

## **Arbeitszeitgestaltung, Gestaltung von Alarmsystemen/-management und kritische Ereignisse**

Martina BOCKELMANN, Friedhelm NACHREINER

*Gesellschaft für Arbeits-, Wirtschafts- und Organisationspsychologische Forschung (GAWO) e.V., Achterdiek 50, D-26131 Oldenburg*

**Kurzfassung:** Die Ursachen für die Entstehung folgenschwerer Ereignisse in der Industrie sind zu nicht unerheblichen Anteilen in der konkreten Gestaltung der Arbeitsbedingungen zu suchen. Berichten zufolge wiesen aus arbeitspsychologischer/ergonomischer Sicht sowohl die Gestaltung der Alarmsysteme als auch die Gestaltung der Arbeitszeit gravierende Mängel auf, deren Zusammenwirken mitverantwortlich für Fehlentscheidungen und Fehlhandlungen der Operateure und die daraus resultierenden Folgen war.

**Schlüsselwörter:** Kritische Ereignisse, Arbeitszeitgestaltung, Alarmsystem, Alarmmanagement

### **1. Einleitung**

In den letzten Jahrzehnten ereigneten sich in der Industrie immer wieder schwerwiegende Vorfälle (z.B. Kernkraftwerk Tschernobyl, 1986; Exxon Valdez, Blight Reef, 1989; BP, Texas City, 2005; Bohrplattform Deepwater Horizon, Golf von Mexiko, 2010) mit zum Teil schwerwiegenden Folgen für die Mitarbeiter, das Unternehmen, die Umwelt und die Gesellschaft. Untersuchungsberichten (z.B. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, auch Chemical Safety Board oder kurz CSB, 2007) sowie vorliegender Literatur (z.B. Andlauer et al. 1982; Wickens 1984) zu einigen kritischen Ereignissen ist zu entnehmen, dass neben gravierenden ergonomischen Mängeln in der Gestaltung der Alarmsysteme bzw. des Alarmmanagements in vielen Fällen eines oder sogar mehrere Merkmale der Arbeitszeitgestaltung ausgemacht werden konnten, die zur Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit der Operateure und damit zur Auslösung des Ereignisses beigetragen haben (könnten).

Im Rahmen aktueller Diskussionen um die Sicherheit von Arbeitssystemen mit hohem Gefahrenpotential wird indes die Bedeutung der Gestaltung der Alarmsysteme und des Alarmmanagements sowie der Arbeitszeit für kognitive/wissensbasierte Tätigkeiten, wie z.B. die Tätigkeiten der Operateure in einer Leitwarte, sowie deren Zusammenwirken i.d.R. nur unzureichend berücksichtigt.

Aus den verfügbaren Untersuchungsberichten zu kritischen Ereignissen ergibt sich jedoch, dass die aktuell diskutierten Arbeitszeitprobleme auch bei solchen kognitiven/wissensbasierten Tätigkeiten offensichtlich eine bedeutende Rolle spielen. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Leitwartenoperateure während ihrer Tätigkeit Entscheidungen – mitunter recht kurzfristig – treffen müssen, die erhebliche Auswirkungen für die Gesundheit und Sicherheit der betroffenen Operateure, des gesamten Arbeitssystems, aber eben auch einer breiten Öffentlichkeit haben können, sollten daher solche Erfahrungen in die Überlegungen zu potentiellen Veränderung der legalen Grundlagen für die Arbeitszeitgestaltung einfließen.

## 2. Wissenschaftlicher Hintergrund und exemplarische Analyse kritischer Ereignisse

Die Gestaltung der Arbeitszeit bestimmt zum einen die Dauer der Exposition gegenüber der arbeitsbedingten Belastung (z.B. über tägliche bzw. wöchentliche Arbeitszeit) und zum anderen auch deren zeitliche Lage (z.B. Normalarbeitszeit oder Schichtarbeit sowie zeitliche Verteilung der Belastung, d.h. durch die Pausengestaltung und die Abfolge von Arbeits- und Ruhephasen, Dynamik) (Schmidtke & Bubb 1993) und beeinflusst somit auch direkt die Zeiten für Schlaf und Erholung (vgl. Rutenfranz et al. 1993).

So erhöhen z.B. lange tägliche und wöchentliche Arbeitszeiten die arbeitsbedingte Belastung und Beanspruchung und reduzieren zugleich die Zeit für Schlaf und Erholung. Dies führt ggf. dazu, dass die Beschäftigten den nächsten Arbeitstag oder die nächste Arbeitswoche unzureichend erholt beginnen und ihre Tätigkeit mit (Rest-)Ermüdung aufnehmen. Erfolgt dies über einen längeren Zeitraum, kumulieren sich die Beanspruchungsfolgen („Aufschaukelungsprozess“) (Meijman & Mulder 1998), was kurzfristig zu einer verminderten Leistungsfähigkeit sowie einem erhöhten Risiko für Fehlhandlungen und Unfälle führen kann (überproportionaler Anstieg des Unfallrisikos ab der achten bzw. neunten Arbeitsstunde; z.B. Hänecke et al. 1998; Folkard & Lombardi 2006). Zudem weisen wenig stimulierende Arbeitsumgebungen, monotone Tätigkeiten sowie Tätigkeiten, die Daueraufmerksamkeit erfordern, ein besonders hohes Risiko für eine Leistungsminderung über die Zeit auf (Tucker & Folkard 2012).

Vorliegende Studien zeigten zudem, dass das Unfallrisiko während der Abend- und Nachtstunden deutlich höher ist als am Tag (Hänecke et al. 1998; Folkard & Lombardi 2004). Die durch die Schichtarbeit bedingte Desynchronisation biologischer und sozialer Rhythmen führt i.d.R. zu einer Reihe von negativen Auswirkungen, wie z.B. Unwohlsein, Müdigkeit, gastrointestinale Beschwerden und schlechte Gemütslage (Burgess 2007) und damit zu einer Verminderung der Leistungsressourcen. Als eine der häufigsten Folgen der Desynchronisation wird die Abnahme der Qualität und der Quantität des Schlafes am Tag im Vergleich zu Schlaf in der Nacht angesehen (Burgess 2007). In den frühen Morgenstunden (ca. 2 bis 7 Uhr) – und im geringeren Maße auch am frühen Nachmittag (ca. 14 bis 17 Uhr) – zeigt der Mensch im Allgemeinen eine erhöhte Schlafneigung und eine verminderte Leistungsfähigkeit (vgl. Mitler et al. 1988). Vorfälle mit katastrophalen Konsequenzen scheinen sich überzufällig in den Nachtstunden bzw. während Nachtschichten zu ereignen (Burgess 2007; Mitler et al. 1988), d.h. zu Zeiten, wenn der menschliche Körper eigentlich auf Schlaf bzw. Ruhe eingestellt ist.

Ausgewählte Beispiele für kritische Ereignisse, die sich nachts ereigneten und u.a. mit menschlichen Fehlern in Zusammenhang stehen sind:

- Kernkraftwerk Three Mile Island, Harrisburg (1979)
- Union Carbide, Bhopal (1984)
- Kernkraftwerk Tschernobyl, Pripyat (1986)
- Exxon Valdez, Blight Reef (1989)
- China National Petroleum Corporation, Chuandongbei-Gasfeld (2003)

Die Hauptaufgabe von Leitwartenoperatoren ist die Überwachung und Steuerung von Produktions- (z.B. verfahrenstechnische Anlagen) bzw. Dienstleistungsprozessen (z.B. im Verkehrsbereich) mithilfe von Prozessleitsystemen. Ein ergonomisch gut gestaltetes Arbeitssystem und insbesondere ein gut gestaltetes Alarmsystem und ein intelligentes Alarmmanagement sollen den Operateur bei dieser

Aufgabe unterstützen, so dass es ihm möglich ist, zeitgerecht (wünschenswerter Weise proaktiv) und angemessen auf sich andeutende oder tatsächliche Abweichungen von Sollzuständen im Prozess und in der Anlage zu reagieren und die Anlage in einem sicheren Zustand zu halten. Schlecht gestaltete Systeme dagegen behindern den Operateur bei seiner Tätigkeit und können zu Fehlentscheidungen bzw. Fehlhandlungen oder Unterlassungen führen (vgl. Institute of Petroleum 2003) – wie auch Untersuchungsberichte zu kritischen Ereignissen belegen.

### *2.1 Kernkraftwerk Three Mile Island, Harrisburg, 1979*

Im Kernkraftwerk Three Mile Island kam es am 28. März 1979 während der Nachtschicht zu einer partiellen Kernschmelze in einem Reaktorblock. Radioaktives Gas wurde freigesetzt. Aus dem offiziellen Bericht der eingesetzten Untersuchungskommission (Kemeny et al. 1979) geht hervor, dass für dieses Ereignis Störungen technischer Anlagenkomponenten sowie menschliche Fehler verantwortlich waren. Mehrere Faktoren waren ursächlich für die unangemessenen Handlungen der Operateure: unzureichende Ausbildung der Operateur (insbesondere hinsichtlich möglicher schwerer Vorfälle), verwirrende, missverständliche Handlungsanweisungen, organisatorische Versäumnisse aus Erfahrungen aus früheren Vorfällen zu lernen sowie eine defizitäre Gestaltung der Anzeigen und des Alarmsystems. Falsche bzw. nicht angemessene Anzeigen (z.B. Ventilstellung) sowie die Nichtbeachtung wichtiger Hinweise und Versäumnisse führten dazu, dass die Vorgänge in der Anlage und der tatsächliche Zustand der Systeme (u.a. Ventilstörung, Verlust des Kühlwassers) mehr als 2 Stunden von den Operateuren unbemerkt blieben (Kemeny et al. 1979; Wickens 1984; Mitler et al. 1988; Burgess 2007). In den ersten Minuten des Vorfalls liefen mehr als 100 Alarme auf. Es gab keine Alarmunterdrückung (oder -priorisierung), so dass den Operateuren sämtliche Alarme und nicht nur die wichtigsten angezeigt wurden. Einige Schlüsselalarme auf den Anzeigen waren so platziert, dass sie von den Operateuren nicht wahrgenommen werden konnten (Kemeny et al. 1979).

Der Vorfall ereignete sich gegen 4 Uhr nachts (verminderte Leistungsfähigkeit; s.o. Mitler et al 1988), im Kontext eines Schichtsystems, das den arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen zur Gestaltung der Arbeitszeit, insbesondere der Nacht- und Schichtarbeit, widerspricht (vgl. Andlauer et al. 1982). Damit findet sich die klassische Kombination defizitärer Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und des Arbeitszeitsystems, die in ihrer Wechselwirkung – wenn auch nicht allein – in erheblichem Umfang zu dem kritischen Ereignis und seinen katastrophalen Folgen beigetragen haben dürften.

### *2.2 BP, Texas City, Texas (2005)*

Bei der Inbetriebnahme einer Anlageneinheit kam es in einer Ölraffinerie des Unternehmens BP am 23. März 2005 zu Explosionen und Feuer in der Anlage. 15 Menschen wurden getötet und 180 verletzt. Es entstand ein hoher finanzieller Schaden. Mängel in der Gestaltung des Alarmsystems und des Alarmmanagements waren für das Ereignis mitverantwortlich. Dem Untersuchungsbericht des CSB (2007) ist zu entnehmen, dass kritische Alarme nicht ansprachen und Anzeigen falsche bzw. keine angemessenen Informationen lieferten, so dass die tatsächlichen Vorgänge in der Anlage vom Operateur unbemerkt blieben. Während der Explosionen liefen hunderte von Alarmen parallel auf. Dadurch war es dem

Operateur unmöglich, jeden einzelnen Alarm zur Kenntnis zu nehmen und angemessen zu reagieren. Zudem fand kein angemessenes Training im Umgang mit kritischen Situationen (wie z.B. Anfahren der Anlage oder einer Anlagenstörung) statt.

Die Untersuchung der Arbeitszeiten (CBS 2007) ergab, dass die Operateure der anwesenden Schicht an 29 bis hin zu 37 aufeinanderfolgenden Tagen in 12-Stunden-Schichten gearbeitet hatten und somit erhebliche Verstöße gegen erforderliche Ruhezeiten vorlagen. Nach Aussagen eines Operateurs habe sich sein Nachtschlaf in dieser Zeit um etwa 1,5 Stunden auf 5 bis 6 Stunden Schlaf je Tag reduziert. Die vorgesehenen Pausen seien selten eingehalten und das Essen am Arbeitsplatz eingenommen worden. Mit zunehmender Anzahl an langen, konsekutiven Arbeitstagen mit nur geringen Pausenanteilen ist daher von einem ansteigenden Schlafdefizit, verbunden mit Übermüdung und einem erhöhten Risiko für Unfälle und Fehlhandlung, auszugehen.

### *2.3 Bohrplattform Deepwater Horizon, Golf von Mexiko, 2010*

Ein etwas andersgearteter Zusammenhang zwischen der Gestaltung des Alarmsystems und der Arbeitszeit lässt sich am Beispiel der Bohrplattform Deepwater Horizon im Golf von Mexiko demonstrieren. In den späten Abendstunden (gegen 21:50 Uhr) des 20. April 2010 kam es zu einem Blowout und die Plattform geriet in Brand (Bartlit et al. 2011). 11 Arbeiter kamen bei der Explosion ums Leben. Enorme Mengen Rohöl strömten in den Golf von Mexiko und führten zu einer der bisher größten Umweltkatastrophen. Grund war – neben weiteren zahlreichen Fehlern des Managements und technischen Fehlern (Design, Ausführung und Tests), die ebenfalls auf übergreifende Fehler im Management zurückgeführt wurden (Bartlit et al. 2011) – u.a. eine Unterdrückung von Alarmen im Alarmsystem. Ziel dieser Unterdrückung war, die Arbeiter nicht „um drei Uhr morgens“ durch einen Fehlalarm zu wecken (CNN 2010; SPIEGEL ONLINE 2010). So begrüßenswert die Sorge des Managements um ausreichenden und ungestörten Schlaf der Beschäftigten auf der Bohrinself auch sein mag, so wenig verständlich und nachvollziehbar ist der dazu gewählte Gestaltungsansatz: Nicht beherrschte Alarme einfach zu unterdrücken, anstatt das Alarmsystem so zu gestalten, dass Fehlalarme vermieden/minimiert und die Operateure mit relevanten, gut erkennbaren Informationen versorgt werden, weist erneut auf die Bedeutsamkeit der technischen Gestaltung von Alarmsystemen hin.

## **3. Diskussion**

Bei den hier exemplarisch dargestellten Vorfällen handelt es sich um anekdotische Einzelereignisse. Dennoch scheint es bemerkenswert, dass die Gestaltung der Arbeitszeit in diesen Fällen u.a. drei zentrale Probleme der Arbeitszeitgestaltung widerspiegeln:

1. Nachtarbeit: Arbeitszeiten und Zeiten für Schlaf laufen biologischen Rhythmen entgegen (Desynchronisation)
2. Lange Arbeitszeiten (z.B. 12-Stunden-Schichten) mit einer Kumulation der Arbeitszeiten; i.d.R. verbunden mit einer Reduktion der täglichen Ruhezeit und der Zeit für Erholung („echte“ Freizeit)
3. Aufschieben der notwendigen (wöchentlichen) Ruhezeiten

In Verbindung mit einer anekdotisch ebenfalls belegten bzw. belegbaren unzureichenden Gestaltung der Alarmsysteme scheinen sich interaktive Wechselwirkungen anzudeuten, die dringend einer systematischen, ergonomischen Analyse bedürfen. Die exemplarisch dargestellten kritischen Ereignisse machen die Bedeutung der Verletzung ergonomischer Gestaltungsregeln in den Bereichen der Arbeitszeit- und Alarmsystemgestaltung in Hinblick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz – und nicht nur den der Operateure – jedenfalls überaus deutlich.

Eine Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Gestaltungsgüte von Alarmsystemen und von Arbeitszeitsystemen im realen Betrieb ist aufgrund der damit verbundenen möglichen Konsequenzen für die Beschäftigten, der unmittelbaren Umgebung, der Umwelt und das Unternehmen nicht angezeigt. Hier bieten sich, neben ergonomischen Analysen, Laborstudien an Simulatoren an. Dazu könnten unterschiedlich gestaltete Alarmsysteme am Simulator realisiert und deren Gebrauchstauglichkeit untersucht und optimiert werden (vgl. Meyer 2006; Nachreiner et al. 2006; Nickel & Nachreiner 2008). Zudem könnte auch deren Zusammenwirken mit verschiedenen Merkmalen der Arbeitszeitgestaltung in Bezug auf die Leistungsfähigkeit der Operateure sowie das Vorkommen von Fehlentscheidungen und Fehlhandlungen (z.B. Anzahl kritischer Ereignisse bzw. beherrschter Situationen in Abhängigkeit von der Gestaltung der Arbeitszeit) untersucht werden.

Neben solchen dringend benötigten Grundlagenuntersuchungen sollten allerdings als Vorstufe Instrumente zur Beurteilung des Gestaltungszustandes von Alarmsystemen (z.B. Checklisten) zur Verfügung stehen und genutzt werden, um anhand der vorliegenden ergonomischen Erkenntnisse Gestaltungsdefizite zu identifizieren und Optimierungsmöglichkeiten anzuleiten sowie Herstellern und Betreibern Hinweise für die Gestaltung und den Betrieb von Alarmsystemen zu eröffnen (vgl. Errington et al. 2009; Bockelmann et al. 2010; EEMUA 191:2013).

Ebenso muss es das Ziel sein, Arbeitssysteme auszuwählen oder zu entwickeln, die den arbeitswissenschaftlichen Empfehlungen zur Gestaltung der Arbeitszeit entsprechend (vgl. Beermann 2005, [www.inqa.gawo-ev.de](http://www.inqa.gawo-ev.de)), um das Risiko von potentiellen Beeinträchtigungen der Gesundheit (einschließlich der sozialen Teilhabe), der Arbeits- und der Systemsicherheit und des Umweltschutzes zu minimieren.

#### 4. Literatur

- Andlauer F, Rutenfranz J, Kogi K, Thierry H, Vieux N, Duverneuil G (1982) Organization of night shift in industries where public safety is at stake. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 49:353-355.
- Bartlit FH, Sankar SN, Grimsley SC (2011) Macondo. The Gulf Oil Disaster. Chief Counsel's Report|2011. National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling. Im Internet verfügbar unter: [http://www.eoearth.org/files/164401\\_164500/164423/full.pdf](http://www.eoearth.org/files/164401_164500/164423/full.pdf). Letzter Zugriff: 07.12.2015.
- Beermann B (2005) Leitfaden zur Einführung von Nacht- und Schichtarbeit. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Bockelmann M, Schütte M, Nachreiner F (2010) Entwicklung und Überprüfung eines Prototyps eines Instrumentes zur Beurteilung und Optimierung des Gestaltungszustandes von Alarmsystemen – Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg) *Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten*. Dortmund: GfA-Press, 905-908.
- Burgess PA (2007) Optimal Shift Duration and Sequence: Recommended Approach for Short-Term Emergency Response Activations for Public Health and Emergency Management. *American Journal of Public Health* 97(1):88-92.

- CNN (2010) Deepwater Horizon alarm had been 'inhibited', technician testifies. Im Internet verfügbar unter: <http://edition.cnn.com/2010/US/07/23/gulf.platform.alert/>. Letzter Zugriff: 07.12.2015.
- EEMUA 191 (2013) Alarm systems. A guide to design, management and procurement. London: The Engineering Equipment and Materials Users' Association.
- Errington J, Reising DV, Burns C (2009) ASM Consortium Guidelines. Effective Alarm Management Practices. Minneapolis, MN: Abnormal Situation Management Consortium.
- Folkard S, Lombardi DA (2004) Designing safer shift systems. In Nickel P, Hänecke K, Schütte M, Grzech-Šukalo H (Hrsg) Aspekte der Arbeitspsychologie in Wissenschaft und Praxis. Lengerich: Pabst Science Publishers, 151-166.
- Folkard S, Lombardi DA (2006) Modeling the impact of the components of long work hours on injuries and "accidents". American Journal of Industrial Medicine 49(11):953-963.
- Hänecke K, Tiedemann S, Nachreiner F, Grzech-Šukalo H (1998). Accident risk as a function of hours of work and time of day as determined from accident data and exposure models for the German working population. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health 24:43-48.
- Institute of Petroleum (2003) Human factors briefing note no.2: alarm handling. Im Internet verfügbar unter: [http://www.hfs.no/downloadsables/briefing\\_notes/bn2.pdf](http://www.hfs.no/downloadsables/briefing_notes/bn2.pdf). Letzter Zugriff: 22.08.2009.
- Initiative Neue Qualität der Arbeit. Beratungs- und Unterstützungsangebote für die Arbeitszeitgestaltung und die Planung von Schichtarbeit in der Produktion. Im Internet verfügbar unter: [www.inqa.gawo-ev.de](http://www.inqa.gawo-ev.de). Letzter Zugriff: 07.12.2015.
- Kemeny JG, Babbitt B, Haggerty PE, Lewis C, Marks PA, Marrett CB, McBride L, McPherson HC, Peterson RW, Pigford TH, Taylor TB, Trunk AD (1979) Report Of The President's Commission On The Accident At Three Mile Island. The Need For Change: The Legacy of TMI. Im Internet verfügbar unter: <http://www.threemileisland.org/downloads/188.pdf>. Letzter Zugriff: 07.12.2015.
- Meijman TF, Mulder G (1998) Psychological aspects of workload. In: Drenth PJ, Thierry H, de Wolff CJ (Eds) Handbook of work and organizational psychology. Hove (UK): Psychology, 5-33.
- Meyer I (2006) Effektivität der Prozessführung bei unterschiedlichen Oberflächen eines Prozessleitsystems. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Mittler MM, Carskadon MA, Czeisler CA, Dement WC, Dinges DF, Graeber RC (1988). Catastrophes, Sleep, and Public Policy: Consensus Report. Im Internet verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2517096/>. Letzter Zugriff: 07.12.2015.
- Nachreiner F, Nickel P, Meyer I (2006) Human factors in process control systems: The design of human-machine interfaces. Safety Science, 44:5-26.
- Nickel P, Nachreiner F (2008) Evaluation of presentation of information for process control operations. Cognition, Technology & Work, 10(1):23-30.
- Rutenfranz J, Knauth P, Nachreiner F (1993) Arbeitszeitgestaltung. In Schmidtke H (Hrsg) Ergonomie. München, Wien: Hanser Verlag, 459-599.
- Schmidtke H, Bubb H (1993) Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Schmidtke H (Hrsg) Ergonomie. München, Wien: Hanser Verlag, 116-120.
- Spiegel Online (2010) Ölkatastrophe im Golf von Mexiko: Alarm auf Bohrinself war offenbar abgeschaltet. Im Internet verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/oelkatastrophe-im-golf-von-mexiko-alarm-auf-bohrinsel-war-offenbar-abgeschaltet-a-708247.html>. Letzter Zugriff: 07.12.2015.
- Tucker P, Folkard S (2012) Working Time, Health and Safety: a Research Synthesis Paper. Geneva, Schweiz: International Labour Office (ILO). Conditions of Work and Employment Series No. 31.
- U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (2007) Investigation Report: Refinery Explosion and Fire (15 Killed, 180 Injured). BP, Texas City, Texas; March 23, 2005. Report No. 2005-04-I-TX, March 2007. Im Internet verfügbar unter: <http://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>. Letzter Zugriff: 07.12.2015.
- Wickens CD (1984) Engineering psychology and human performance. Columbus: Merrill.