizierung und Planungsbeteiligung - tendenziell für „überflüssig“ zu erachten mit der Folge, dass die Bedingungen für sicheres Arbeitshandeln unzureichend gestaltet werden. Da die Operateure die Bediensicherheit der realisierten Arbeitssysteme deutlich kritischer bewerten als die professionellen Planer, erscheint eine verbesserte Integration sowohl von Arbeitsschutzexperten wie auch der Operateure bei der Planung und Gestaltung der Schnittstelle MAP notwendig, um eine einheitliche arbeitsschutzorientierte Kontrollphilosophie herzustellen. Ein Planungsmittel hierfür stellt der aus diesem GAMAGS-Projekt resultierende Leitfaden „Förderung sicheren Arbeitshandeln bei der Anlagenplanung. Leitfaden für Planer und Arbeitsschutz-Experten“ dar.

Gleichwohl bleibt weitergehender Forschungsbedarf, um eine sicherheitsbewusste und arbeitsschutzorientierte Gestaltung der komplexen - weil technologisch laufend „revolutionierten“ - Schnittstelle MAP zu planen: Wie lassen sich die Hersteller von PLS besser in den konkreten Planungsprozess

einbeziehen? Welche Kontrollphilosophien fließen bei diesen in ihren technologischen Fortentwicklungen ein? Wie lassen sich Risikoanalysen in der Planung dafür nutzen, „menschliche Fehler“ zu antizipieren, aber auch den Operateur in seiner Rolle als „Sicherheitsressource“ zu stärken? Hier sind weitere anwendungsbezogene Beiträge der Arbeitswissenschaft in ihrem interdisziplinären Bestand gefordert.

LITERATUR

Böhle, F.; Rose H.: Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen. Frankfurt a. M. (Campus) 1992

Bubb, H. (Hrsg.): Menschliche Zuverlässigkeit. Landsberg (Ecomed) 1992

Bubb, H.; Dörfel, G.: Maßnahmen gegen zufällige Fehler. Aus: Bubb, H. (Hrsg.): Menschliche Zuverlässigkeit. Landsberg (Ecomed) 1992

Bubb, H.; Seifert, R.: Zusammenhänge. Aus: Bubb, H. (Hrsg.): Menschliche Zuverlässigkeit. Landsberg (Ecomed) 1992

Bundesanstalt für Arbeitsschutz: Fragenkatalog zum Schutz der Beschäftigten bei Sicherheitsbetrachtungen nach Störfallverordnung. Dortmund (Bundesanstalt für Arbeitsschutz) 1991

Epple, U.: Die leittechnische Anlage und ihre Elemente: Prozessleitsysteme. Aus: Polke, M. (Hrsg.): Prozessleittechnik. München, Wien (R. Oldenbourg) 1994. S.453-534

Hacker, W.: Psychologische Bewertung von Arbeitsgestaltungsmassnahmen. Berlin, Heidelberg, New York (Springer) 1984

Hauptmanns U. & Rodriguez, J.: Untersuchungen zum Arbeitsschutz bei An- und Abfahrvorgängen von Chemieanlagen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1994

Heim, M., Ingendahl, N. & Polke, M.: Mensch-Prozess-Kommunikation. In M. Polke (Hrsg.), Prozessleittechnik (S. 679-716). München, Wien: R. Oldenbourg 1994

Hoyos, C. Graf; Ruppert, F.: Der Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose FSD. Bern, Göttingen, Toronto (Huber) 1993

Kern, H.; Schumann, M.: Das Ende der Arbeitsteilung. München (Beck) 1984

Grote, G.; Künzler, C.: Sicherheitskultur, Arbeitsorganisation und Technikeinsatz. Zürich (vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich) 1996

Mutz, W.; Polke, M.: Leittechnische Räume und Wartendesign. Aus: Polke, M. (Hrsg.): Prozessleittechnik. München, Wien (R. Oldenbourg) 1994. S.653-670

Normengemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie (NAMUR): PLT-Räume. Arbeitsblatt 26 1991

Normengemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie (NAMUR): Anlagensicherheit mit Mitteln der Prozessleittechnik. Arbeitsblatt 31, Version Januar 1993

Polke, M. (Hrsg.): Prozessleittechnik. München, Wien (R. Oldenbourg) 1994

Reichart, G.; Bubb, H.: Personelle und organisatorische Maßnahmen. Aus: Bubb, H. (Hrsg.): Menschliche Zuverlässigkeit. Landsberg (Ecomed) 1992. S. 155-168

Rulla, H.D.; Schäfer, U.: Betriebsmanagement für Chargenprozesse. In: Automatisierungstechnische Praxis, Jg.1995, H.37, S.49-54

Stadler, P.; Beer, B.: Förderung sicheren Arbeitshandeln bei der Anlagenplanung. Leitfaden für Planer und Arbeitsschutz-Experten. München (Eigen- druck, DIAGNOSE & TRANSFER) 1999

Stadler, P.; Beer, B.: Integration von Arbeits- und Gesundheitsschutzziele in betriebliche Planungsprozesse - Förderung sicheren Arbeitshandeln bei der Projektierung chemischer Anlagen. Abschlussbericht des mit Mitteln des BMBF unter dem Förderkennzeichen 01 HK 303/8 geförderten Forschungsprojektes. München (Eigen- druck: DIAGNOSE & TRANSFER) 1998

Stadler, P.; Beer, B.: Die betrieblichen Planungsprozesse. In B. Zimolong & G. Elke (Hrsg.), Ganzheitliches Management des Arbeits- und Gesundheitsschutzes GAMAGS. Die erfolgreichen Strategien der Unternehmen (S.105-140). Wiesbaden: Gabler 2001

Windel, A.; Zimolong, B.: Bewertungsinstrument zur menschlichen Gestaltung von Leitwarten. Minden (J.C.C. Bruns Marketing und Druck) 1996

Zimolong, B.; Dörfel, G.: Ursachen und Klassifizierung menschlicher Arbeitsfehler. Aus: Bubb, H. (Hrsg.): Menschliche Zuverlässigkeit. Landsberg (Ecomed) 1992. S. 81-83

ANSCHRIFT DER VERFASSER

Dr. Brigitte Beer

Dr. Peter Stadler

DIAGNOSE & TRANSFER

Institut für Angewandte Psychologie

Thalkirchner Straße 76

80337 München