Kap. 14 Prozessindustrie

Günter Horn und Kristina Lauche

Die chemische Industrie sowie der Energiesektor (Atomenergie, Öl- und Gasindustrie) unterscheiden sich vor allem durch ihren Prozesscharakter von anderen Branchen: Eine Reaktion wird angestoßen, die sich ohne weiteres menschliches Zutun weiter fortsetzt und deren Verlauf lediglich überwacht wird. Dabei kann es verzögerte Effekte geben, die für Menschen schlecht einzuschätzen sind und die zu Übersteuerungen führen können, wie dies Dörner und Kollegen an Hand von Simulationen wie “Lohhausen” darstellen konnten (Dörner, Kreuzig, Reither, & Stäudel, 1983). Die Prozessindustrien sind außerdem relativ stark automatisiert, hauptsächlich aus Effizienzgründen, aber auch um Menschen nicht unmittelbar gefährlichen Substanzen auszusetzen. Nur selten steht dabei eine menschengerechte Arbeitsgestaltung im Vordergrund, und so bleiben meist "Restarbeitstätigkeiten“ mit Überwachungsfunktion für den menschlichen “Bediener”, der oder die dann retten soll, was vorher nicht oder nur fehlerhaft programmiert werden konnte (Bainbridge, 1983). Das bedeutet, dass der Systemzustand nicht immer einfach einzuschätzen ist, sondern aus einer Vielzahl von Sensoren-Messwerten und Alarmsignalen ermittelt werden muss. Damit finden alle in den bisherigen Kapiteln diskutierten Human Factors Aspekte Anwendung. Zur begleitende Lektüre werden insbesondere Kap. 1 Sicherheit, Kap. 4 Wahrnehmung sowie Kap. 18 Automation und Systemgestaltung empfohlen.

Eine weiteres Kennzeichen von Prozessindustrien ist, dass ihr Gefahrenpotential nicht nur die eigenen Mitarbeiter und auch nicht nur aktive Nutzer betrifft wie z.B. in der Flugbranche, sondern auch Anwohner und im Falle von Katastrophen wie dem Reaktorunglück in Tschernobyl auch Nachbarstaaten. Viele Bereiche in diesen Industrien sind durch Risiken mit geringer Auftretenswahrscheinlichkeit, aber hohem Schadenspotenzial gekennzeichnet. Ein einziger Funke, ein falsch eingesetztes Ventil, eine unsachgemäße Übergangslösung können bei enger Kopplung von Systemelementen (Perrow, 1984) Kettenreaktionen auslösen, die im Extremfall ganze Landstriche verwüsten können. Das Auftreten und Ausmaß solcher Katastrophen durch ein geeignetes Sicherheitsmanagement zu verringern, ist daher nicht nur im ökonomischen Interesse des Betriebes, sondern auch eine Verpflichtung gegenüber den Angestellten und Anwohnern. Dazu gehört auch Öffentlichkeitsarbeit, um eine Vertrauensbasis für die getroffenen Vorkehrungen zu etablieren und im Krisenfall die Kommunikation mit Anrainern und der Presse proaktiv zu managen. Die meisten Unternehmen in der chemischen und Öl-& Gasindustrie sind außerdem privat geführt und operieren nach den Gesetzen der Marktwirtschaft. Die öffentliche Kontrolle und Zugänglichkeit von Unfallanalysen hat sich erst in den letzten Jahren gebessert. Während Perrow (1984) noch den Mangel an Berichten und die Unzugänglichkeit von Betrieben in der Prozessindustrie kritisierte, geben mittlerweile zum Beispiel das Bundesamt für Strahlenschutz oder die europäische Datenbank MARS (Major Accident Reporting System) Auskunft über Vorfälle. Beide geben jedoch nur summarische Informationen und wenig Anhaltspunkte zu Human Factors – außer dass „Fehler des Personals“ oder „irrtümliches Betätigen eines Steuerventils“ zum Ereignis beigetragen haben oder dass von 603 Unfällen in MARS 246 u.a. auf menschliche Ursachen zurückzuführen sind, erfährt man wenig. Eine Ausnahme bilden die Berichte des US Chemical Safety and Hazards Investigation Boards, die ähnlich detailliert und hintergründig wie in der Luftfahrt Unfallhergang und –ursachen aufschlüsseln und in ihrer gesamten Länge öffentlich zugänglich sind. Die Erfahrung der Autoren ist jedoch, dass Hintergründe zu Human Factors Problemen oft nur im Vertrauen und nur an Insider weitergegeben werden.

Dieses Kapitel bündelt arbeitspsychologische Forschungsergebnisse aus der Prozessindustrie sowie persönliche Erfahrungen der Autoren und versucht, Herausforderungen für die Zukunft zu formulieren. Der Schwerpunkt liegt dabei nicht auf technischen Sicherheitsvorkehrungen oder ergonomischer Gestaltung (siehe dazu z.B. Salvendy, 2006), sondern auf psychologischen und organisatorischen Aspekten. Bei der Auswahl des Materials ging es uns insbesondere um die Verantwortung des Managements, Arbeitsbedingungen zu schaffen, die es den Mitarbeitenden ermöglichen, sicher und

kompetent zu handeln. Dazu sollen Beispiele gegeben und Interventionsmöglichkeiten herausgestellt werden.

Beispiel Start

In einem Chemiepark kam es zum Austritt einer größeren Menge Natronlauge, die in den angrenzenden Fluss gelangte. Im Betrieb wurde ein pH-Alarm ausgelöst, wobei es dank der großen Wasserführung zu keinen Umweltschäden kam. Ein Mitarbeiter hatte die Befüllung des Tanks eingeleitet und dazu das Befüllventil sowie den nur für Wartungsarbeiten vorgesehenen Umgang (Bypass) geöffnet. Dies war zwar per Betriebsanweisung nicht erlaubt, aber im Betrieb gängige Praxis. Der Durchgangskoeffizient des Ventils war so klein, dass der Befüllvorgang sehr lange dauerte. Deshalb hatte es sich eingebürgert, zu Beginn des morgendlichen Rundgangs den Umgang zusätzlich zu öffnen und am Ende des Rundgangs nach ca. 20 min manuell zu schließen. Das Befüllventil schloss sich dann nach Erreichen des Hochstands automatisch. Dieser bewusste Verstoß wurde als kalkulierbares Risiko gesehen, da der Betriebsführer nicht von der Notwendigkeit überzeugt werden konnte, das Befüllventil gegen ein solches mit größerem Durchgangskoeffizienten auszutauschen. Außerdem wäre ein Ventilwechsel mit einem komplizierten Verwaltungsvorgang mit allen Betrieben im Chemiepark verbunden, die an derselben Natronlauge-Ringleitung angeschlossen sind.

Der Mitarbeiter, der den Befüllungsvorgang eingeleitet hatte, musste unerwartet einem Kollegen bei der Behebung einer Verstopfung helfen und wurde so längere Zeit aufgehalten. Dadurch wurde beim Erreichen des Hochstands das Befüllventil über die Automatik zwar geschlossen, der Umgang blieb aber weiterhin geöffnet und es lief weiterhin Natronlauge unkontrolliert in den Tank. Der Hochstandsalarm lief kurze Zeit später in der Messwarte ein, diese war aber zu dieser Zeit nicht besetzt. Beim Überlaufen des Natronlaugetanks über die Entlüftungsleitung lief die Natronlauge über die Tanktasse in den Kanal für Kühl- und Regenwasser. Hier kam es sofort zum pH-Alarm, der im gesamten Betrieb angezeigt wurde.

Der Mitarbeiter, der durch seine Hilfestellung beim Kollegen seinen Rundgang in der normal üblichen Zeit von 20 Minuten nicht beenden konnte, begab sich sofort in die Messwarte. In diesem Betrieb gab es für viele nicht bestimmungsgemäße Betriebszustände detaillierte Checklisten, deren Benutzung und Abarbeitung der Betriebsführer mit allem Nachdruck einforderte aus Misstrauen gegenüber seiner Betriebsmannschaft. Der Mitarbeiter beeilte sich also, die vorgegebene Checkliste für den Fall „pH-Alarm“ zu holen, um sie schnellstmöglich abzuarbeiten. Dabei vergaß er ganz und gar, dass er den Umgang noch nicht geschlossen hatte. Erst als er auf der Checkliste den Punkt „Natronlaugetank“ las, erinnerte er sich an den noch offenen Umgang. Zu diesem Zeitpunkt war jedoch schon eine unkontrollierte Menge Natronlauge abgeflossen und hatte den pH-Alarm ausgelöst. Der Vorfall führte zu einer Stilllegung des Produktionsbetriebes sowie einer Ermittlung der Staatsanwaltschaft gegen den Betriebsführer wegen Wasserverschmutzung. Die Produktion durfte erst nach Umsetzung eines Maßnahmenkatalogs aufgenommen werden.

Beispiel Stop

Das Beispiel zeigt einige typische Probleme in der Prozessindustrie, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll:

1. Die Mitarbeiter im Beispiel führen Überwachungstätigkeiten in einem teilautomatisierten System aus, was bedeutet, dass sie sich stets bewusst sein müssen, in welchem Systemzustand sich die Anlage befindet.. Wird eine Handlung unterbrochen - wie hier durch die nicht vorhersehbare Hilfestellung, - kann es passieren, dass eine Routinehandlung nicht wie gewohnt abgeschlossen wird und die Erinnerung an “Umgang schließen" nicht im Absichtsgedächtnis überdauert. Ein solches sozio-technisches System setzt perfekte Menschen und keinerlei Schwankungen und Störungen voraus; beides ist unrealistisch.
2. **Checklisten** und Standardprozeduren können helfen, ersetzen aber das Denken nicht: Der Mitarbeiter hatte sich beim pH-Alarm um die Ursachenfindung gemäß Checkliste bemüht. Auf dieser Checkliste stand der Natronlaugetank jedoch ganz unten, da die Wahrscheinlichkeit für eine Überfüllung als sehr gering erachtet wurde. Hätte er selbst nachgedacht, wäre ihm die

unterbrochene Handlung möglicherweise früher wieder eingefallen. Hätte der Betriebsführer beim Erstellen der Checkliste von der Betriebspraxis des zusätzlich geöffneten Umgangs gewusst, hätte er diesem Fall mehr Bedeutung beimessen können.

3. Auslöser für diesen Vorfall war das unzulässige Öffnen des Umgangs. Meistens sind solche **bewussten Übertretungen** (*violations*) nicht böswillige Sabotageakte, sondern entstehen - wie hier - aus dem Versuch der Mitarbeiter, effizienter zu arbeiten und ein umständliches Verfahren abzukürzen, um so dem wahrgenommenen Produktionsdruck nachzukommen. .
4. Aus dem Verstoß gegen Sicherheitsregeln, dem wenig geeigneten Ventil und der verzögerten Reaktion auf den Alarm zeigt sich, dass es dem Management nicht gelungen ist, eine Arbeitsatmosphäre herzustellen, in der Sicherheit vorgeht und kompetente Mitwirkung geschätzt wird. In diesem Fall war der Betriebsführer für seinen patriarchalischen Führungsstil bekannt: Er traute seinen Mitarbeitern keine eigenständigen kompetenten Handlungen zu und versuchte stattdessen, für alle Eventualitäten eine Vorschrift zu bedenken. Das Management sah aber wegen der bevorstehenden Pensionierung des Betriebsführers keinen Handlungsbedarf. Diese latenten Faktoren werden hier als Führungsaufgaben und unter dem Begriff **Sicherheitskultur** thematisiert.

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Sicherheit in chemischen Anlagen deutlich verbessert. Dies geschah durch konsequente Aufrüstung der Technik, sowohl auf der verfahrenstechnischen Seite als auch bei der Prozesstechnik, wo mit Mess- und Regelungstechnik so genannte intelligente Systeme konzipiert und aufgebaut wurden. Weitere technische Verbesserungen erhöhen die Zuverlässigkeit des Systems nur geringfügig, da der technische Grenznutzen erreicht ist. Analysiert man heutzutage Betriebsstörungen, Chemieunfälle und Störfälle, findet man viele Hinweise auf menschliche Einflüsse auf der ausführenden und planenden Ebene.

Dieses Kapitel diskutiert mögliche Zugänge zu Human Factors in der Prozessindustrie. Zunächst wird die Rolle von tragischen Störfällen für die Modellbildung und das Lernen aus Fehlern erörtert. Davon ausgehend werden im zweiten Abschnitt exemplarisch einige Einflussfaktoren und Interventionsmöglichkeiten diskutiert: die individuelle Risiko- und Situationswahrnehmung, Trainings für Führungskräfte und zu Krisenmanagement, sowie Sicherheitskultur. Abschließend werden Perspektiven für die weitere Entwicklung aufgezeigt.

1 Lernen aus Störfällen

Wie in den meisten Industrien waren es größere Betriebsstörungen, die das Bewusstsein für den Beitrag von menschlichem Verhalten zur Systemsicherheit schärften. Zu den großen Katastrophen, die auch für andere Branchen zu Meilensteinen wurden, gehören der Chemieunfall in Bhopal 1984, bei dem 2500 Menschen durch giftiges Gas umkamen, und der Reaktorunfall zu Tschernobyl 1986, der je nach Schätzung zwischen 56 und 7000 Menschen das Leben kostete und in einer ganzen Region auf unabsehbare Zeit die Krebserkrankungen steigen ließ. Da Betroffenheit viel mit der Nähe zum Ereignis zu tun hat, sind es oft nationale Ereignisse, die den Beginn einer Diskussion über Human Factors einläuteten: So beziehen sich in der Ölindustrie die Norweger auf die 1980 umgestürzte Plattform Alexander Kielland (123 Tote) und die Briten auf die Explosion der Piper Alpha Plattform 1988 (167 Tote). Das Unglück rüttelte die ganze Industrie auf, die sich bis dahin vor allem an höherer Produktivität orientiert hatte. Sowohl Firmen als auch Gewerkschaften und Behörden starteten Initiativen, um Sicherheit zum Thema Nr. 1 zu machen. In der chemischen Industrie in Deutschland waren es vor allem die Störfälle in den Werken Griesheim und Höchst in den 1990er Jahren, die ein Umdenken einleiteten. Der Fokus liegt jedoch meist auf sicherem Verhalten des Einzelnen am Arbeitsplatz, d.h. es werden Trainings und Interventionen eingesetzt, die auf Kenntnis der Risiken und Konsequenzen sowie auf Motivation abzielen. Erst in den letzten Jahren beginnt man verstärkt, die mehr systemischen und organisatorischen Faktoren zu untersuchen und anzugehen.

1.1 Modellbildung anhand von tragischen Einzelfällen

Grosse Katastrophen sind glücklicherweise selten. Für die Forschung bedeutet dies allerdings, dass sich wenig Aussagen mit statistischen Mitteln treffen lassen: das Zusammentreffen aller Faktoren, die

den Unfall mit verursacht haben, ist immer sehr unwahrscheinlich, und die meisten Arbeitsstunden werden ohne Schaden für Mensch und Umwelt absolviert. Es gibt zwei Ansatzpunkte: erstens kann man aus den tragischen Einzelfällen lernen und so Modelle formulieren, welche Faktoren eine Rolle spielen. Zweitens lassen sich Beinahe-Unfälle und schwache Anzeichen (*weak signals, leading indicators*) erfassen, die auf Schwachstellen hinweisen können, bevor es zum Unfall kommt. Zum ersten Ansatz gehören die Modelle von Perrows Theorie der normalen Unfälle (Perrow, 1984, 1999) und Reasons Modell der latenten Versagensfaktoren (Reason, 1987; Reason, 1997). Perrows Beitrag für die Prozessindustrie liegt in der Einsicht, dass Störungen und Schwankungen unvermeidlich sind und es in komplexen und eng gekoppelten Systemen immer wieder zu Unfällen kommen wird, weil diese Störungen und Schwankungen nicht anders abgefangen werden können. Daher gilt es, Industrieanlagen so zu gestalten, dass Interventionen und Entkopplung möglich sind. Reason (1997) wies auf latente Unfallursachen wie Personalführung, Vorschriften und Organisationskultur hin (siehe zu beiden Theorien Kap. 2).

1.2 Trendanalyse mithilfe von leading indicators

Der zweite Ansatz, aus den Fehlern der Vergangenheit zu lernen und auch kleinen Anzeichen nachzugehen, wurde u.a. von der Chemiefirma DuPont propagiert und wird heute auch als Safety Training Observation Program (STOP) für andere Firmen angeboten. Mit Hilfe von einfachen Checklisten (so genannten STOP-Karten) werden Beobachtungen zur Arbeitssicherheit erfasst, an die beteiligten Personen rückgemeldet und zusätzlich systematisch ausgewertet. Neben dem Tragen von Schutzkleidung oder Kennzeichnung von Gefahrenbereichen werden auch unangemessene Vorschriften aufgeführt. Allerdings erlauben diese STOP-Karten noch keine echte Ursachenanalyse. Diese und ähnliche betriebsinternen Systeme haben zu uneinheitlichen Klassifikationen von Human Factors geführt, die systematische Forschung eher erschweren (Gordon, Flin, Mearns, & Fleming, 1996). Dagegen wurden eine Reihe von Verfahren entwickelt, die es Anwendern erleichtern sollen, Unfälle und Beinahe-Ereignisse zu erfassen und dabei auch die zugrunde liegenden individuellen und organisationale Faktoren zu identifizieren, wie z.B. das HFIT-Verfahren (Gordon, Flin, & Mearns, 2005). In der Atomindustrie in Deutschland und der Schweiz wird SOL-Sicherheit durch Organisationales Lernen (Wilpert, Miller, & Fahlbruch, 1997) als Standardverfahren verwendet, falls es Hinweise auf eine MTO-Interaktion gibt. Dass man auch aus Beinahe-Ereignisse viel lernen kann, zeigt das folgende Beispiel, bei dem ein Anlagenfahrer kompetent und schnell handelt und damit die Eskalation eines Beinahe-Unfalls verhindert.

Beispiel Start

In einer Nachtschicht am Wochenende, ca. 2 Uhr morgens öffnet sich während der Reaktionszeit unerwartet das Bodenventil eines Reaktors einer Druck-Dispersionsanlage. In der Anlage werden unter bis zu 90 bar hohem Druck Kunststoffdispersionen hergestellt. Nur im Reaktionsteil sind Drücke von über 25 bar zugelassen sind, sämtliche nachfolgenden Anlagenteile sind mit Sicherheitseinrichtungen abgesichert, die einen unzulässigen Überdruck über Abblase-Vorrichtungen ableiten können. Als sich das Bodenventil plötzlich öffnet, beginnt sich der Reaktorinhalt über das Entspannungsgefäß zu entleeren, das aber nur auf 25 bar ausgelegt ist. Es kommt zu einer Druckerhöhung in den nachfolgenden Gefäßen, was eine Vielzahl von Alarmen in der Leitwarte auslöst. Die Sicherheitseinrichtung droht anzusprechen, was dazu führen würde, dass die unvollständig reagierte Dispersions-Gas-Mischung über Dach abgeblasen wird. Der Anlagenfahrer fährt jedoch manuell das Bodenventil des Polymerkessels so schnell wieder zu, dass eine unzulässige Druckerhöhung in dem nachfolgenden System verhindert wird. In bemerkenswert kurzer Zeit gelingt ihm die richtige Diagnose - Alarme können unterschiedliche Ursachen haben, und nur eine davon ist das nicht-bestimmungsgemäße Öffnen des Bodenventils. Er weiß auch, wie er das Ventil über ein spezielles Menu anwählen und den Befehl zum Zufahren manuell eingeben kann.

Die Ursache für das unerwartete Öffnen des Bodenventils war der Ausfall einer Steuerungseinheit des Prozessleitsystems. Aus Sicherheitsgründen war das Prozessleitsystems mit zwei redundanten Prozessoren ausgestattetet. Als das Prozessleitsystem vor einigen Jahren erneuert wurde, verwendete man aus Kostengründen das Steuermodul einer alten Prozesssteuerung von einem

anderen Hersteller weiter. Die speziell programmierte Schnittstelle zwischen den beiden Systemen wies einen versteckten Programmierfehler auf, der genau beim Übergang von einem Prozessor auf den anderen einen Schritt auslöste, der zum Öffnen des Bodenventils führte, obwohl u. a. das Kriterium „Druck unter 25 bar“ noch nicht erfüllt war. Der Ausfall einer Steuerungseinheit war noch nie simuliert oder getestet worden, da er als sehr unwahrscheinlicher Fall angesehen wurde.

Beispiel Stop

In diesem Fall konnte dank dem Eingriff des Anlagenführers verhindert werden, dass der gesamte Reaktorinhalt über das Dach abgeblasen wurde. Es gab keine Aufsehen erregende Sirenenwarnung der benachbarten Wohngebiete, und nach kurzer Fehlersuche und Ausmerzen des Programmierfehlers ging man wieder zur Tagesordnung über. Die Erkenntnis, dass Menschen mit ihren Fähigkeiten, Probleme zu lösen, oft die entscheidende Sicherheitsressource darstellen, spielt in der Prozessindustrie bisher noch keine große Rolle. Denn je besser diese Ressource genützt wird, desto unsichtbarer bleibt sie: Eskalationen von Situationen werden verhindert und so werden diese Fälle in der Regel nicht öffentlichkeitswirksam herausgestellt oder nicht einmal bekannt.

1.3 Risiken von Instandhaltungsarbeiten

Das Beispiel verweist auch noch auf ein allgemeines Problem beim Eingriff in komplexe technische Systeme. Wartungsarbeiten und Veränderungen können ungeahnte Effekte haben. Hier ist es die Ersatz-Steuerung, ein so genanntes redundantes System, das im Normalfall nicht benötigt wird und nur für den Bedarfsfall bereit steht, in der sich ein latenter Fehler verbirgt. Der Ersatz eines Prozessleitsystems stellt zudem einen direkten Eingriff des Menschen in ein hoch-automatisiertes System dar. Reason (1997) argumentiert, dass insbesondere solche Instandhaltungsarbeiten immer kritisch sind. Bei normaler Bedienung wird selten direkt in die Kernfunktionalität des Systems eingegriffen, und Notfall-Bedienung ist eine seltene Ausnahme. Bei Instandhaltungsarbeiten wird hingegen regelmäßig an kritischen Prozessteilen direkt Hand angelegt (vgl. Tabelle 14.1). Werden hierbei Fehler übersehen, wie im Bespiel der Programmierfehler in der Software des Ersatzsteuerung, können diese die latenten Bedingungen für einen Unfall schaffen.

Tabelle 14.1: Auftretenswahrscheinlichkeiten von durch Menschen verursachten Problemen nach Art der Tätigkeit (Reason, 1997, S. 92)

Aktivität	Hands-on	Kritikalität	Häufigkeit
Normale Bedienung	Gering	Mittel	Hoch
Notfall-Bedienung	Mittel	Hoch	Gering
Instandhaltungsarbeiten	Hoch	Hoch	Hoch

2 Einflussfaktoren und Interventionsmöglichkeiten

Der folgende Abschnitt geht auf Einflussfaktoren ein, die sich aus der Analyse von Störfällen als relevant erwiesen haben und für die Prävention genutzt werden können. Dabei geht es zunächst um die Wahrnehmung von Gefahren auf der individuellen Ebene, dann um Führungskräftetraining zur Intervention am Arbeitsplatz und in Krisen, und schließlich um die Sicherheitskultur der Organisation.

2.1 Risikowahrnehmung und Schulungen zu Gefahrenpotential

Sowohl beim Beispiel der ausgelaufenen Natronlauge als auch beim Eingriff zur Schließung des Bodenventils war einer der entscheidenden Faktoren, inwieweit den Mitarbeitern klar war, welcher Vorgang gerade in der Anlage ablief, welche Risiken damit verbunden waren und wie sich die Situation weiter entwickeln könnte. In der Human Factors Forschung wurde dafür der Begriff des Situationsbewusstseins (engl. *situation awareness*) geprägt: das Erfassen, Verstehen und Weiterdenken der Situation (Endsley, 1995) (vgl. dazu auch Kapitel 4). Dazu gehört sowohl das Verhalten des technischen Systems (der chemische Prozess, die automatischen Überwachungs-

anlagen) als auch das Verhalten anderer Akteure. Die wesentliche Aufgabe für das Management besteht hier darin, geeignete Schulungen und Möglichkeiten zu internem Erfahrungsaustausch anzubieten, so dass Mitarbeiter über ein gutes Verständnis der chemischen Prozesses und Anlagen verfügen.

Eine Analyse von Vorfällen in Bohrteams mit ergänzenden Interviews hat gezeigt, dass die meisten Probleme im Zusammenhang mit Situationsbewusstsein bereits auf der Ebene der Wahrnehmung lagen (Sneddon, Mearns, & Flin, 2006). Die Ursachen waren hier also weniger eine Frage von Verständnis und damit Schulung, sondern wurden mit der Schichtarbeit auf den Plattformen, Ermüdung und Stress in Zusammenhang gebracht, die zu Aufmerksamkeitslücken führen können. Auch gegen diese Grenzen menschlicher Belastbarkeit kann man vorbeugende Maßnahmen ergreifen, wie zum Beispiel Pausenregelungen, um der Ermüdung entgegen zu wirken, oder ergonomische Gestaltung der Arbeitssysteme, so dass Informationen so dargeboten werden, dass für die Aufgabe Relevantes hervorgehoben und eine Interpretation erleichtert wird (Endsley, Bolté, & Jones, 2003).

2.2 Führungskräftetraining und Krisenmanagement

Wie die vorangegangenen Beispiele bereits zeigten, kann das Verhalten von Führungskräften wesentlich zum Erhalt von Sicherheit und zum angemessenen Umgang mit potentiellen Katastrophen beitragen. Dazu gehört zum einen, dass Führungskräfte durch eigenes Vorbild und Instruktionen ihre Mitarbeitenden anleiten, auf Sicherheit zu achten und auf Missstände hinzuweisen, und sich um den sicherheitstechnischen Zustand des Betriebes zu kümmern. Dazu werden u.a. Führungskräftetrainings zu Interventionen am Arbeitsplatz angeboten, die mit einem ganzheitlichen Konzept auf die Führungsaufgaben vorbereiten und mit Rollenspielen Intervenieren einüben. Die Evaluation des Kurses zeigte allerdings, dass die Teilnehmer zwar nach dem Kurs ihre Einstellung ändern, aber einige Monate später nicht häufiger und besser intervenieren. Ein Vergleich von Training und Anwendungssituation zeigte, dass die Teilnehmer die Gesprächsführungsstrategien zwar im Kurs erprobten, doch später am Arbeitsplatz nur noch in geringem Masse anwenden konnten (Pullwitt, Mearns, Schönherr, & Lauche, 2007). Die Befunde verweisen auf zweierlei: erstens sind Interventionen am Arbeitsplatz kognitiv anspruchsvoll und sozial unbequem, und zweitens muss, was im Training gelernt wurde, auch nachher am Arbeitsplatz unterstützt und weiter gepflegt werden. Aus der Lernforschung überrascht dieser Befund nicht, doch für Unternehmen bedeutet es, dass in mehr als nur das 2-tägige Training investiert werden muss.

Neben der Intervention am Arbeitsplatz müssen Führungskräfte in der Prozessindustrie im Notfall auch die Rolle eines Krisenmanagers übernehmen können und unter Stress schnell angemessene Entscheidungen zu treffen. Die Explosion auf der Piper Alpha Plattform hat gezeigt, dass eine derartige Krise ganz andere Anforderungen stellt als die normale Management-Rolle, und dass die Fertigkeiten als Krisenmanager geübt sein wollen (Flin, 1996) (siehe dazu auch Kap. 16 Stabsarbeit in der Polizei und Kap. 19 Training).

Beispiel Start

Im Juli 1988 gab es auf der Öl-Plattform Piper Alpha in der Nordsee eine Explosion. Das daraus resultierende Feuer setzte auch die Gaspipeline, die Piper Alpha mit den benachbarten Plattformen verband, in Brand, und heftige Feuersbrünste sowie weitere Explosionen zerstörten die gesamte Bausubstanz. Von 226 Menschen an Bord überlebten nur 61, die sich größtenteils durch einen Sprung ins Meer gerettet hatten – ein Verhalten, von dem normalerweise in Sicherheitstrainings abgeraten wird, da das eiskalte Nordseewasser schnell zum Tod durch Unterkühlung führen kann. Der Bericht der Untersuchungskommission (Cullen, 1990) zeigte eindeutig auf, dass Fehlentscheidungen und verzögerte Entscheidungen zum Ausmaß des Unglücks beitrugen. Das Warten auf übergeordnete Anweisungen verhinderte, dass Menschen in Sicherheit gebracht wurden, und führte dazu, dass die benachbarten Plattformen weiterhin Öl in die brennende Plattform pumpten. Der Plattform-Manager stand anscheinend unter Schock und war außer Stande, Entscheidungen zu treffen, Hilfe anzufordern oder seinen Mitarbeiten Anweisungen zu gehen, wo und wie sie sich in Sicherheit bringen sollten.

Beispiel Stop

Als Folge vom Piper Alpha Unglück wurde ein mehrtägiges Simulationstraining entwickelt, das Plattform-Manager durchlaufen haben müssen, bevor sie ihren Posten antreten können. In einem nachgebauten Kontrollraum wird der Umgang mit einem simulierten Notfall (Feuer, Explosion etc.) geübt. Jeder der Teilnehmenden kommt dabei in die Rolle des Plattform-Managers, der die Lage erfassen und den Überblick behalten sollte, aber insbesondere auch klare Anweisungen geben muss und nicht aus dem eigenen Stress heraus in Tatenlosigkeit versinken darf. Die Trainingsinhalte sind von der britischen Offshore Petroleum Industry Training Organization (OPITO) festgelegt und der Kurs wird firmenübergreifend anerkannt. Das Verhalten der Teilnehmenden wird anhand von Kriterien beurteilt, die aus Interviews mit Störfall erprobten Plattform-Managern und Führungskräften aus anderen Branchen definiert wurden.

Textbox Start

Verhaltenskriterien für Krisenmanager (Flin, Slaven, & Stewart, 1996):

- **Situation bewerten und Bedürfnisse antizipieren** (Informationen sammeln und prüfen, Entscheidungen treffen, angemessene Handlungsaufträge geben, mögliche Szenarien und ihre Konsequenzen und Wahrscheinlichkeit überprüfen, effektives Koordinieren der Einsatzkräfte)
- Kommunikation aufrecht erhalten (sofort alle relevanten Personen und Organisationen informieren, Entwicklung der Situation berichten und Kommunikation aufrecht erhalten, Verlauf und wichtige Mitteilungen dokumentieren, bei Bedarf alternative Kommunikationsmedien einsetzen)
- Delegieren (klare Entscheidungen treffen, welche Aufgaben in der gegebenen Situation an wen delegiert werden sollen, Aufgaben zuweisen gemäß Fähigkeiten und Vorgaben des Krisenmanagement, Rollen geklärt für die Ausführenden)
- Umgang mit Stress bei sich und anderen (Symptome erkennen, angemessene Schritte zur Stressreduktion einleiten)

Textbox Ende

Doch selbst ein gut durchdachtes Training kann nicht auf alle Aspekte einer Krise vorbereiten. Auch hier gilt, dass sich aus Störfällen lernen lässt, wie die folgende Untersuchung zeigt (Crichton, Lauche, & Flin, 2005): Mitten in der Nacht löste sich ein Teil der Bohrvorrichtung unter Wasser, was zu Austritt von Öl und Bohrflüssigkeit führen kann. Ein Krisenstab wurde einberufen, um die Ursache zu diagnostizieren und geeignete Maßnahmen einzuleiten. Das Problem konnte schnell und ohne Ölaustritt behoben werden, doch es dauerte 68 Tage, bis die Bohrinsel wieder einsatzbereit war (was bei Kosten von $100.000 pro Tag einen nicht unerheblichen finanziellen Schaden bedeutet). Teammitglieder nannten als wesentliche Fertigkeiten Situationsdiagnose bei unvollständiger Information, Entscheidungen treffen unter Unsicherheit, Zusammenarbeit im Team, klare Verantwortlichkeiten und Anweisungen sowie konsistenten Informationsfluss zwischen dem Stabsraum an Land, der Bohrinsel und weiteren Mitgliedern des Krisenstabs. Ein Vergleich mit einem simulierten Training zu einem ähnlichen Vorfall, das dasselbe Team kurz vorher durchlaufen hatte, zeigte, dass das Training zwar geholfen hatte, die Standard Operating Procedures einzuüben und die Interaktion im Team zu verbessern. Doch die Strategien im Umgang mit Unsicherheit und Stress waren im Training zu wenig berücksichtigt worden und insbesondere auf die lange Phase der Wiederinbetriebnahme hatte das Training zu wenig vorbereitet (Crichton, Lauche, & Flin, in print).

2.3 Diagnose der Sicherheitskultur

Wie in einem Unternehmen mit Sicherheit umgegangen wird, lässt sich zusammenfassen unter den Begriff der Sicherheitskultur zusammenfassen. Dieses übergreifende Konzept bezeichnet das Human Factors Bewusstsein im Unternehmen, die (oft impliziten) Werte, Ziele und Normen zu Sicherheit und

deren „Spuren“ in Dokumenten, Artefakten und Geschichten im organisationalen Gedächtnis (siehe auch Kap. 2). Der Begriff stammt aus der Organisationstheorie und wurde von der Expertengruppe zu Tschernobyl zum ersten Mal auf Sicherheit übertragen. Das Konzept soll helfen, Probleme zu verstehen und im Vorfeld auf Indikatoren zu achten, die alle darauf hindeuten, dass Sicherheit nur unzureichend Ernst genommen wird. Das folgende Beispiel wurde zu Lernzwecken in der betroffenen Firma verbreitet: Bei einer Explosion starben zwei Mitarbeiter bei Schweißarbeiten an einem Tank, der noch Reste an Kondensat (und damit brennbare Kohlenwasserstoffe) enthalten hatte. Die Arbeiter hatten sich unter Kondensat lediglich ungefährliche Wasserrückstände vorgestellt. Sie wagten auch nicht, zeitraubende Fragen zu stellen aus Angst, ihre Unterauftragsfirma werde solche Störenfriede entlassen. Die eingehende Unfallanalyse deutet auf ein zu Grunde liegendes Problem hin: eine Organisationskultur, in der Sicherheit zwar in Worten betont, aber nicht vor Ort bedacht und umgesetzt wird. Das Beispiel wurde dazu verwendet, auf den indirekten Beitrag der Planer und Vorgesetzten hinzuweisen: zu viele Personen waren für die präventive Planung zuständig gewesen, die allesamt ungeprüfte Annahmen über den tatsächlichen Systemzustand getroffen hatten. Die Sicherheitskultur, die Unterbrechungen und Nachfragen zum Schutz menschlichen Lebens vorangestellt hätte, wurde von den Unterlieferanten offenbar nicht mehr geteilt.

In der Literatur finden sich die Begriffe Sicherheitskultur und Sicherheitsklima oft gleichbedeutend nebeneinander. Sicherheitsklima bezieht sich auf die geteilten handlungsrelevanten Einstellungen zu Sicherheit (Zohar, 1980; Zohar & Luria, 2005) und hat sich zumindest in der petrochemischen Industrie als das praktisch relevantere und leichter zu operationalisierende Konzept durchgesetzt (Cox & Flin, 1998). Durch die Anwendung von standardisierten Fragebögen kann so zumindest dieser Teilaspekt von Sicherheitskultur quantifiziert erfasst werden. Das Manko dieses Ansatzes ist allerdings, dass es eine Vielzahl von Fragebogen-Verfahren gibt, die alle induktiv und entsprechend der Bedürfnisse der Auftraggeber entwickelt wurden und damit einer theoretischen Basis entbehren (Flin, Mearns, O'Connor, & Bryden, 2000; Guldenmund, 2000). Die Ergebnisse mögen so in jedem Einzelfall Hinweise auf latente Probleme in einer Organisation geben, lassen sich aber schlecht zwischen einzelnen Untersuchungen vergleichen.

Stärker soziotechnisch orientierte Ansätze betonen die strukturellen Aspekte der Organisationsgestaltung, den Mitarbeitenden Handlungsmöglichkeiten und Entscheidungshoheit für Sicherheit einzuräumen und damit zu einer „kompetenzförderlichen Sicherheitskultur“ beizutragen (Grote & Künzler, 2000; Künzler, 2002). Aus dieser Perspektive werden Gestaltungsrichtlinien wie die lokale Selbstregulation im Umgang mit Schwankungen und Störungen postuliert, um das von Perrow (1987) illustrierte Katastrophenpotential von risikoreichen Systemen mit starrer Kopplung zu reduzieren. Die Diagnose der Sicherheitskultur besteht in diesem Ansatz aus einer Kombination an Methoden wie Dokumentenanalyse, Interviews und einem Fragebogen, der Sicherheitsmanagement, Gestaltungsstrategien und Bedürfnisse der Arbeitenden umfasst (siehe auch Grote & Künzler, 2000).

In der Praxis werden daneben auch so genannte Reifemodelle zur Sicherheitskultur wie das der britischen Sicherheitsbehörde HSE (Fleming, 2000) und das für das Hearts & Minds Programm von Shell entwickelte Modell (Parker, Lawrie, & Hudson, 2006) eingesetzt (vgl. auch hierzu Kap. 2). Beide Modelle nehmen eine Entwicklung der Sicherheitskultur vom pathologischen Ignorieren zur proaktiven Integration von Sicherheit in das Kerngeschäft der Organisation an. Als Positivbeispiel für eine integrierende Sicherheitskultur sei das Projekt Britannia Topside genannt, bei dem es durch frühen Einbezug von Plattform-Mitarbeitern in der Konstruktions- und Planungsphase gelang, nicht nur Kosten zu senken, sondern auch Sicherheitsvorkehrungen und die Gestaltung von Kontrollräumen vorher mit virtual reality zu testen und geeignet anzupassen (Croft-Bednarski & Johnston, 1999).

Die beiden genannten Modelle sehen unterschiedliche Stufen vor und die Definitionen für die einzelnen Stufen sind nicht immer über alle psychometrischen Zweifel erhaben. Doch nach Aussagen von Praktikern erweisen sich die Modelle als eine gute Diskussionsgrundlage, um innerhalb von Arbeitsgruppen spezifische Stärken und Handlungsbedarf zu identifizieren. Die größte Herausforderung für die Praxis liegt darin, auch ohne die nächste Katastrophe das Bemühen um noch mehr Sicherheit und ernsthafte Wertschätzung menschlichen Lebens wach zu halten, auch wenn die dazu notwendigen Schritte nicht im Einklang mit den kurzfristigeren Profitkriterien zu stehen scheinen.

3 Herausforderungen für die Zukunft

Sowohl für die chemische und Ölindustrie als auch für die Atomindustrie lässt sich konstatieren, dass ein beachtlicher technischer Sicherheitsstandard erreicht wurde und durch die Störfälle der Vergangenheit ein gewisses Maß an Verständnis für Human Factors geschaffen wurde. Es wurden Managementsysteme etabliert, die latente Fehler in Anlagen und Organisation aufdecken können und zur Beseitigung beitragen sollen. Einige Gerichtsurteile, bei denen Firmen für unzureichendes Sicherheitsvorkehrungen zur Rechenschaft gezogen wurden - Shell wurde für die auf Brent Bravo erstickten Mitarbeiter zu einer Strafe von 900.000 GBP verurteilt – trugen zusätzlich dazu bei, Vorstände und Geschäftsführungen vom Konzept des „Organisationsverschuldens“ und von auditierbaren Sicherheitsmanagementsystemen zu überzeugen.

Die Herausforderung für die Zukunft liegt nun vor allem in drei Bereichen:

1. **Veränderungen im sozio-ökonomischen Umfeld** stellen neue Anforderungen an Sicherheit. Eine europäische Arbeitsgruppe zur Atomenergie, Learnsafe (Wahlström et al., 2005) identifizierte eine Reihe von Faktoren wie Deregulierung, Globalisierung und Kostendruck, aber auch die Kombination von alter und neuer Technologie, Generationenwechsel in der Belegschaft und Stilllegungen alter Anlagen sowie exzessive, ineffiziente und schwierige Vorschriften als Herausforderung für die Zukunft. Die meisten dieser Faktoren sind auch für andere Bereiche in der Prozessindustrie relevant. Für die Praxis bedeutet dies, dass zusätzliche Anstrengungen nötig sind, um allein den Status Quo an Sicherheit zu erhalten.
2. Gerade unter den genannten Bedingungen gilt es, das **Sicherheitsmanagement motivierend und kompetenzförderlich zu gestalten**, anstatt nur blinden Gehorsam und bürokratische Planerfüllung zu fordern. Zu den Ansätzen des kompetenten Umgang mit Unsicherheit gehört das Konzept des Resilience Engineering (Hollnagel, Woods, & Leveson, 2006), bei dem es darum geht, wie Menschen mit Komplexität und Stress erfolgreich umgehen können und ein vorausschauender, proaktiver Umgang mit Risiken und Ausfällen gefunden werden soll (vgl. Kap. 2). Der Ansatz bemüht sich um eine Systemperspektive, bei der Schwankungen und Störungen als normaler Bestandteil von Mensch-Maschine-Systemen angesehen werden und die Anpassungsfähigkeit und Flexibilität von Menschen als Stärke begriffen wird. Einen in vielem ähnlichen, wenn auch theoretisch anders begründeten Ansatz verfolgt Norros mit ihrer arbeitspsychologischen und ergonomischen Evaluation von Systemen in der Planungsphase, z.B. einem neuem finnischen Kernkraftwerk (Norros, 2004). Die Analyse bezieht den Aufforderungscharakter und die Begrenzungen der Situation, sowie die gewohnheitsmäßigen Handlungen der Mitarbeiter und deren Motive mit ein.

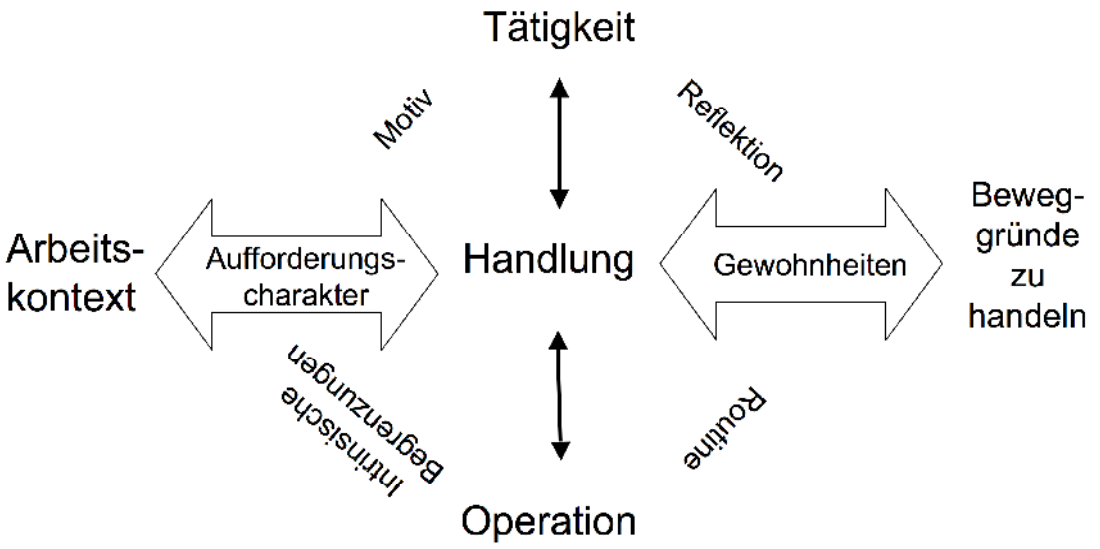

Abb. Modell zur ganzheitlichen Arbeitsanalyse, Norros, 2004, S. 85

3. Die dritte Herausforderung besteht darin, **als Organisation aus Fehlern zu lernen**, ohne dass es erst wieder eine Katastrophe geben muss. (Wilpert & Fahlbruch, 2002) stellen fest, dass es bedeutet mehr Analysen von Störfällen gibt als Literatur zu erfolgreichen Interventionen – offenbar seien Analysen einfacher durchzuführen als Veränderungen in Organisationen zu bewirken. Zu den Schwierigkeiten, die sie anführen, gehören unterschiedliche Rollen, sowohl im Unternehmen zwischen HF-Spezialisten und Ingenieuren als auch zwischen Betreiber und Behörden, wo mangelndes Vertrauen und Schutz der eigenen Position oft eine sinnvolle Zusammenarbeit erschweren. Auch die rationale Annahme, die Erkenntnisse aus Unfällen würden schon eine Veränderung einleiten, wenn sie allen bekannt gegeben werden, erwies sich als zu einfach. Wie auch im hier angeführten Beispiel der narkotisierenden Wirkung von Kohlenwasserstoffen muss die Information eingebunden werden in die täglichen Handlungsabläufe und dort als sinnvoll erkannt werden.

Es bleibt also noch viel zu tun. Durch den voranschreitenden Kostendruck und die damit verbundene Rationalisierungen und Arbeitsplatzabbau ist zu befürchten, dass Sicherheitsprävention auf das notwendige Maß beschränkt bleibt. Die bisherigen Ansätze, die versuchen, den Menschen in den Mittelpunkt zu stellen, werden meist nur von einzelnen Personen vorangetrieben und sind selten vom Management unterstützt. Es gibt einzelne Initiativen, die versuchen, firmenübergreifende Ansätze zu Training und Sicherheitsmanagement voranzutreiben, wie z.B. Stepchance in der Ölindustrie (http://stepchangeinsafety.net). Auch in der Kommission für Anlagensicherheit, die das deutsche Bundesumweltministerium berät, wurde ein Arbeitskreis zu menschlichen Faktoren eingerichtet. Auf der jüngsten OECD-Konferenz zu Human Factors in der chemischen Industrie wurde festgehalten, dass analog zur Flugbranche Human Factors Trainings eingeführt werden sollten, um ein allgemeines Bewusstsein und spezifische Kenntnisse wie Wissen über menschliche Fehler und Belastungsgrenzen oder Krisenmanagement zu vermitteln (Fahlbruch, Dubiel, Neumann, & Raupach, 2007). Es muss jedoch konstatiert werden, dass es keinen gemeinsamen oder einheitlichen Ansatz innerhalb der chemischen und pharmazeutischen Industrie gibt. Somit verlaufen die meisten Ansätze im Sande, da sie nur personenbezogen weiterverfolgt werden und keine breite Unterstützung erfahren.

4 Zusammenfassung

Obwohl alle Aspekte von Human Factors in den Prozessindustrien hochgradig relevant sind, findet das Wissen um menschliche Fertigkeiten und Schwächen im Vergleich zu anderen Branchen immer noch unzureichend Beachtung. Im Alltag dominiert oft der Ruf nach mehr Produktivität und den einzelnen MitarbeiterInnen wird nicht viel Kompetenz zu gesprochen. Nach Ansicht der Autoren gibt es jedoch Möglichkeiten, seitens des Managements diese Situation zu verbessern. Dazu wurden in diesem Kapitel exemplarisch einige Aspekte anhand von Forschungsergebnissen und Beispielen erläutert: MitarbeiterInnen können durch Schulungen ein besseres Prozessverständnis und angemessenes Risikobewusstsein entwickeln. Führungskräfte sollten auf Krisensituationen und Interventionen am Arbeitsplatz vorbereitet werden, und die regelmäßige Diagnose der Sicherheitskultur kann als „Frühwarnsystem“ dienen. Trotz des zunehmenden ökonomischen Drucks und technischen Komplexität können Verantwortliche in ihrem Bereich einen motivierenden und kompentenzförderlichen Umgang mit Sicherheit fördern. Darüber hinaus wäre breitere, firmenübergreifende Zusammenarbeit zum Thema Human Factors und Sicherheit wünschenswert, um aus Zwischenfällen und von erfolgreichen Interventionen zu lernen.

5 Literatur

Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica, 19*, 775-779.

Cox, S., & Flin, R. (1998). Safety culture: Philosopher's stone or man of straw? *Work and Stress, 12*(3), 189-201.

Crichton, M., Lauche, K., & Flin, R. (2005). Incident Command Skills in the Management of an Oil Industry Drilling Incident: a Case Study. *Journal of Contingencies and Crisis Management, 13*(3), 116-128.

Crichton, M., Lauche, K., & Flin, R. (in print). Learning from experience: Incident management team leader training. In J. M. Schraagen (Ed.), *Naturalistic Decision Making and Macrocognition*. Aldershot: Ashgate.

Croft-Bednarski, S., & Johnston, K. (1999, 3-6 May 1999). *Britannia Topsides; A low cost, safe and productive North Sea facility.* Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas.

Cullen, T. H. L. (1990). *The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster*. London: HMSO.

Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F., & Stäudel, T. (1983). *Lohhausen: Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors, 37*(85-104).

Endsley, M. R., Bolté, B., & Jones, D. G. (2003). *Designing for Situation Awareness. An Approach to User-Centered Design* Boca Raton, FL: Taylor & Francis.

Fahlbruch, B., Dubiel, J., Neumann, L., & Raupach, O. (2007). *Discussion Document for OECD-CCA Workshop on Human Factors in Chemical Accidents and Incidents, Potsdam 8-9 May 2007*.

Fleming, M. T. (2000). *Safety culture maturity model* (No. 2000/049 Offshore Technology Report). Edinburgh: Health & Safety Executive / The Keil Centre.

Flin, R. (1996). *Sitting in the Hot Seat: Leaders and Teams for Critical Incidents*. Chichester: Wiley.

Flin, R., Mearns, K., O'Connor, P., & Bryden, R. (2000). Safety climate: Identifying the common features. Safety Science, 34, 177-192. *Safety Science, 34*, 177-192.

Flin, R., Slaven, G., & Stewart, K. (1996). Emergency Decision Making in the Offshore Oil and Gas Industry. *Human Factors, 38*(2), 262-277.

Gordon, R., Flin, R., & Mearns, K. (2005). Designing and evaluating a human factors investigation tool (HFIT) to improve incident investigation. *Safety Science, 43*, 147-171.

Gordon, R., Flin, R., Mearns, K., & Fleming, M. T. (1996, 9-12 June 1996). *Assessing the Human Factors Causes of Accidents in the Offshore Oil Industry.* Paper presented at the International Conference on Health, Safety and Environment of the Society of Petroleum Engineers, New Orleans.

Grote, G., & Künzler, C. (2000). Diagnosis of safety culture in safety management audits. *Safety Science, 34*, 131-150.

Guldenmund, F. W. (2000). The nature of safety culture: A review of theory and research. *Safety Science, 34*(215-257).

Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (2006). *Resilience Engineering. Concepts and Precepts*. Aldershot: Ashgate.

Künzler, C. (2002). *Kompetenzförderliche Sicherheitskultur. Ganzheitliche Gestaltung risikoreicher Arbeitssysteme*. Zürich: vdf Hochschulverlag.

Norros, L. (2004). *Acting under Uncertainty. The Core-Task Analysis in Ecological Study of Work*. Helsinki: VTT Press.

Parker, D., Lawrie, M., & Hudson, P. (2006). A framework of understanding the development of organisational safety culture. Safety Science, 44 (6), 551-562. *Safety Science, 44*(6), 551-562.

Perrow, C. (1984). *Normal Accidents. Living with High-Risk Technologies*. New York: Basic Books.

Perrow, C. (1999). *Normal Accidents. Living with High-Risk Technologies* (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.

Pullwitt, T., Mearns, K., Schönherr, S., & Lauche, K. (2007, 25 - 27 June 2007). *On Manager and Supervisor Skills o Perform Safety Interventions.* Paper presented at the ESREL Safety and Reliability Conference, Stavanger, Norway.

Reason, J. (1987). Generic error-modelling system (GEMS): A cognitive framework for locating common human error forms. In J. Rasumssen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot: Ashgate.

Salvendy, G. (2006). *Handbook of Human Factors* (3rd ed.). New York: Wiley.

Sneddon, A., Mearns, K., & Flin, R. (2006). Safety and situation awareness in offshore crews. Cognition, Technology and Work, 8, 255-267. *Cognition, Technology & Work, 8*, 255-267.

Wahlström, B., Kettunen, J., Wilpert, B., Maimer, H., Jung, J., Cox, S., et al. (2005). *LearnSafe. Learning organisations for nuclear safety* (No. 2287). Espoo: VTT.

Wilpert, B., & Fahlbruch, B. (Eds.). (2002). *System Safety. Challenges and Pitfalls of Intervention*. Amsterdam: Elsevier.

Wilpert, B., Miller, R., & Fahlbruch, B. (1997). SOL: Sicherheit durch Organisationales Lernen. Ein neues Konzept für das Lernen aus Betriebserfahrung. , 38 (4), 40-43. *Technische Überwachung, 38*(4), 40-43.

Zohar, D. (1980). Safety Climate in industrial organization: Theoretical and applied implications. *Journal of Applied Psychology, 65*, 96-102.

Zohar, D., & Luria, G. (2005). A Multilevel Model of Safety Climate: Cross-Level Relationships Between Organization and Group-Level Climates. *Journal of Applied Psychology, 90*(4), 616-628.