

Petra Badke-Schaub

Gesine Hofinger

Kristina Lauche (Hrsg.)

**Human Factors**

Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen

Petra Badke-Schaub  
Gesine Hofinger  
Kristina Lauche (Hrsg.)

# Human Factors

Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen

Mit 49 Abbildungen und 17 Tabellen

**Professor Dr. Petra Badke-Schaub**

Department of Product Innovation Management  
Faculty for Industrial Design Engineering  
Delft University of Technology  
Landbergstraat 15  
2628 CE Delft, The Netherlands

**Dr. Gesine Hofinger**

Krisenmanagement  
Hohenheimerstr. 104  
71686 Remseck

**Dr. Kristina Lauche**

Department of Product Innovation Management  
Faculty for Industrial Design Engineering  
Delft University of Technology  
Landbergstraat 15  
2628 CE Delft, The Netherlands

ISBN 978-3-540-72320-2 Springer Medizin Verlag Heidelberg

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

**Springer Medizin Verlag**

[springer.de](http://springer.de)

© Springer Medizin Verlag Heidelberg 2008

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Planung: Dipl.-Psych. Joachim Coch

Projektmanagement: Meike Seeker

Copyediting: Annette Wolf, Leipzig

Einbandfoto: © Laurent De La Conception, [www.fotolia.de](http://www.fotolia.de)

Layout und Einbandgestaltung : deblik Berlin

Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH, Würzburg

SPIN: 11564997

Gedruckt auf säurefreiem Papier

2126 – 5 4 3 2 1 0

# Vorwort

---

»Können Sie uns nicht ein gutes Buch zum Thema ‚Human Factors‘ empfehlen, das ich auch an Kollegen weitergeben könnte? Das gut und übersichtlich zusammenfasst, was ich bei Ihnen zu menschlichem Handeln gelernt habe?« So wurden wir oft nach Workshops oder in Beratungs- und Trainingsprojekten gefragt. Auch in der Lehre hätten wir gerne auf ein solches Buch zurückgegriffen. Da es jedoch ein solches zusammenfassendes Buch nicht gab, das Theorie und Praxis menschlichen Handelns in komplexen Arbeitswelten in Verbindung bringt, nahmen wir das Projekt selbst in Angriff – mit dem hier vorliegenden Ergebnis.

Das Thema »Human Factors« hat in den letzten Jahren einen bedeutenden Aufschwung erlebt, sowohl hinsichtlich der wissenschaftlichen Betrachtung als auch in Bezug auf die praktische Umsetzung. Daraus könnte man schließen, dass hier ein neuer Wissenschaftsbereich entstanden ist, der Phänomene und Probleme aufgreift, die bislang in einer technikdominierten Welt unbeachtet blieben. Dem ist jedoch nicht so: Tatsächlich finden sich unter dem Dach von Human Factors eine Vielzahl bewährter wissenschaftlicher und anwendungsbezogener Fragen, Methoden und Konzeptionen wieder, die aus ihrer jeweiligen Perspektive die technischen, organisatorischen und prozessualen Implikationen von Human Factors ansprechen. Dies reicht von ergonomischen Fragestellungen konkreter Arbeitsplatzgestaltung über Teamtraining bis zu Organisationsberatung. Der gemeinsame Bezugspunkt all dieser Perspektiven ist der Mensch: Menschen und ihr Handeln in komplexen Arbeitswelten stehen im Zentrum der Betrachtung.

Spricht man von Human Factors, so verweist der Plural auf die vielfältigen und unterschiedlichen Prozesse und Strukturen menschlichen Verhaltens. Damit rückt die Wissenschaft ins Zentrum des Human-Factors-Themas, die sich seit ihrer Emanzipation von der Philosophie vor mehr als 100 Jahren wissenschaftlich mit dem Wahrnehmen, Denken, Fühlen, Entscheiden und Handeln von Menschen und Menschengruppen beschäftigt: die Psychologie.

## Konzept des Buchs

Das vorliegende Buch präsentiert in den unterschiedlichen Kapiteln die Beiträge der Psychologie in Wissenschaft und Anwendung zur Human-Factors-Thematik. Es wird aufgezeigt, dass die Inhalte einer Human-Factors-Betrachtungsweise auf bewährte Methoden, Theorien und Ergebnisse der Psychologie zurückgreifen können und müssen. Es wird aber ebenso deutlich, dass die spezielle Human-Factors-Perspektive über die psychologische Sichtweise hinausgeht, um Human Factors im jeweiligen konkreten Anwendungsbereich zu erfassen, zu verstehen und zu bewerten. Mit dieser psychologischen, auf den handelnden Menschen bezogenen Sichtweise findet das Buch seinen Platz zwischen den verschiedenen technisch oder ergonomisch orientierten Veröffentlichungen zum Thema »Human Factors«.

Erste Ideen für dieses Buch entstanden im Rahmen der Treffen der Vereinigung »Plattform – Menschen in komplexen Arbeitswelten« e. V. (<http://www.plattform-ev.de>). Diese gemeinnützige Vereinigung von Wissenschaftlern und Praktikern entstand 1998 mit dem Ziel, gemeinsam Konzepte zu entwickeln und umzusetzen, die das Handeln von Menschen in komplexen Arbeitsumwelten beschreiben, um daraus einerseits Fehlhandlungen zu erklären und zur Fehlervermeidung beizutragen und andererseits die Stärken des Menschen als Sicherheitsressource sichtbar zu machen.

Während des regelmäßig stattfindenden Erfahrungsaustausches im Rahmen von Workshops entstand die Idee, das fehlende Übersichtswerk zur Human-Factors-Psychologie gemeinsam zu schreiben. Im Geiste der Plattform-Workshops sollten solide Grundlagen mit relevanten Pro-

blemstellungen verbunden werden. Dank der Bereitschaft vieler Mitglieder, sich als Autoren und Autorinnen sowie als Reviewer zu beteiligen, ist dieses Vorhaben wahr geworden. Aber auch andere Experten verschiedener Hochschulen konnten als Autoren gewonnen werden.

Das Konzept dieses Buches ist es, sowohl wissenschaftliche Grundlagen allgemeinverständlich zu präsentieren als auch Anwendungsfelder in ihren Anforderungen an den Menschen aufzuzeigen. Wir hoffen, dass dieses Buch Leser und Leserinnen aus verschiedenen beruflichen Feldern mit Nutzen lesen –konzipiert ist es als Einführung in und Überblick über psychologische Human-Factors-Themen für Interessierte aus den Anwendungsbranchen und der Psychologie sowie für Studierende und Lehrende im Human-Factors-Themenbereich.

## **Danksagungen**

Zum Gelingen des Buchs haben zuallererst die Autoren und Autorinnen beigetragen. Alle haben sich darauf eingelassen, einen unserem Konzept entsprechenden Beitrag zu verfassen und mehrfach reviewen zu lassen. Die meisten Autoren haben zudem selbst andere Kapitel gegengelesen und wertvolle Vorschläge zur Verbesserung eingebracht, auch dafür unser Dank!

Einige Kapitel wurden von Reviewern begutachtet, die nicht Autoren dieses Buches sind und die dennoch bereit waren, ihre Zeit in hilfreiche Rückmeldung zu investieren. Wir danken Saskia Bayerl, Axel Bédé, Peter Beer, Begona Hermann, Michael Müller, Annette Nolze, Tim Tisdale, Peter Troxler und Helfried Waleczek. Dank auch an Ursula Nagy, die Material für die Geschichte der Human Factors in ► Kap. 1 beigesteuert hat.

Besonderen Dank sagen wir Carlos Cardoso von der TU Delft, NL, der sich bereitfand, uns seine Designerfähigkeiten zur Verfügung zu stellen und in mühseliger Detailarbeit alle Zeichnungen im Stil vereinheitlichte und in eine ästhetisch ansprechende Form brachte.

Joachim Coch vom Springer-Verlag danken wir für sein Engagement für das Projekt und die freundliche und kompetente Betreuung über zwei Jahre hinweg. Annette Wolf sei Dank für die schnelle und gründliche Lektorierung und die gute Betreuung beim Endspurt.

Nicht zuletzt danken wir auch unseren Familien, die das Wachsen des Buchs mit Geduld begleiteten.

Wir wünschen allen Lesern eine anregende und gewinnbringende Lektüre sowie viel Erfolg bei der Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse.

Delft und Remseck, Juni 2008

Die Herausgeberinnen:

Petra Badke-Schaub, Gesine Hofinger und Kristina Lauche

# Inhaltsverzeichnis

## I Human Factors und sicheres Handeln

<b>1</b>	<b>Human Factors</b> . . . . .	<b>3</b>
1.1	Die menschlichen Faktoren und die Disziplin Human Factors . . . . .	4
1.2	Verwandte Disziplinen . . . . .	8
1.3	Wurzeln von Human-Factors-Forschung . . . . .	10
1.4	Methoden . . . . .	14
1.5	Fokus und Aufbau dieses Buches . . . . .	16
1.6	Literatur . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Sicherheit</b> . . . . .	<b>19</b>
2.1	Einleitung . . . . .	20
2.2	Erklärungsansätze in der Sicherheitsforschung: Warum sind Systeme (un)sicher? . . . . .	22
2.3	Management von Sicherheit in der Praxis . . . . .	25
2.4	Der tägliche Umgang mit Sicherheit: Konzept der Sicherheitskultur . . . . .	29
2.5	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	33
2.6	Literatur . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Fehler und Unfälle</b> . . . . .	<b>36</b>
3.1	Fehler, Irrtümer und Sicherheit . . . . .	37
3.2	Fehler und Unfälle: Personansatz und Systemansatz . . . . .	39
3.3	Jeder Fehler ein Schatz? Vom Nutzen der Zwischenfälle . . . . .	43
3.4	Fehlerarten und Fehlerformen . . . . .	44
3.5	Ursachen für Fehler . . . . .	51
3.6	Zuverlässigkeit und Fehlerfreundlichkeit . . . . .	52
3.7	Zusammenfassung . . . . .	53
3.8	Literatur . . . . .	54

## II Individuelle und teambezogene Faktoren

<b>4</b>	<b>Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und »Situation Awareness« (SA)</b> . . . . .	<b>59</b>
4.1	Einführung . . . . .	60
4.2	Wahrnehmung: »Wara Neman« . . . . .	61
4.3	Aufmerksamkeit . . . . .	64
4.4	»Situation Awareness« (SA) . . . . .	67
4.5	Störungen der Wahrnehmung . . . . .	71
4.6	Zusammenfassung . . . . .	73
4.7	Literatur . . . . .	74
<b>5</b>	<b>Denken – Entscheiden – Handeln</b> . . . . .	<b>77</b>
5.1	Einleitung und kurze Übersicht . . . . .	78
5.2	Verhalten – Handeln – Denken . . . . .	78
5.3	Handeln unter komplexen Bedingungen . . . . .	82
5.4	Entscheiden als Komponente von Handlungen . . . . .	88
5.5	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	92
5.6	Literatur . . . . .	92
<b>6</b>	<b>Emotion und Handeln</b> . . . . .	<b>94</b>
6.1	Einleitung: Begriff »Emotion« . . . . .	96
6.2	Psi: Integrierte Theorie von Motivation, Kognition und Emotion . . . . .	96
6.3	Emotionen und Handeln . . . . .	100
6.4	Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen . . . . .	111
6.5	Literatur . . . . .	112
<b>7</b>	<b>Handeln in Gruppen</b> . . . . .	<b>113</b>
7.1	Gruppen als Systeme . . . . .	115
7.2	Anforderungen an den Gruppenprozess: Kommunikation, Koordination und Kooperation . . . . .	118
7.3	Motivation . . . . .	120
7.4	Integration: Team Mental Models . . . . .	121
7.5	Analyse des Beispiels . . . . .	122
7.6	Zentrale Determinanten des Entscheidungsverhaltens in Gruppen . . . . .	125

7.7 Zusammenfassung und Zusammenführung: Erfolgsfaktoren sicheren Handelns in Gruppen . . . . . 127

7.8 Literatur . . . . . 129

**8 Kommunikation . . . . . 131**

8.1 Einleitung: Interaktion und Information . . . . . 132

8.2 Kommunikation verstehen . . . . . 133

8.3 Funktionen von Kommunikation . . . . . 137

8.4 Störungen der Kommunikation . . . . . 140

8.5 Kommunikation in kritischen Situationen . . . . . 144

8.6 Kommunikation als Sicherheitsressource . . . . . 145

8.7 Zusammenfassung und Ausblick . . . . . 149

8.8 Literatur . . . . . 150

### III Organisationale Einflussfaktoren auf sicheres Handeln

**9 Organisationen – Kommunikationssystem und Sicherheit . . . . . 155**

9.1 Einleitung . . . . . 156

9.2 Organisationen als soziotechnische Systeme . . . . . 157

9.3 Organisieren als Prozess . . . . . 158

9.4 Organisationen als Kommunikationssysteme . . . . . 160

9.5 Organisationale Interaktionen . . . . . 161

9.6 Sicherheit organisieren . . . . . 164

9.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen . . . . . 172

9.8 Literatur . . . . . 174

**10 Führung . . . . . 176**

10.1 Die Bedeutung von Führung für die Förderung von Sicherheit . . . . . 178

10.2 Management von Unsicherheit . . . . . 180

10.3 Anforderungen an normative Führung . . . . . 182

10.4 Anforderungen an strategische Führung . . . . . 183

10.5 Anforderungen an operative Führung . . . . . 185

10.6 Führung bei organisationalen Veränderungen . . . . . 186

10.7 Zusammenfassung . . . . . 187

10.8 Literatur . . . . . 189

**11 Neue Formen der Zusammenarbeit . . . . . 191**

11.1 Wie verändert sich Zusammenarbeit und warum? . . . . . 193

11.2 Implikationen einer veränderten Arbeitswelt für Sicherheit . . . . . 195

11.3 Anforderungen für Technik- und Organisationsgestaltung . . . . . 200

11.4 Zusammenfassung . . . . . 202

11.5 Literatur . . . . . 202

### IV Aktuelle Human-Factors-Herausforderungen und Anforderungen für die Zukunft in verschiedenen Risikofeldern

**12 Aktuelle Themen und zukünftige Entwicklungen in der Luftfahrt . . . . . 207**

12.1 Einleitung . . . . . 208

12.2 Anforderungen für die Zukunft . . . . . 211

12.3 Zusammenfassung . . . . . 218

12.4 Literatur . . . . . 219

**13 Patientensicherheit und Human Factors – Vom Heute in die Zukunft gesehen . . . . . 220**

13.1 Einführung . . . . . 221

13.2 Analytische Betrachtung des Fallbeispiels . . . . . 222

13.3 Patientensicherheit in Deutschland im Jahr 2007 . . . . . 222

13.4 Entwicklungslinien . . . . . 223

13.5 Diagnostische Ansätze zur Erfassung der Lage der Patientensicherheit . . . . . 225

13.6 Ansatzpunkte zur Erhöhung der Patientensicherheit . . . . . 225

13.7 Zusammenfassung und Schlussbetrachtung . . . . . 228

13.8 Literatur . . . . . 229

**14 Lernen aus Störfällen und Präventionsansätze in der Prozess-industrie** . . . . . 231

14.1 Einleitung: Kennzeichen der Branche . . . 232

14.2 Lernen aus Störfällen . . . . . 235

14.3 Einflussfaktoren und Interventions-möglichkeiten . . . . . 237

14.4 Herausforderungen für die Zukunft . . . . 241

14.5 Zusammenfassung . . . . . 242

14.6 Literatur . . . . . 243

**15 Militär: Handeln in komplexen Problemlagen** . . . . . 244

15.1 Einleitung . . . . . 245

15.2 Der Soldat in neuen Konfliktszenarien – Kämpfer oder Bürger in Uniform? . . . . . 246

15.3 Human Factors – Von der Ergonomie zum Handeln in komplexen Problemlagen . . . . 248

15.4 Human-Factors-Forschung im Bereich des Militärs . . . . . 253

15.5 Zusammenfassung und Ausblick . . . . . 254

15.6 Literatur . . . . . 255

**16 Stabsarbeit und »Ständige Stäbe« bei der Polizei: Sicherheit durch Professionalisierung** . . . . . 256

16.1 Einleitung . . . . . 257

16.2 Wie wirklich ist die Wirklichkeit in Stäben der Polizei? . . . . . 259

16.3 Teamkommunikation im Stab . . . . . 264

16.4 Fehlerprävention im Rahmen der Stabsarbeit: Planentscheidungen . . . . 265

16.5 Zusammenfassung . . . . . 268

16.6 Literatur . . . . . 269

17.3 Organisationen sicher gestalten . . . . . 285

17.4 Zusammenfassung . . . . . 286

17.5 Literatur . . . . . 287

**18 Human-Factors-Training** . . . . . 289

18.1 Einleitung . . . . . 290

18.2 HF-Training: Rahmenbedingungen und Trainingsziele . . . . . 291

18.3 Ebenen der Intervention . . . . . 293

18.4 Trainingsmethoden in Human-Factors-Trainings . . . . . 295

18.5 Trainingsformen . . . . . 297

18.6 Trainerkompetenzen . . . . . 302

18.7 Evaluation und Transfer . . . . . 303

18.8 Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen . . . . . 304

18.9 Literatur . . . . . 305

**19 Systemgestaltung und Automatisierung** . . . . . 307

19.1 Einleitung . . . . . 308

19.2 Automatisierung und Automation: Begriffsbestimmung . . . . . 309

19.3 Rolle des Menschen in automatisierten Systemen . . . . . 311

19.4 Probleme der Nutzung automatisierter Systeme durch den Menschen . . . . . 312

19.5 Konzepte einer menschenzentrierten Systemgestaltung . . . . . 318

19.6 Zusammenfassung . . . . . 322

19.7 Literatur . . . . . 323

**V Prozesse gestalten im Dienst der Sicherheit**

**17 Komplexität handhaben – Handeln vereinheitlichen – Organisationen sicher gestalten** . . . . . 273

17.1 Fallbeispiel: Standardisierung in der Hämotherapie . . . . . 274

17.2 Umgang mit Komplexität auf der Ebene der Organisation . . . . . 275

**Anhang**

**Autorenportraits** . . . . . 327

**Quellenverzeichnis** . . . . . 334

**Sachverzeichnis** . . . . . 335

# I Human Factors und sicheres Handeln

- 1 Human Factors – 3
- 2 Sicherheit – 19
- 3 Fehler und Unfälle – 36

# 1 Human Factors

*Petra Badke-Schaub, Gesine Hofinger und Kristina Lauche*

- 1.1 Die menschlichen Faktoren und die Disziplin Human Factors – 4**
- 1.2 Verwandte Disziplinen – 8**
- 1.3 Wurzeln von Human-Factors-Forschung – 10**
  - 1.3.1 Scientific Management – 10
  - 1.3.2 Psychotechnik – 11
  - 1.3.3 Soziale Systemgestaltung: der Human-Relations-Ansatz – 12
  - 1.3.4 Soziotechnische Systemgestaltung – 12
  - 1.3.5 Kognitive Ergonomie – 13
  - 1.3.6 Aktuelle Strömungen und Themen – 13
- 1.4 Methoden – 14**
  - 1.4.1 Forschungsmethoden – 15
  - 1.4.2 Ausgewählte spezifische Methoden – 15
- 1.5 Fokus und Aufbau dieses Buches – 16**
- 1.6 Literatur – 17**

Wir möchten mit diesem Buch allen, die Interesse an grundsätzlichen Fragen zum Handeln in soziotechnischen Systemen haben, praxisnah wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse vermitteln, die zum besseren Verständnis der Interaktionen von Menschen und Technik in komplexen Arbeitswelten beitragen. Diese Erkenntnisse können zum einen als Grundlage für die Kommunikation der Inhalte über verschiedene Disziplinen hinweg dienen, zum anderen soll auch Unterstützung geboten werden für den eigenen Umgang mit technischen Systemen und/oder deren Gestaltung.

In diesem Einleitungskapitel werden wir zunächst die Bedeutung von Human Factors genauer beschreiben (► Kap. 1.1), danach werden wir uns mit der Abgrenzung von Human Factors zu verwandten Disziplinen beschäftigen (► Kap. 1.2). Im weiteren Verlauf werden wir uns den historischen Wurzeln von Human Factors sowie aktuellen Strömungen zuwenden (► Kap. 1.3), im vierten Teil wird die Frage der Methoden diskutiert (► Kap. 1.4), und abschließend werden wir den Fokus dieses Buches (► Kap. 1.5) in Aufbau und Inhalt der einzelnen Kapitel vorstellen.

## 1.1 Die menschlichen Faktoren und die Disziplin Human Factors

»Human Factors« ist ein Begriff, der häufig gebraucht wird, ohne dass notwendigerweise ein gemeinsames Verständnis oder gar eine allgemein akzeptierte Definition über Ziele, Arbeitsfelder, Theorien oder Methoden vorliegen. Vielfach werden Human Factors als »menschliche Faktoren« in Abgrenzung zu »technischen Faktoren« definiert. Allerdings ist diese Sichtweise zu reduziert, da für die Betrachtung der Human Factors genau die Verknüpfung menschlicher Faktoren mit technischen Faktoren relevant ist. Zur Klärung legen wir zunächst fest:

**!** **Die menschlichen Faktoren (Human Factors) sind alle physischen, psychischen und sozialen Charakteristika des Menschen, insofern sie das Handeln in und mit soziotechnischen Systemen beeinflussen oder von diesen beeinflusst werden.**

Dementsprechend definiert Salvendy (2006) in der Einleitung des »Handbook of Human Factors and Ergonomics« Human Factors als eine Wissenschaft, die sich mit der Rolle des Menschen in komplexen Systemen, mit dem Design von Ausrüstung, technischen Hilfsmitteln und Gerätschaften und mit der Anpassung der Arbeitsumgebung mit dem Ziel der Steigerung von Komfort und Sicherheit befasst.

Auch Hawkins (1987) betont die zweifache Zielorientierung und definiert Human Factors als angewandte Technologie, die sich damit beschäftigt, das Verhältnis zwischen Menschen und ihren Aktivitäten zu optimieren. Dies geschieht durch die systematische Anwendung der Humanwissenschaften innerhalb des Kontextes der Systemgestaltung (»systems engineering«). Die Ziele von Human Factors sind damit Effizienz und Sicherheit des Systems und das Wohlergehen des darin tätigen Menschen.

Allerdings wird das Ziel **Sicherheit** in der Praxis oft in erster Linie als Kostenfaktor angesehen, da weniger an eine Optimierung des Gesamtsystems als an »zusätzliche« Sicherheitsaufwendungen gedacht wird. Die Einsicht, dass Human Factors auch ein Erfolgsfaktor für den ökonomischen Wettbewerbsvorteil von Unternehmen ist, hat sich v. a. in Hochrisikobereichen durchgesetzt, wo das Thema Sicherheit letztendlich eine *Conditio sine qua non* ist. Aber auch in Hochrisikobereichen müssen teilweise Zielentscheidungen getroffen werden, die eine Gratwanderung darstellen und die Frage aufwerfen, wie viel Sicherheit wir uns leisten können und wollen.

Schon diese Diskussion macht deutlich, dass die menschlichen Faktoren in ein System von Aufgabe, Technik und Organisation eingebettet zu betrachten sind. Dabei nimmt der Mensch eine Schlüsselrolle ein, da nur der Mensch in der Lage ist, Ereignisse als Gefahren oder Bedrohungen zu klassifizieren und damit potenzielle Risiken zu antizipieren und frühzeitig präventiv adäquate Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen.

Allerdings wird die Rolle des Menschen zunehmend weniger als Problemlöser, sondern vielmehr als Problem, als Risikofaktor in technischen Systemen gesehen. Statistiken scheinen diese Annahme zu bestätigen: So werden im Bereich der Luftfahrt Human Factors in mehr als 70% der Fälle als Unfallursache

benannt, in der Raumfahrt 66% und im Bereich Kernkraft 52% (Giesa & Timpe, 2000).

Die notwendige Folge dieser Sichtweise ist zunehmende Automatisierung, d. h., Maschinen und Computer übernehmen die Aufgaben von Menschen, die nur noch eine überwachende und kontrollierende Funktion haben und nur in Ausnahmefällen, z. B. bei Störungen, eingreifen. Diese paradoxe Rolle des Menschen in automatisierten Systemen ist von Bainbridge (1987) unter dem Schlagwort »Ironien der Automatisierung« (»ironies of automation«) thematisiert worden: Menschen sollen insbesondere in kritischen Situationen genau die Tätigkeiten ausführen, die zuvor von der Maschine übernommen wurden, um mögliche Fehlerquellen, die vom Mensch ausgehen, zu vermeiden. Das heißt, dass die Bedeutung des Menschen mit dem Grad an Automation zunimmt, während das Wissen des Menschen mit dem Grad der Automation abnimmt, da die Auseinandersetzung mit dem System auf Überwachungstätigkeiten reduziert ist (Fadier & Ciccotelli, 1999).

Bei der Unterscheidung »menschliche Faktoren« versus »technische Faktoren« wird häufig vergessen, dass die Entwicklung der Maschine, des Computers oder des Systems immer auch ein Produkt von Menschen ist. Letztlich können alle Fehler auf Human Factors zurückgeführt werden, da Menschen in verschiedenen Funktionen – als Nutzer, Designer oder Manager – auf unterschiedlichen Ebenen Einfluss nehmen.

Human-Factors-geleitete Systemgestaltung stellt die Forderung, Systeme so zu entwickeln, dass individuelle Fähigkeiten und Bedürfnisse des Menschen im jeweiligen Kontext Berücksichtigung finden. Beispiele dafür finden sich in verschiedenen Normen hinsichtlich Gestaltungsprinzipien in vielfältigen Kontexten. Die Grundnorm **Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen** (DIN EN ISO 6385, 2004)

»[...] beschreibt den integrierten Ansatz für die Gestaltung von Arbeitssystemen, bei dem Arbeitswissenschaftler mit Anderen die menschlichen, sozialen und technischen Anforderungen ausgewogen beachten.«

In welcher Weise dabei Menschen mit ihren Fähigkeiten Berücksichtigung finden, wird allerdings un-

terschiedlich realisiert. So werden beispielsweise in den **Allgemeinen Gestaltungsprinzipien** folgende ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen (DIN EN 894-1, 1997) formuliert:

- Kompatibilität bezogen auf die Leistungsfähigkeit des Menschen
- Kompatibilität bezogen auf die Erwartungen des Bedieners (Erwartungskonformität)
- Kompatibilität bezogen auf die Aufgabe (Aufgabenangemessenheit)

Zusätzlich wird im Anhang der Norm detailliert auf menschliche Informationsverarbeitung eingegangen, und es werden Aspekte von Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Gedächtnis, aber auch Stress als Einflussgrößen thematisiert. Im Gegensatz dazu betont zwar die Norm **Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme** (DIN EN ISO 13407, 2000) die Notwendigkeit der Einbindung des Nutzers in den laufenden Softwareentwicklungsprozess, ist aber dann in der konkreten Anleitung auf den Prozessablauf konzentriert und nimmt im Wesentlichen nur das Feedback des Nutzers als Hinweis auf den weiteren Prozessfortschritt.

Das folgende Beispiel zeigt, in welcher banaler Weise Voraussetzungen für menschliche Fehler geschaffen und wie einfach solche Fehler vermieden werden können, wenn Menschen im Kontext wahrgenommen und ihre Fähigkeiten in der Gestaltung der **Interaktion Technik–Mensch–Organisation** berücksichtigt werden.

#### Beispiel

Vor und während des 2. Weltkriegs kam es zu einem massiven Innovationsschub, insbesondere hinsichtlich der Technik von Flugzeugen. So stieg die Geschwindigkeit der Flugzeuge um 300%, die Anzahl der Bedienelemente und Instrumente um 350%. Gleichermaßen stieg die Anzahl der Unfälle, die aufgrund fehlerhaften Verhaltens der Piloten als »pilot error« bezeichnet wurden. Dabei gab eine Serie von Unfällen während des 2. Weltkriegs besondere Rätsel auf, denn in allen Fällen trat jeweils der gleiche Fehler des Piloten auf, und zwar fuhren die Piloten



und Kopiloten bei der Landung das Fahrwerk ein anstatt die Landeklappen auszufahren. Dieser Fehler trat allerdings nur bei einigen Flugzeugtypen auf (Lockheed P-47, Boeing B-17, North American's B-25 und Curtiss C-46), in anderen dagegen nicht (z. B. Douglas C-47's DC-3).

Der Psychologe Alphonse Chapanis wurde damit beauftragt, dieses Problem zu lösen, und er fand sowohl die Ursache als auch eine einfache Lösung: Chapanis erkannte, dass die nebeneinander liegenden Schalthebel für Landeklappen und Fahrwerk leicht verwechselt werden konnten. Und er ersann eine geniale, schnell umsetzbare Lösung: das Anbringen eines kleinen gummibereiterten Rades auf dem Schaltknopf für das Fahrwerk und eines kleinen flügelartigen Endes auf dem Schaltknopf für die Landeklappen. Nach dieser Modifikation kam es nicht mehr zu Unfällen aufgrund von Verwechslungen dieser Art. Nach Kriegsende wurde diese taktile Unterstützung zur Unterscheidung von Schaltungen weltweit standardisiert und ist heute in allen Flugzeugen zu finden.

Dieses Beispiel macht deutlich, dass die Diagnose »pilot error« zu kurz greift. Es muss die Frage gestellt werden, **warum** der Pilot den Fehler machte. Und dies umso mehr, da es sich um einen systematischen Fehler handelt (Chapanis, 1951, ► Kap. 3.4.2), also einen Fehler, der wiederholt in der gleichen Gesamtkonstellation auftritt.

Die Wichtigkeit der Gesamtkonstellation ist nicht nur an der Schnittstelle Mensch–Maschine wichtig. Im Folgenden zeigt ein Beispiel aus der Medizin, wie schwerwiegende Fehler durch das Aufeinandertreffen von menschlicher Informationsverarbeitung, sozialen Prozessen wie Kommunikation über Hierarchien und organisationalen Faktoren wie Personaleinsatzplanung entstehen können.

#### Beispiel

Eingriffsverwechslungen bei Operationen (Verwechslung der Körperseite, der Eingriffsstelle oder Eingriffsart) sind relativ häufig und für die



betroffenen Patienten schwerwiegend. Eingriffsverwechslungen sind ein reines Human-Factors-Thema – es gibt keinen im Patienten oder in der Technik liegenden Grund; solche Verwechslungen sollten damit zu 100% vermeidbar sein. Die Analyse der Literatur zu diesem Thema (Aktionsbündnis Patientensicherheit, 2006) zeigt, dass die Ursachen im Bereich der »menschlichen Faktoren« zu suchen sind – das gilt aber auch für die Verhinderung: Meist wird eine Verwechslung aufgedeckt, bevor es zu einem Patientenschaden kommt. Hier ist menschliches Handeln Unfallursache und Sicherheitsressource.

Eingriffsverwechslungen geschehen fast nie aufgrund eines Fehlers einer einzelnen Person. In Fallanalysen wird fast immer ein Zusammentreffen von Risikofaktoren mit Handlungsfehlern berichtet. Das Risiko für Eingriffsverwechslungen ist besonders hoch, wenn es zu Abweichungen von Routinen kommt (z. B. ungewöhnliche Patientenlagerung im OP) oder wenn Prüfinstanzen ausfallen (z. B. Neulinge im Team, sprachunfähiger Patient). Wenn dann Fehler gemacht werden, beispielsweise falsche Eintragungen im OP-Plan oder fehlerhafte Erinnerungen des Chirurgen, und niemand diese korrigiert (z. B. weil Hierarchie im Team verhindert, dass kritische Fragen gestellt werden), kann es zu einer Eingriffsverwechslung kommen.

Um die relevanten Zusammenhänge zwischen sichtbarem Ereignis und möglichen verursachenden Faktoren zu erkennen, muss eine **Human-Factors-Analyse** verschiedene Ebenen und deren Vernetzung in Betracht ziehen:

- **Individuum:** z. B. Gibt es physiologische Hinweise hinsichtlich Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Müdigkeit, Stress? Gibt es motivationale Probleme, sich an Standards zu halten?
- **Gruppe/Team:** z. B. Ist die Kommunikation im Team offen und unterstützend? Werden Standard Operating Procedures (SOPs) korrekt durchgeführt?
- **Organisation:** z. B. Wird Sicherheit hinreichend ernst genommen und werden vorbeugende Maßnahmen ergriffen? Gibt es festgelegte Ar-

beitszeiten und werden diese auch eingehalten? Gibt es klare Regeln der Aufgabenverteilung und Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Schnittstellen?

- **Technik:** z. B. Ist das Design aufgabenangemessen und mit den Erwartungen des Nutzers kompatibel?

❗ **Human Factors als interdisziplinäre Wissenschaft beschäftigt sich mit dem Verhältnis von Menschen und Technik unter einer systemischen Perspektive und greift dabei auf verschiedene Basisdisziplinen zu.**

Dabei legt Human Factors im Gegensatz zur klassischen Ergonomie den Fokus mehr auf kognitive, motivationale und emotionale Leistungen und Fähigkeiten sowie deren Beschränkungen und weniger auf physische und anthropometrische Eigenschaften. In diesem Zusammenhang werden die sog. nichttechnischen Fertigkeiten (»non-technical skills«) hervorgehoben, die in besonderer Weise geeignet sind, mit der zunehmenden Komplexität technischer Systeme adäquat umzugehen.

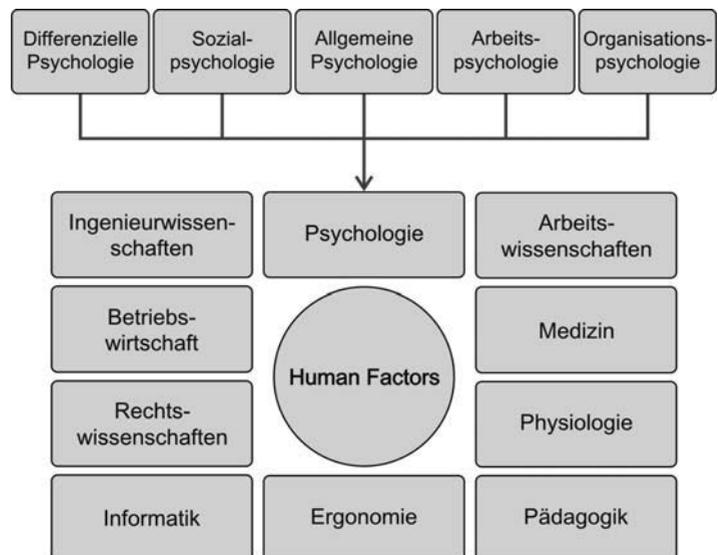
❗ **Human Factors ist eine interdisziplinäre Forschungsrichtung, die zum einen Grundlagenforschung realisiert mit dem Ziel des Erkennt-**



**nisgewinns über Menschen als Ressource und begrenzenden Faktor im System Mensch und Technik. Zum anderen ist Human Factors eine angewandte Wissenschaft, die Anwendungswissen für Problemlösungen in der Praxis bereitstellt. Die vorrangige Zielstellung besteht darin, negative Folgen der Interaktion Mensch und Technik zu vermeiden bzw. zu vermindern und so das Wohlbefinden der Handelnden zu gewährleisten und die Sicherheit sowie die Funktionsfähigkeit des Systems zu verbessern.**

Als Grundlage von Human Factors kann eine Vielfalt von Disziplinen genannt werden (■ Abb. 1.1). Soll beispielsweise in einem Krankenhaus ein Kommunikationstraining für Ärzte und Pflegepersonal durchgeführt werden, ist als Basisdisziplin Psychologie von zentraler Bedeutung. Geht es um eine Einführung in die Handhabung einer komplexen technischen Anlage, steht die ingenieurwissenschaftliche Sicht im Vordergrund, wobei auch hier der psychologische Anteil von Bedeutung ist (z. B. die Kenntnis menschlicher Verhaltenstendenzen in definierten Situationen). Im Kontext von Informations- und Kommunikationstechnologien ist Informatik eine zentrale Disziplin. Darüber hinaus spielen auch betriebswirtschaftliche oder juristische bzw. arbeitsrechtliche Aspekte eine Rolle.

■ **Abb. 1.1.** Basisdisziplinen sowie Teildisziplinen der Psychologie als wissenschaftliche Grundlage der Human-Factors-Forschung und -Anwendung



Wir betrachten die Psychologie als eine zentrale Basisdisziplin von Human Factors, die in ihren verschiedenen Teildisziplinen theoretische Grundlagen hinsichtlich des Denkens und Handelns in komplexen Handlungsfeldern liefert, wie folgende Beispiele deutlich machen:

- **Allgemeine Psychologie** – liefert Theorien zu grundlegenden Prinzipien des menschlichen Denkens, Handelns und Erlebens; dazu gehört sowohl die Aufnahme, Speicherung, Verarbeitung und Generierung von Information als auch Grundlagen, Bedingungen und Ursachen von Motivation und Emotion. Ebenfalls mithilfe von Theorien der allgemeinen Psychologie können Denk- und Handlungsfehler post hoc erklärt und manchmal sogar vorhergesagt werden.
- **Differenzielle Psychologie und Diagnostik** – beschäftigen sich im Gegensatz zur allgemeinen Psychologie, die nach allgemeinen Prinzipien menschlichen Erlebens und Handelns forscht, mit den Unterschieden im Erleben und Handeln zwischen einzelnen Menschen bzw. Gruppen von Menschen. Insbesondere im Anwendungskontext spielt differenzielle Psychologie beispielsweise in der Eignungsdiagnostik und differenziellen Arbeitsgestaltung eine wichtige Rolle.
- **Arbeits- und Organisationspsychologie** – bezieht sich auf Erwerbsarbeit, und zwar geht es um die Beschreibung, Erklärung und Vorhersage des Erlebens und Handelns von Menschen bei der Ausführung ihrer Arbeitstätigkeiten. Aufgabengebiete der Arbeitspsychologie sind Themen wie Arbeitsmotivation, Arbeitsanalyse, -gestaltung und -bewertung, Belastung und Beanspruchung und im Rahmen von Organisationen Arbeits- und Systemsicherheit. Organisationspsychologie fokussiert eher Führungsprozesse, Teamarbeit und Personaleignung und -entwicklung.
- **Sozialpsychologie** – befasst sich mit menschlichem Denken und Handeln unter dem Einfluss sozialer Faktoren, d. h. unter dem Einfluss realer oder vorgestellter Gegenwart anderer Menschen. Zentrale Themen sind Einstellungen und Werthaltungen, Gruppenstrukturen und Gruppenprozesse.

Diese Teildisziplinen wurden beispielhaft herausgegriffen, um die Relevanz vielfältiger psychologischer

Erkenntnisse für Human Factors aufzuzeigen. Darüber hinaus sind natürlich Wissen und Erkenntnisse aus weiteren Teildisziplinen der Psychologie von Bedeutung, wie beispielsweise der physiologischen Psychologie oder Entwicklungspsychologie (in Hinblick auf Veränderungen von kognitiven Prozessen über die Lebensspanne).

## 1.2 Verwandte Disziplinen

Eine Analyse der verwandten Disziplinen von Human Factors – Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Ingenieurpsychologie und Arbeits- und Organisationspsychologie – macht deutlich, dass eine Vielzahl an Begriffen existiert, die in eine ähnliche Kategorie wie Human Factors fallen und die von einigen Autoren sogar synonym verwendet werden, von anderen wiederum gegeneinander abgegrenzt werden. Den größten Überschneidungsbereich bilden die Begriffe und Inhalte von »Arbeitswissenschaft«, »Ergonomie«, »Ingenieurpsychologie« und »Arbeits- und Organisationspsychologie«. Es gibt jedoch keine allgemein akzeptierte Definition. Vielmehr hat jede Disziplin Vertreter, die eher engere Grenzlinien ziehen, und solche, die in ihre Definition die verwandten Disziplinen integrieren.

»Arbeitswissenschaft« und »Ergonomie« werden hier synonym gebraucht, denn der Begriff »Ergonomie« setzt sich aus den 2 griechischen Wörtern »ergon« (Arbeit) und »nomos« (Regel, Gesetz) zusammen, und somit kann Ergonomie als die Wissenschaft von der Arbeit definiert werden. Zentrale Themen der Ergonomie sind Anpassung der Arbeit (Arbeitsplatz, Arbeitsablauf, Arbeitsumgebung) an den Menschen und die Anpassung des Menschen (Qualifikation, Fähigkeiten, Fertigkeiten) an die Arbeit.

Bokranz & Landau (1991) nennen 3 Gegenstandsbereiche der Arbeitswissenschaft, die Gestaltung der **technischen, organisatorischen** und der **sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen**:

»Arbeitswissenschaft ist die Systematik der Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen mit dem Ziel, dass die arbeitenden Menschen in produktiven und effizienten Arbeitsprozessen

- schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorfinden,
- Standards sozialer Angemessenheit sowie Entlohnung und Kooperation erfüllt sehen,
- Handlungsspielräume entfalten, Fähigkeiten erwerben und in Kooperation mit anderen ihre Persönlichkeit erhalten und entwickeln können.« (S. 19)

Diese Definition macht deutlich, dass die Arbeitswissenschaft insbesondere den Aspekt einer **förderlichen Arbeitsgestaltung** für den Menschen thematisiert (s. auch Wickens, Gordon & Liu, 2004). Der Fokus liegt auf dem arbeitenden Menschen und dessen Sicherheit und Wohlergehen. Der Mensch als aktiv Handelnder steht nicht im Zentrum, er ist vielmehr derjenige, der die entsprechend gestaltete Arbeitswelt reaktiv wahrnimmt. Damit wird deutlich, dass diese Thematik nur ein Teilaspekt von Human Factors beinhaltet.

Andere Autoren wie z. B. Salvendy (2006), Christensen (1986) und auch die International Ergonomics Association (IEA, 2000) sehen dagegen »Human Factors« und »Ergonomics« als 2 unterschiedliche Begriffe für die gleiche Disziplin. So lautet die im Jahr 2000 von der IEA verabschiedete offizielle Definition:

»Die Ergonomie (oder human factors) ist die wissenschaftliche Disziplin, welche sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Menschen und anderen Elementen eines Systems beschäftigt, sowie die berufliche Tätigkeit, welche die Theorie, Prinzipien, Daten und Methoden zur Gestaltung anwendet, um das menschliche Wohlbefinden und die gesamte Systemleistung zu verbessern.«

In weiteren Erläuterungen weist der Rat darauf hin, dass Ergonomie systemorientiert und holistisch alle Arten der menschlichen Aktivität umfasse, und schließt damit Sport und Freizeit ein. Zudem wird betont, dass es die Aufgabe der Ergonomie sei,

»[...] Aufgaben, Arbeiten, Produkte, Umgebungen und Systeme so zu gestalten und zu evaluieren, damit diese den Bedürfnissen, Fähigkeiten und Einschränkungen der Personen entsprechen.« (IEA, 2000)

Dabei sollen physische, kognitive, soziale, organisatorische, umgebungsbedingte und andere relevante Faktoren berücksichtigt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Ergonomie wird von Autoren mit einem breiten Disziplinverständnis gleichbedeutend mit Human Factors als eigenständige und unabhängige Disziplin mit dem Fokus auf Mensch-Technik-Interaktionen gesehen, und zwar unter einem gemeinsamen Blickwinkel von Wissenschaft, Technik, Anwendung und Management mit dem Ziel, menschenverträgliche Systeme zu gestalten (Karwowski, 2006). Gleichwohl liegt aber auch eine sprachliche Konfusion vor, weil »Ergonomics« im amerikanischen Sprachraum mit »Human Factors« gleichgesetzt wird, während im europäischen Sprachraum »Ergonomie« lediglich als die Disziplin Arbeitswissenschaft und damit als Teilbereich von Human Factors verstanden wird.

Wir unterscheiden im Folgenden 3 Disziplinen, die zwar mit Human Factors eng verwandt sind, die aber jeweils einen anderen Schwerpunkt betonen:

- Ergonomie/Arbeitswissenschaft
- Ingenieurpsychologie
- Arbeits- und Organisationspsychologie

Die Gemeinsamkeit dieser 3 Disziplinen besteht in der Suche und in der Anwendung von Erkenntnissen zum Zusammenwirken von Mensch und Technik mit dem Ziel, diese Interaktion so zu gestalten, dass sie den Bedürfnissen und Fähigkeiten des Menschen gerecht wird. Unterschiedlich wird dabei die **Gestaltung der Interaktion** gesehen (■ Tab. 1.1). Dabei ist der Überschneidungsbereich groß, und eine adäquate Analyse und Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion muss in der Regel diese 3 Disziplinen aufeinander beziehen und integrieren. Die Tabelle konzentriert sich daher auf Unterschiede, wohl wissend, dass eine eindeutige Abgrenzung nicht möglich ist.

❗ **Während in der klassischen Ergonomie/Arbeitswissenschaft der Schwerpunkt auf der physiologischen und anthropometrischen Dimension liegt, wird in der Ingenieurpsychologie der technische Blickwinkel mit dem psychologischen verbunden, und in der Arbeits- und Organisationspsychologie steht das Verhalten von Menschen bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten im Organisationskontext im Vordergrund.**

■ **Tab. 1.1.** Verwandte Disziplinen von Human Factors

	<b>Ergonomie/Arbeitswissenschaft</b>	<b>Ingenieurpsychologie</b>	<b>Arbeits- und Organisationspsychologie</b>
Definition	Wissenschaft, die sich mit der Analyse und Gestaltung der Wechselwirkung zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst	Wissenschaft vom menschlichen Verhalten bei der Bedienung von Systemen	Wissenschaft vom Erleben und Verhalten von Menschen bei der Ausführung ihrer Arbeitstätigkeiten im Organisationskontext
Ziel	Wohlbefinden des Menschen und Leistung des Gesamtsystems optimieren	Anpassung des Systemdesigns an menschliche Faktoren, Fehler verhindern durch intelligentes Design	Erkennen und Verstehen generalisierbarer psychologischer Prinzipien, um Organisationen und technische Systeme entsprechend zu gestalten
Basisdisziplin	Physiologie, Medizin	Ingenieurwissenschaften	Psychologie

### 1.3 Wurzeln von Human-Factors-Forschung

In diesem Kapitel sollen die Gestaltungsprinzipien, die im Laufe des letzten Jahrhunderts als Antworten auf technische und gesellschaftliche Änderungen zentrale Bedeutung für Mensch und Sicherheit erlangten, aufgezeigt werden. Die Betonung liegt dabei nicht auf historischer Vollständigkeit, sondern auf dem Beispielcharakter für die jeweilige Sicht auf den Menschen unter Human-Factors-Gesichtspunkten.

Einen Überblick über die Entwicklung der Disziplin Human Factors in verschiedenen Ländern und die Institutionalisierung der entsprechenden Berufsorganisationen und Fachverbände geben Meister (1999) und Karwowski (2006).

Noch lange bevor das Thema Arbeitstätigkeit wissenschaftliches Interesse erlangte, gab es erste systematische Analysen von Arbeitssituationen von Georgius Agricola (1494–1555), einem Arzt und langjährigen Bürgermeister von Chemnitz. Er untersuchte alle möglichen arbeitsbedingten Erkrankungen, aber auch Unglücksfälle von Bergleuten im Berg- und Hüttenwesen. Darüber hinaus beschrieb er einige vorbeugende Maßnahmen und veröffentlichte seine Erkenntnisse in 12 Büchern (1556). Diese ausschließlich medizinische Sicht auf Arbeitstätigkeiten ist zwar auch sicherheitsorientiert, jedoch in ihrem Fokus eher als Ursprung der Arbeitsmedizin zu bewerten.

#### 1.3.1 Scientific Management

Die echte Geburtsstunde von Human Factors wird in der Entwicklung der technischen Systemgestaltung (Scientific Management, 1911) von Frederic W. Taylor gesehen. Die Vision Taylors »Wohlstand für alle« sollte durch die Optimierung von Management, Arbeit und Unternehmen erreicht werden.

»Das Hauptaugenmerk einer Verwaltung sollte darauf gerichtet sein, gleichzeitig die größte Prosperität des Arbeitgebers und des Arbeitnehmers herbeizuführen und so beider Interessen zu vereinen.« (Taylor, 1913, S. 7)

Erstmals erfolgten detaillierte Analysen des konkreten Arbeitsprozesses. So erstellte Taylor schon 1882 minutiöse Zeit- und Bewegungsstudien, um für jeden Handgriff den besten Weg (»**one best way**«) zu finden, der unter den gegebenen Bedingungen den maximalen Wirkungsgrad, also die maximale Arbeitsleistung, ermöglichte. Diese Arbeitsstudien bestanden aus Tausenden von Beobachtungen pro Arbeitseinheit und darauf aufbauend klaren Anweisungen kleinster Tätigkeitselemente für die Arbeiter sowie individuellen Anreizsystemen und einem täglichen Feedback bezüglich der Leistungen des Vortages. Konkrete Merkmale dieser Form der Arbeitsgestaltung waren extreme Partialisierung und Wiederholung von Tätigkeiten mit der Folge geringster Anforderungen an die Qualifikation des Arbeitneh-

mers. Darüber hinaus sollten individuelle Leistungen durch die spezifische Gestaltung von Werkzeugen gesteigert werden.

#### Beispiel

Taylors bekanntestes Experiment war das **Schaufelexperiment**. Seine Hypothese war, dass für einen »Schaufler« ein bestimmtes Gewicht pro Schaufelbewegung optimal ist. Seine Untersuchungsfragen waren z. B.: Ist die Tagesleistung beim Schaufeln von Erde am höchsten, wenn eine kleinere Schaufel (8,5 kg) bei hoher Frequenz, eine mittelgroße (9,5 kg) mit mittlerer Frequenz oder eine große (11 kg) mit niedriger Frequenz verwendet wird? Er fand durch systematische Variation über einige Wochen heraus, dass eine Schaufellast von 9,5 kg optimal für Erdarbeiten ist.

Die vorherrschende Idee dieses Ansatzes war Effizienzsteigerung. Das Optimierungspotenzial wurde aber lediglich in der Relation von Arbeitsmittel und Person gesehen, es gab im Scientific Management noch keine integrative Sicht des Gesamtsystems Mensch, Technik und Organisation.

Zusätzlich zu diesen Detailstudien entwickelte Taylor das Prinzip der Personalauswahl, den »**rechten Mann am rechten Platz**«, der auch geschult werden sollte, um ineffizientes Handeln zu vermeiden. Das Ziel solcher Schulungen war optimale Arbeitsleistung, was bedeutete:

»Eine erste Kraft ist der Arbeiter, der genau tut, was ihm gesagt wird, und nicht widerspricht.«  
(Taylor, 1913, S. 49)

Diese Sicht Taylors auf den arbeitenden Menschen zeigt, dass dieser auf eine nichtintentionale und nichtreflexive Maschine reduziert wird (»Arbeiter gehorchen ähnlichen Gesetzen wie Teile einer Maschine«). Somit muss ein solcher Ansatz scheitern, sobald Problemlösen, Kreativität und Verantwortung gefordert sind. Allerdings mag die tayloristische Effizienzsteigerung für hoch routinisierte Tätigkeiten ein Zugewinn an Störungsfreiheit bedeuten und damit einen Beitrag zu einem sicheren Arbeitsumfeld leisten. Auch das prinzipielle Vorgehen der klas-

sischen Ergonomie, nämlich Maschinen und Umgebungsvariablen (z. B. Lichtverhältnisse, Tischhöhe etc.) an die körperliche Leistungsfähigkeit des Menschen anzupassen, um Unfälle und Gesundheitsschäden zu verhindern, entspricht durchaus Teilzielen des Scientific Management.

Jedoch wurde das Ziel des menschlichen Wohlbefindens bei Taylor in erster Linie motivational unter dem Aspekt Entlohnung berücksichtigt und weitere motivationale und kognitive Aspekte wie z. B. die Bedeutung des sozialen Kontextes sowie die Auswirkungen stark arbeitsteilig organisierter Tätigkeiten auf die Psyche des Arbeiters ignoriert. Dieses Defizit zeigte sich auch schon sehr bald in den Ergebnissen einer Untersuchung der Auswirkungen des Scientific Management in 35 amerikanischen Industriebetrieben:

»[...] Namentlich versagt die wissenschaftliche Betriebsführung vollständig mit Rücksicht auf die Bewertung des menschlichen Faktors bei der Arbeit.«  
(Frey, 1920, S. 4)

### 1.3.2 Psychotechnik

Münsterberg gilt als Begründer der »Psychotechnik« (obwohl der Begriff erstmals von Stern 1903 gebraucht wurde), und zwar bezeichnete er damit die gesamte angewandte Psychologie. In seinem Buch »Psychologie und Wirtschaftsleben – Lehrbuch zu Aufgaben der Psychotechnik in der Industrie« (1912) behandelte er Themen wie Eignung und Auslese, Training, Technikanpassung, Ermüdung, Leistungsfähigkeit etc. Diese breite Ausrichtung von Münsterberg wurde allerdings nicht beibehalten, sondern die Psychotechnik wurde auf Eignungsdiagnostik und Personalauswahl reduziert. Die Selektion der geeigneten Person für eine Arbeitsstelle galt als Realisierung der ökonomischen sowie der persönlichen Zielsetzungen. Letztlich aber ging es während des 1. Weltkriegs und in der Nachkriegszeit darum, den Bedarf der jeweiligen Nachfrager an Arbeitskräften möglichst schnell und mit geringen Anlernzeiten zu befriedigen.

In ihrer Position als Wissenschaftler legten die Vertreter der Psychotechnik Wert darauf, keine normativen Aussagen zu treffen und keine Ziele zu hin-

terfragen. Somit fiel auch im Folgenden die Anpassung an die NS-Ideologie bzw. die Vereinnahmung durch diese nicht schwer, und die Methoden der Psychotechnik fanden Einzug in diverse Institute nationalsozialistischer Provenienz. Somit verschwand der Begriff »Psychotechnik« nach 1945; die Themen der Psychotechnik leben teilweise in der Eignungsdiagnostik weiter.

### 1.3.3 Soziale Systemgestaltung: der Human-Relations-Ansatz

In den 1930er Jahren rückten der **Mensch als soziales und motiviert handelndes Wesen** und damit menschliche Bedürfnisse als zentrale Determinanten industrieller Arbeit in den Vordergrund. Der Grundstein für diese neue Sichtweise wurde durch Untersuchungen von Mayo (1933) und Roethlisberger und Dickson (1939) in den Hawthorne-Werken der Western Electric Company gelegt, die als Hawthorne-Studien bekannt geworden sind.

Die ursprüngliche Intention dieser Studien war die Untersuchung der Frage nach den Auswirkungen unterschiedlicher Umweltbedingungen auf die Arbeitsleistung. Diese ersten Untersuchungen standen somit in der Tradition des Scientific Management (s. oben). Zunächst wurden die erwarteten Ergebnisse erzielt, beispielsweise wurde mit zunehmender Beleuchtung die Arbeitsleistung verbessert. Aber es gab darüber hinaus eine Reihe unerwarteter Ergebnisse: So verbesserte sich z. B. die Arbeitsleistung bei fast jeder Veränderung der Variablen, d. h. sowohl bei stärkerer als auch bei schwächerer Beleuchtung wurde die Arbeitsleistung besser. Ebenfalls verblüffend war das Ergebnis, dass auch eine Verbesserung der Arbeitsleistung in der Kontrollgruppe stattfand – in der Gruppe, in der keine experimentellen Veränderungen eingeleitet worden waren.

Diese Ergebnisse wurden erklärt mit einer Motivationssteigerung der Arbeiterinnen durch das Wissen, an einer Studie teilzunehmen. Zum anderen waren es die zwischenmenschlichen Beziehungen zwischen Gruppenmitgliedern, Vorgesetzten und Forschern, die die Zufriedenheit der Mitarbeiterinnen und in der Folge die Arbeitsleistung erhöhten. Damit wurde Arbeitsmotivation im sozialen Kontext der Arbeitsumgebung als eine zentrale Variable

erkannt, welche heute in vielen Bereichen z. B. in leistungsabhängigen Belohnungssystemen oder im betrieblichen Vorschlagswesen eine große Rolle spielt.

### 1.3.4 Soziotechnische Systemgestaltung

Der soziotechnische Ansatz betont die **Interaktion der sozialen und der technischen Teilsysteme eines Arbeitssystems**. Es gilt, dass keines der Teilsysteme ohne Berücksichtigung des anderen optimiert werden kann, da sie vielfältig miteinander zusammenhängen. Dieser Ansatz wurde zuerst vom Tavistock Institute of Human Relations entwickelt.

Untersuchungen im englischen Kohlebergbau (Trist & Bamforth, 1951) ergaben, dass die Einführung einer verbesserten Technologie anstelle der erwarteten Produktivitätssteigerung zu Verlusten aufgrund von Fehlzeiten und interpersonellen Konflikten führte. Es stellte sich heraus, dass die Ursache in den durch die Einführung der neuen Technologie veränderten sozialen Arbeitsstrukturen lag. Vorher hatten die Bergleute in festen Teams immer am selben Ort zusammengearbeitet und waren gemeinsam für die vollständige Tätigkeit zuständig. Ihre Löhne, aber auch ihre Sicherheit unter Tage hingen von der Zusammenarbeit ab. Die neue Longwall-Methode sah eine arbeitsteilige Zerlegung der Tätigkeiten auf verschiedene Schichten vor und beraubte so die Bergleute ihrer Freiheit in der Detailplanung, aber auch ihres sozialen Unterstützungssystems. Wurde jedoch die neue Methode unter Beibehaltung der vorhandenen sozialen Struktur eingeführt, trat die erwartete Produktivitätssteigerung ein. Damit wurde nachgewiesen, dass die Interaktion der sozialen und technischen Teilsysteme eine zentrale Rolle spielt, umso mehr in der modernen Informationsgesellschaft, in der soziale Kommunikation unmittelbarer Teil der Wertschöpfungskette ist.

Der soziotechnische Ansatz blieb bis in die 1990er Jahre ein wichtiges Paradigma in der Arbeits- und Systemgestaltung und wurde erst in jüngster Zeit ergänzt durch Konzepte, die Technik nicht als eigenes Subsystem begreifen, sondern als integralen Bestandteil menschlicher Kultur und sozialer Praktiken (z. B. Kaptelinin & Nardi, 2006).

### 1.3.5 Kognitive Ergonomie

---

Mit dem massiven Aufkommen von Informations- und Kommunikationstechnologien wurden Fragen relevant, wie der Mensch seine Umwelt wahrnimmt, interpretiert, speichert und wieder abrufen, welche Gesetzmäßigkeiten also die mentalen Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen determinieren. Hollnagel (2001) spricht in diesem Zusammenhang von einem neuen Rahmen, der abweichend von den Prinzipien und Methoden der klassischen Ergonomie notwendig wurde, und diesen bezeichnet er als »kognitive Ergonomie«.

Kognitive Ergonomie fokussiert demnach neben der konkreten Arbeitssituation und Aufgabe auf mentale Prozesse, die in Zusammenhang mit jedweder Mensch-System-Gestaltung zum Tragen kommen. Hier geht es nicht nur um die Frage, welche Informationen das jeweilige System bereitstellt, sondern es wird bei der Darstellung von Information gleichermaßen berücksichtigt, in welcher Weise Menschen Informationen wahrnehmen, selektieren und als Basis ihrer weiteren Handlungen integrieren. Neuere Systeme gehen über diese kognitive Schnittstelle hinaus und versuchen auch emotionale und motivationale Aspekte in der Mensch-System-Gestaltung zu berücksichtigen. Beispielsweise wird bei der Gestaltung von aktiven Fahrerassistenzsystemen (FAS) zur Vermeidung von Unfällen angestrebt, Fahrer in ihrer Interaktion mit Fahrzeug und Umwelt zu unterstützen. Dabei stellt sich die Frage, wie Informationen über kritische Situationen so vermittelt werden können, dass der Fahrer oder die Fahrerin den Hinweis oder die Warnung auch akzeptiert und es damit zu der gewünschten Reaktion kommt – und nicht Abwehrreaktionen wie Reaktanz ausgelöst werden.

### 1.3.6 Aktuelle Strömungen und Themen

---

Die großen Industrieunfälle der 1980er Jahre (Bhopal, 1984; Tschernobyl, 1986; Herold of Free Enterprise, 1987; Ölplattform Piper Alpha, 1988) haben in hohem Ausmaß die jüngsten Entwicklungen der Human-Factors-Forschung und Anwendung geprägt: Sicherheit wurde das zentrale Human-Factors-

Thema. Analysen der Ursachen dieser und weiterer Katastrophen führten zur vermehrten Integration von Menschen in Sicherheitskonzepte. Angetrieben durch die Erfahrung, dass das Ersetzen menschlicher Entscheidungen durch Automatisierung (► Kap. 19) nicht alle Unfälle vermeiden kann, nahm seit den 1980er Jahren insbesondere die zivile Luftfahrt eine Vorrangstellung in der Entwicklung Human-Factors-orientierter Sicherheitskonzepte ein. Aktuell »entdecken« Branchen wie Medizin und Prozessindustrie die menschlichen Faktoren als sicherheitsrelevante Ressource.

Durch die Vielfalt der Themen, Disziplinen und Institutionen hat sich bis heute kein einheitliches Bild von Human Factors ergeben. Dennoch lassen sich einige Themen benennen, die die aktuelle Diskussion über verschiedenen Anwendungsbranchen und Forschungsdisziplinen hinweg bestimmen:

#### Sicherheitskultur

Ein Blick auf die oben dargestellten Gestaltungsprinzipien zeigt, dass keiner dieser Ansätze explizit Bezug auf die Organisation nimmt. Diese Situation hat sich seit den 1980er Jahren dahingehend geändert, dass sich Organisationstheorien verstärkt mit der Rolle der Organisation für sicheres Handeln auseinandersetzen. Die Suche nach Optimierung von organisatorischen Strukturen und Prozessen ist immer auch eine sicherheitsrelevante Aufgabenstellung (► Kap. 2 und 9).

#### Entwicklung von Human-Factors-Trainings

Aufbauend auf Forschungsergebnissen zu Einflussfaktoren bei Flugunfällen und Zwischenfällen wurden im Bereich der zivilen Luftfahrt Trainingsprogramme zunächst für Piloten und in der Folge für die gesamte Crew entwickelt und umgesetzt. Diese Crew-Ressource-Management-Trainings bilden inzwischen einen wesentlichen Baustein der Sicherheitskultur von Luftfahrtunternehmen (Orlady & Orlady, 1999, ► Kap. 9 und 12). Mit zeitlicher Verzögerung und einem gestiegenen Bewusstsein für Sicherheitsfragen wurden diese Konzepte in die Medizin über die Anästhesie in den OP-Saal getragen (Helmreich, 2000, ► Kap. 13). Dieses Feld ist aktuell in einer uneinheitlichen und dynamischen Entwicklung begriffen. Auch in anderen Branchen, z. B. Prozessindustrien (► Kap. 14), Militär (► Kap. 15) und

Polizei (► Kap. 16) steigt das Interesse an Human-Factors-Trainingsansätzen (► Kap. 18).

### Beachtung des Teams

Zunehmend steht das Team im Fokus des Interesses, nicht mehr der Operator, der das System bedient. Dadurch werden teambezogene Themen wie Kommunikation (► Kap. 8) und Führung (► Kap. 10) unter dem Aspekt Sicherheit neu beachtet. Besonders deutlich wird dies bei der Relevanz des gemeinsamen Problemverständnisses («shared mental models», ► Kap. 7) und des geteilten Situationsbewusstseins («situation awareness», ► Kap. 4). Neu hinzu kommen Konzepte für sicheres Handeln in verteilten Teams (► Kap. 11).

### Neubestimmung des Handlungsspielraums

Standardisierung (► Kap. 17) und Automatisierung (► Kap. 19) sind immer schon Themen der Human-Factors-Forschung gewesen. Aktuell werden ihre Nebenwirkungen diskutiert, z. B. Verlust von Fertigkeiten, Verantwortungsdiffusion etc. Hier spielt auch das Bedürfnis der Handelnden nach Autonomie eine Rolle.

### Nutzerzentriertes («user-centered») Design

Zunehmend wird auch von der technischen Seite erkannt, dass die Mehrzahl unserer Produkte immer noch der tayloristischen Maxime des »one best way« folgen; diese Produkte sind in einer Weise entwickelt und hergestellt, dass sie nur von einem kleinen Teil der intendierten Nutzer tatsächlich erfolgreich und sicher genutzt werden können. Allerdings gibt es vermehrt Beispiele von Produktentwicklungsprozessen, die die zukünftigen Nutzer frühzeitig in den Prozess einbeziehen. In eine ähnliche Richtung geht »inclusive« Design, ein Paradigma, das anstrebt, Produkte und Dienstleistungen in einer Weise zu gestalten, dass sie die Bedürfnisse aller Menschen – ob alt oder jung, bewegungseingeschränkt oder nicht – berücksichtigt, ohne dass sie über ein »spezielles« Design verfügen. Das Thema ist hoch aktuell, da es mit dem demografischen Wandel in unserer Gesellschaft hervorragende Marktchancen durch neue Zielgruppen verspricht (Machate & Burmeister, 2003). Hier könnte die Gestaltung risikoreicher Systeme durchaus wertvolle Anregungen aufnehmen.

Noch nicht wirklich angekommen in der Human-Factors-Forschung und -Anwendung sind

Emotion und Motivation als Grundlage des Handelns (► Kap. 5 und 6). Dies ist ein Zukunftsfeld, z. B. bei der Analyse von Tätigkeitsanforderungen oder bei der Beurteilung von Automatisierungskonzepten. Ziel ist eine handlungspsychologische Grundlegung von Human Factors.

## 1.4 Methoden

Wie für jedes Forschungsfeld stellt sich die Frage, mit welchen Forschungsmethoden relevante und verlässliche Ergebnisse gewonnen werden können. Entsprechend der Breite des Feldes gibt es eine Vielzahl von Methoden und Forschungsansätzen. Das Spektrum reicht von experimentellen Untersuchungen im Labor über die Rekonstruktion von Einzelereignissen bis hin zu prospektiven Wirkungsbeurteilungen. Human-Factors-Forschung versucht dabei nicht nur wie andere Wissenschaften, überprüfbare Kausalzusammenhänge zu identifizieren, sondern legt auch großen Wert auf ökologisch valide Forschung, bei der relevante Problemstellungen realitätsnah untersucht werden. Das **Forschungsziel** ist nicht nur Erkenntnisgewinn, sondern insbesondere auch ein Beitrag zur **Lösung konkreter Probleme**:

- Wie lässt sich die Systemgestaltung verbessern?
- Welche Handlungsaspekte sind am fehleranfälligsten, und wie lassen sich diese Fehlerquellen vermindern?
- Welche Kenntnisse müssen Novizen vor Arbeitsbeginn vermittelt werden, und welche Trainingsform eignet sich am besten?

Diese Pragmatik der Fragestellungen hat die Human-Factors-Forschung mit anderen Anwendungsfächern wie den Ingenieurwissenschaften gemein, und so werden auch psychologische Kenntnisse dabei als »Technologie« eingesetzt und auf ihre Nützlichkeit zur Lösung konkreter Probleme geprüft. Erkenntnistheoretisch darf angezweifelt werden, ob bei der labormäßigen Isolation einer menschlichen Handlung aus dem Kontext der Tätigkeit noch das reale Phänomen untersucht wird, oder ob man, wie die Vertreter des Naturalistic Decision Making (Schraagen, Militello, Ormerod & Lipshitz, 2008), darauf bestehen sollte, menschliches Handeln soweit wie möglich in der realen Komplexität des Feldes zu untersuchen. Wir ver-

treten die Auffassung, dass Laborexperimente zur Überprüfung von Kausalzusammenhängen und beim Vergleich von klar abzugrenzenden Bedingungen auch für die Human-Factors-Forschung wertvolle Instrumente darstellen; sie sollten jedoch nicht wie sonst häufig in der Psychologie als einzig akzeptable Form des Erkenntnisgewinns angesehen werden.

### 1.4.1 Forschungsmethoden

Viele Forschungsmethoden der Sozialwissenschaften finden auch in der Human-Factors-Forschung Anwendung:

- **Verhaltensbeobachtungen** im Labor oder im Feld dienen dazu, Handlungsabläufe zu untersuchen und auch nichtbewusste Reaktionen zu erfassen, beispielsweise bei der Systemnutzung, zu Arbeitsbelastungen oder bei Gruppenprozessen. Es werden sowohl Reaktionszeitmessungen, Augenbewegungen, physiologische Messungen als auch standardisierte Verfahren wie Online-Kodierung von Handlungen durchgeführt.
- **Interviews** werden häufig eingesetzt, wenn Erfahrungen zur Rekonstruktion von Unfällen oder bei der Ermittlung von Expertenwissen erhoben werden sollen und diese durch Beobachtungen nicht oder nur mit erheblichem Aufwand zu leisten wären. Mit speziellen Interviewtechniken wie der Critical Incident Analysis (Flanagan, 1954) oder Cognitive Task Analysis (Crandall, Klein & Hoffman, 2006) soll es Informanten erleichtert werden, sich an Einzelheiten und nicht bewusstseinspflichtige Handlungen zu erinnern.
- **Fragebögen** kommen insbesondere zur Einstellungsmessung, z. B. im Bereich Sicherheitskultur, vor. Dabei handelt es sich um Selbstbeschreibungen, mit denen zwar sehr effizient Informationen von großen Personengruppen erhoben werden können, die jedoch stark durch Verzerrungstendenzen (z. B. soziale Erwünschtheit) beeinträchtigt werden können. Die meisten Verfahren wurden für einen spezifischen Anwendungskontext entwickelt; es gibt wenige, die auf einer theoretischen Basis aufbauen.
- **Organisationsanalysen** oder makroergonomische Verfahren stellen meist eine Kombination von verschiedenen Einzelmethoden dar, mit

denen Handlungsbedarf für Systemgestaltung oder organisationale Veränderungen sowie deren Auswirkungen erfasst werden (z. B. MTO-Analyse, Strohm & Ulich, 1997).

Eine umfassende Übersicht zu Einzelmethoden bieten Dunckel (1999) sowie Stanton, Hedge, Brookhuis, Salas & Hendrick (2005). Im Folgenden soll kurz auf einige spezifische Methoden eingegangen werden, die in jüngerer Zeit besondere Bedeutung erlangt haben: Simulationen als Zwischenform von Labor- und Felduntersuchungen sowie retrospektive und prospektive Untersuchungen.

### 1.4.2 Ausgewählte spezifische Methoden

#### Simulationen

Simulationen bilden relevante Aspekte eines Systems unter Laborbedingungen ab und verbinden damit Realitätsnähe mit experimenteller Kontrolle. So können vergleich- und wiederholbare Bedingungen für verschiedene Probanden hergestellt und seltene Vorfälle oder gefährliche Szenarios zu Forschungs- und Trainingszwecken nachgeahmt werden. Dabei gibt es High-fidelity-Simulationen, die das Ambiente und das technische System möglichst genau nachempfinden, wie dies bei Flugsimulatoren üblich ist und in der Medizin mit Patientensimulatoren gegenwärtig versucht wird. Mindestens ebenso wichtig sind jedoch die psychologische Plausibilität und das Generieren von anspruchsvollen, sich dynamisch verändernden Szenarien (vgl. z. B. Tactical Decision Games; Crichton, Flin & Rattray, 2000).

#### Retrospektive Analysen

Retrospektive Analyse von Ereignissen werden in der Human-Factors-Forschung insbesondere zur Ursachenklärung von organisational verursachten Unfällen (»organizational accidents«; Reason, 1997), an denen viele Menschen aus unterschiedlichen Ebenen eines Betriebes beteiligt waren, eingesetzt. Anhand von Dokumenten und Interviews werden Informationen zum Verlauf und zu den zugrundeliegenden Ursachen (»root causes«) zusammengetragen. Derartige Analysen sind wegen der Seltenheit von schwerwiegenden Unfällen methodisch

gesehen Fallstudien, d. h., sie liefern Erkenntnisse, die nicht auf anderem Weg zu gewinnen wären und die (auch in ihrer historischen Einzigartigkeit) Anhaltspunkte zur Theorienbildung und -prüfung bieten. Allerdings ist das zur Verfügung stehende Material nicht unbedingt zur psychologischen Analyse geeignet, und man sollte typischen Analysefehlern wie vorzeitiger Hypothesenbildung, Rückschaufehlern und Bestätigungstendenzen Rechnung tragen. Auch kann mit einer Analyse eines Ereignis-hergangs noch keine Kausalität nachgewiesen werden. Dazu empfiehlt es sich, die Plausibilität von Alternativmodellen zu prüfen.

### Prospektive Untersuchungen

Insbesondere in der angewandten Forschung werden auch prospektive Untersuchungen eingesetzt, bei denen z. B. Wirkungsabschätzungen für neue Arbeitssysteme vorgenommen werden. Hierbei versagen übliche sozialwissenschaftliche Ansätze, da es nicht möglich ist, die zukünftigen Arbeitsplatzinhaber zu beobachten oder zu befragen. Stattdessen werden anhand der Beschreibung des geplanten technischen Systems Arbeitsabläufe imaginiert und von Experten beurteilt (Kirwan & Ainsworth, 1992) oder Kriterien der menschengerechten Arbeitsgestaltung auf geplante Veränderungen angewandt. Insbesondere für Computersysteme werden auch prospektive Methoden wie »mock-ups« (Prototypen auf Papier) und vorgestellte Begehungen (»cognitive walk-throughs«) genutzt.

## 1.5 Fokus und Aufbau dieses Buches

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen verschiedene Möglichkeiten, Human Factors zu verstehen, und skizzieren die inhaltliche und methodische Vielfalt von Human Factors als Forschungsgebiet.

**!** Es gibt nicht »den menschlichen Faktor« in der Interaktion mit technischen Systemen, sondern viele »menschliche Faktoren«, die berücksichtigt werden müssen, wenn Arbeitssysteme sicher und effektiv und für die darin arbeitenden Menschen zuträglich sein sollen.

In diesem Buch fokussieren wir den Aspekt »System-sicherheit« und beleuchten in den folgenden 18 Ka-

piteln **sicheres Handeln** und was Menschen daran hindert oder darin unterstützt. Entsprechend stehen Beispiele und Themen aus Hochrisikobranchen (Luftfahrt, Prozessindustrie, Medizin, Militär, Polizei) im Vordergrund. Je ein Autor der Kapitel 12–16 ist Experte dieser Disziplin, sodass in diesen Kapiteln Praktiker gemeinsam mit Wissenschaftlern die aktuellen Herausforderungen ihrer Branchen im Human-Factors-Bereich beschreiben.

Weiterhin thematisiert dieses Buch, entsprechend dem wissenschaftlichen Hintergrund der meisten Autoren, Human Factors aus einer **psychologischen Perspektive**. Deshalb betrachten wir psychische und organisationale Faktoren stärker als Fragen der technischen Optimierung. Handelnde Menschen stehen hier im Mittelpunkt, d. h., auch Themen wie Organisation und Technologiegestaltung werden im Hinblick auf ihren Einfluss auf sicheres Handeln beschrieben.

Schließlich sind Sicherheit und sicheres Handeln hochgradig praxisrelevant. Um dies zu betonen, beginnen alle Kapitel (außer den 3 einleitenden) mit einem Fallbeispiel, das im Verlauf des jeweiligen Kapitels immer wieder aufgegriffen wird. Damit hoffen wir, die Lesefreundlichkeit und Übertragbarkeit des Gesagten zu erhöhen.

### Aufbau des Buches

Das Buch ist so zusammengestellt und geschrieben, dass es fortlaufend gelesen werden kann. Trotzdem sind die einzelnen Kapitel auch für sich stehend. Zur Unterstützung »stöbernden« Lesens sind Bezüge zu anderen Kapiteln durch Querverweise gekennzeichnet.

Die Human Factors werden in 5 Abschnitten besprochen:

1. **Human Factors und sicheres Handeln** (► Kap. 1–3) beschreibt als grundlegende Konzepte Human Factors, Sicherheit und Fehler:
  - In ► Kap. 2 legen Babette Fahlbruch, Markus Schöbel und Juliane Domeinski die Grundlagen zum Verständnis von Sicherheit und Sicherheitskultur in soziotechnischen Systemen.
  - ► Kap. 3 von Gesine Hofinger zur Fehlerforschung behandelt Fehler und ihre Ursachen im Zusammenhang mit Sicherheit und Unfällen.

## 2. Individuelle und teambezogene Faktoren

(► Kap. 4–8) behandeln die im engeren Sinn psychologischen Human Factors. ► Kap. 4–6 beschreiben individuelle, ► Kap. 7–8 teambezogene menschliche Faktoren:

- Harald Schaub stellt in ► Kap. 4 die basalen psychischen Prozesse der Wahrnehmung und Aufmerksamkeit dar und zeigt ihre Relevanz für Sicherheit.
- Denken, Entscheiden und Handeln als Themen der Handlungspsychologie werden von Winfried Hacker und Rüdiger von der Weth in ► Kap. 5 vorgestellt.
- Dietrich Dörner behandelt in ► Kap. 6 Motivation und Emotion in ihrer Interaktion mit Denkprozessen und zeigt stressbedingte Ursachen für Handlungsfehler.
- Das Handeln in der Gruppe ist Thema des ► Kap. 7 von Petra Badke-Schaub. Sie beschreibt Gruppenstrukturen und -prozesse vor dem Hintergrund von spezifischen Anforderungen und Konstellationen.
- In ► Kap. 8 behandelt Gesine Hofinger Funktionen von Kommunikation, häufige Fehler und sicherheitsförderliche Kommunikationsweisen.

## 3. Organisationale Einflussfaktoren auf sicheres Handeln

(► Kap. 9–11) sind Gegenstand der Kapitel zu Organisation, Führung und neuen Formen der Zusammenarbeit:

- Cornelius Buerschaper stellt in ► Kap. 9 Konzepte der Organisationstheorie vor und gibt einen Überblick über organisationale Einflussfaktoren auf Sicherheit.
- Führung als Schnittstelle des Teams mit der Organisation wird von Gudela Grote in ► Kap. 10 mit Fokus auf Bewältigung von Unsicherheit besprochen.
- ► Kap. 11 behandelt neue Formen der Zusammenarbeit. Kristina Lauche fragt nach Anforderungen an Teams und Organisationen bei verteilter, medienbasierter Kooperation.

## 4. Aktuelle Human-Factors-Herausforderungen und Anforderungen für die Zukunft in verschiedenen Risikofeldern

(► Kap. 12–16) bringen die in den ► Kap. 2–11 behandelten Themen mit Erfahrungen aus der Praxis zusammen:

- In ► Kap. 13 zeigen Peter Dieckmann und Marcus Rall Probleme und Gestaltungsmöglichkeiten für Patientensicherheit in einem sich wandelnden Gesundheitssystem.
- Human-Factors-Herausforderungen in Prozessindustrien sind Thema von ► Kap. 14, in dem Günther Horn und Kristina Lauche auch ein Umdenken des Managements einfordern.
- Markus Bresinsky, Frank Detje und Martin Littschwager stellen in ► Kap. 15 den Transformationsprozess der Bundeswehr als Human-Factors-Herausforderung vor.
- Mit polizeilicher Stabsarbeit, ihren Problemen und Optimierungsmöglichkeiten aus einer Human-Factors-Perspektive befassen sich in ► Kap. 16 Uwe Thieme und Gesine Hofinger.

## 5. Prozesse gestalten im Dienst der Sicherheit

(► Kap. 17–19). Dieser Teil behandelt Standardisierung, Training und Automatisierung als 3 Strategien von Organisationen, Sicherheit des Handelns zu erhöhen:

- Vereinheitlichung des Handelns durch Standardisierung und andere Möglichkeiten des Umgangs mit Komplexität in Organisationen beschreibt Tanja Manser in ► Kap. 17.
- Stefan Strohschneider stellt in ► Kap. 18 Ziele, Rahmenbedingungen und Methoden verschiedener Formen von Human-Factors-Trainings vor.
- Automatisierung und die Probleme ihrer Nutzung durch Menschen behandelt Dietrich Manzey in ► Kap. 19 und beschließt das Buch mit Konzepten menschenzentrierter Systemgestaltung.

## 1.6 Literatur

- Agricola, G. (1556/1953). *De re metallica. Zwölf Bücher vom Berg und Hüttenwesen*. Original: *De re metallica libri XII* Basel 1556/57. Deutsche Neuauflage. Düsseldorf: marix.
- Aktionsbündnis Patientensicherheit e.V. (2006). Handlungsempfehlungen zur Vermeidung von Eingriffsverwechslungen in der Chirurgie. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie*, 1/06, 37–39.
- Bainbridge, L. (1987). Ironies of automation. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (271–283). Chichester: Wiley.

- Bokranz, R. & Landau, K. (1991). *Einführung in die Arbeitswissenschaft*. Stuttgart: UTB.
- Chapanis, A. (1951). Theory and method for analyzing errors in man-machine systems. *Annals of the New York Academy of Science*, 51, 1179–1203.
- Christensen, J. M. (1986). The human factors profession. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors* (pp. 3–16). New York: Wiley & Sons.
- Crandall, B., Klein, G. & Hoffman, R. R. (2006). *Working minds. A practitioner's guide to cognitive task analysis*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Crichton, M., Flin, R. & Rattray, W. A. (2000). Training decision makers – Tactical decision games. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 8 (4), 208–217.
- DIN EN ISO 6385 (2004). *Ergonomie – Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 13407 (2000). *Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme*. Berlin: Beuth.
- DIN EN 894-1 (1997). *Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 1: Allgemeine Leitsätze für Benutzer-Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen. Deutsche Fassung*. Berlin: Beuth.
- Dunckel, H. (Hrsg.) (1999). *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (Vol. 14). Zürich: vdf.
- Fadier, E. & Ciccotelli, J. (1999). How to integrate safety in design: Methods and models. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 9, 367–379.
- Flanagan, J. C. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51, 327–358.
- Frey, J. P. (1920). *Die wissenschaftliche Betriebsführung und die Arbeiterschaft. Eine öffentliche Untersuchung der Betriebe mit Taylor-System in den Vereinigten Staaten von Nordamerika*. Leipzig: Lindner.
- Giesa, H.-G. & Timpe, K.-P. (2000). Technisches Versagen und menschliche Zuverlässigkeit: Bewertung der Verlässlichkeit in Mensch-Maschine-Systemen. In K.-P. Timpe, Th. Jürgensohn & H. Kolrep (Hg.), *Mensch-Maschine-Systeme*. Düsseldorf: Symposion Verlag.
- Hawkins, H. F. (1987). *Human factors in flight*. Hampshire: Gower Technical Press.
- Helmreich, R. L. (2000). On error management: lessons from aviation. *British Medical Journal*, 320, 781–785.
- Hollnagel, E. (1991). The phenotype of erroneous actions: Implications for HCI design. In G. R. S. Weir & J. L. Alty (Eds.), *Human-computer interaction and complex systems* (pp. 73–121). London: Academic Press.
- Hollnagel, E. (2000). Modeling the orderliness of human action. In N. Sarter & R. Amalberti (Eds.), *Cognitive engineering in the aviation domain* (pp. 65–98). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hollnagel, E. (2001). *Cognition as control: a pragmatic approach to the modeling of joint cognitive systems*. Special issue of IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics A: Systems and Humans.
- IEA (2000). International Ergonomics Association. [http://www.iea.cc/browse.php?contID=what\\_is\\_ergonomics](http://www.iea.cc/browse.php?contID=what_is_ergonomics).
- Kapteinlin, V. & Nardi, B. (2006). *Acting with technology. Activity theory and interaction design*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Karwowski, W. (2006). The discipline of ergonomics and human factors. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (pp. 3–31). New York: Wiley & Sons.
- Kirwan, B. & Ainsworth, L. (Eds.) (1992). *A guide to task analysis*. London: Taylor & Francis.
- Machate, J. & Burmeister, M. (Hrsg.) (2003). *User Interface Tuning – Benutzungsschnittstellen menschlich gestalten*. Frankfurt a. M.: Software & Support Verlag.
- Mayo, E. (1933). *Human problems of an industrial civilization*. New York: Macmillian.
- Meister, D. (1999). *The history of human factors and ergonomics*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Münsterberg, H. (1912). *Psychologie und Wirtschaftsleben – Lehrbuch zu Aufgaben der Psychotechnik in der Industrie*. Leipzig: A. J. Barth.
- Orlady, H. W. & Orlady, L. M. (1999). *Human factors in multi-crew flight operations*. Aldershot, UK: Ashgate.
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot: Ashgate.
- Roethlisberger, F. & Dickson, W. (1939). *Management and the worker*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Salvendy, G. (Ed.) (2006). *Handbook of human factors and ergonomics*. New York: Wiley & Sons.
- Schraagen, J. M., Militello, L., Ormerod, T. & Lipshitz, R. (Eds.) (2008). *Macro cognition and naturalistic decision making*. Aldershot: Ashgate.
- Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. & Hendrick, H. (Eds.) (2005). *Handbook of human factors and ergonomics methods*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Strohm, O. & Ulich, E. (Hrsg.) (1997). *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation* (Vol. 10). Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Taylor, F. W. (1911). *The Principles of scientific management*. New York: Harper & Row.
- Taylor, F. W. (1913). *Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung*. München: Oldenbourg.
- Taylor, F. W. (1977). *Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung, mit Einleitungen von R. Vahrenkamp und W. Volpert (Original 1913)*. Weinheim: Beltz.
- Trist, E. L. & Bamforth, K. (1951). Some social and psychological consequences of the longwall method of coalgetting. *Human Relations*, 4, 3–38.
- Wickens, C. D., Gordon, S. E. & Liu, Y. (2004). *An introduction to human factors engineering*. (2<sup>nd</sup> edition) Upper Saddle River NJ: Prentice-Hall.

## 2 Sicherheit

*Babette Fahlbruch, Markus Schöbel und Juliane Domeinski*

### **2.1 Einleitung – 20**

2.1.1 Begriffsbestimmung – 20

2.1.2 Sicherheit in der betrieblichen Praxis – 21

### **2.2 Erklärungsansätze in der Sicherheitsforschung: Warum sind Systeme (un)sicher? – 22**

2.2.1 Modell der fehlerhaften Informationsverarbeitung in Organisationen – 22

2.2.2 Theorie der normalen Katastrophen (Normal Accident Theory) – 23

2.2.3 Theorie der Organisationen mit hoher Zuverlässigkeit  
(»High Reliability Theory«) – 24

### **2.3 Management von Sicherheit in der Praxis – 25**

2.3.1 Ansätze des Sicherheitsmanagements – 25

2.3.2 Strategien und Instrumente des Sicherheitsmanagements – 26

### **2.4 Der tägliche Umgang mit Sicherheit: Konzept der Sicherheitskultur – 29**

2.4.1 Diagnose von Sicherheitskultur – 31

2.4.2 Positive Beeinflussung von Sicherheitskultur – 32

### **2.5 Zusammenfassung und Ausblick – 33**

### **2.6 Literatur – 33**

## 2.1 Einleitung

Sicherheit in Organisationen übt einen starken Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg, die gesellschaftliche Akzeptanz sowie das Wohlbefinden und die Zufriedenheit von Organisationsmitgliedern aus. In der Europäischen Union kommen jährlich über 5000 Menschen durch arbeitsbedingte Unfälle ums Leben. Neben schweren personenbedingten Konsequenzen kommt es zu hohen volkswirtschaftlichen Einbußen, diese können je nach Land zwischen 1% und 3% des Bruttosozialprodukts (OSHA, 2002) betragen.

Die Vermeidung von Unfällen ist somit ein wichtiges Ziel jeder Art von Organisation. Dies gilt sowohl für Arbeitsunfälle, bei denen das Ausmaß des Schadens in erster Linie die ausführende Person betrifft, als auch für organisationale Unfälle, die durch das Zusammentreffen fehlerhafter Einzelfaktoren entstehen und deren Schadensausmaß weit über die eigentlichen Organisationsgrenzen hinausgehen kann.

In diesem Kapitel werden ausgewählte Ansätze und Theorien der Sicherheitswissenschaft vorgestellt, die das menschliche Handeln in Systemen mit hohem Gefährdungspotenzial beschreiben. So werden zunächst unterschiedliche Perspektiven auf das Konzept Sicherheit dargestellt. Dann wird auf Theorien Bezug genommen, die sich mit dem menschlichen Beitrag zur (Un-)Sicherheit in Organisationen mit hohem Gefährdungspotenzial beschäftigen. Es folgt ein Überblick zu strategischen Steuerungsmechanismen und Implikationen des Managements von Sicherheit. Abschließend wird als Ergänzung zur Sichtweise der institutionalisierten Instrumente das Konzept der Sicherheitskultur diskutiert.

### 2.1.1 Begriffsbestimmung

In der alltäglichen Verwendung des Begriffs »Sicherheit« sprechen wir im Allgemeinen (in Anlehnung an ein mathematisches Verständnis) von der 100%igen Wahrscheinlichkeit des Zutreffens einer Aussage oder des (Nicht-)Eintretens eines Ereignisses. Gemäß dieser ergebnisorientierten Perspektive wird in ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen Sicherheit als ein Zustand der voraussichtlich störungsfreien und gefahrenfreien Funktion definiert (ISO/IEC Guide 51,

1999). In diesem Zusammenhang wird Sicherheit als positiver Sollzustand mit einer weiteren Eigenschaft von Systemen gleichgesetzt, der Zuverlässigkeit. Systeme gelten als zuverlässig, wenn eine geforderte Funktion unter gegebenen Arbeitsbedingungen während einer festgelegten Zeitdauer ausfallfrei ausgeführt wird (DIN 40041, 1990). Zuverlässigkeit umfasst demzufolge 3 Aspekte:

- Korrektheit (nach Vorgaben verlaufend)
- Robustheit (System kann auftretende Störungen ausgleichen)
- Ausfallsfreiheit (definierte Sicherheit gegen einen Ausfall)

Ein Begriffsverständnis, das über die ingenieurwissenschaftliche Perspektive hinausgeht, wird in der Forschung zu Organisationen mit hohem Gefährdungspotenzial (z. B. Kernkraftwerke, Öltanker, Flugzeugträger) vorangetrieben. Sicherheit wird hier als Eigenschaft aufgefasst,

»[...] die es dem System gestattet, ohne größere Zusammenbrüche unter vorgegebenen Bedingungen und mit einem Minimum unbeabsichtigten Kontrollverlusts oder Schadens für die Organisation und die Umwelt zu funktionieren.« (Fahlbruch & Wilpert, 1999, S. 56)

Die Sicherheit ergibt sich aus fortwährenden Interaktionen von Organisationsmitgliedern, Strukturen und Regeln sowie Technologien in und außerhalb der Organisation (Gherardi, Nicolini & Odella, 1998). Nicht der störungsfreie Betrieb einzelner Systemkomponenten, beispielsweise eines einzelnen Ventils, sondern das Zusammenwirken von Faktoren wie Regelwerken, Qualifikationen der Operateure, Komponentenabhängigkeiten oder Managementsysteme sind mit einzuschließen, um eine sichere Ausführung sicherheitskritischer Prozesse in der Gesamtorganisation zu gewährleisten. Es steht bei dieser Betrachtung somit nicht mehr nur das einzelne Ergebnis im Vordergrund, sondern auch die kontinuierlich ablaufenden Prozesse, die zu diesem beitragen. Weick & Sutcliffe (2001, S. 43) sprechen in diesem Zusammenhang von einem »dynamischen Nicht-Ereignis«.

Nach diesem Verständnis sind Zuverlässigkeit und Sicherheit unterschiedliche Qualitäten eines

Systems und können unabhängig voneinander auftreten. Dies zeigt sich auch in der Diskussion um Gestaltungsaspekte von Organisationen mit hohem Gefährdungspotenzial (Sagan, 2004). Die Implementierung redundanter Komponenten (zusätzlich vorhandene funktional gleiche oder vergleichbare Ressourcen eines technischen Systems) kann die Zuverlässigkeit einer sicherheitskritischen Systemfunktion erhöhen, da bei Ausfall einer Komponente ihre Funktion durch eine redundante Komponente übernommen wird. Allerdings führt eine zunehmend redundante Systemauslegung auch zu einer erhöhten Systemkomplexität (Perrow, 1987). Diese kann neue, möglicherweise unvorhersehbare Wechselwirkungen bedingen (► Kap. 17.2). Daraus folgt, dass ein System zwar aus zuverlässigen Einzelkomponenten besteht, in der Gesamtheit aber nicht zwangsläufig als sicher einzustufen ist (Marais, Dulac & Leveson, 2004).

**!** **Sicherheit entsteht kontinuierlich aus dem Zusammenwirken von intra- und extraorganisationalen Faktoren (wie z. B. den Organisationsmitgliedern, der Technologie, den Strukturen oder Regeln) und bezeichnet ein Funktionieren ohne größere Zusammenbrüche oder Schäden für die Organisation und die Umwelt, ein sog. dynamisches Nichtereignis.**

### 2.1.2 Sicherheit in der betrieblichen Praxis

Die Förderung von Sicherheit in der betrieblichen Praxis zielt auf die Vermeidung gesundheitlicher Schädigungen der Beschäftigten ab. Sicherheit wird nach diesem Verständnis als gefahrenfreier Zustand bei der Berufsausübung definiert (Skiba, 1997). Nach dem deutschen Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) ist der Arbeitgeber verpflichtet, erforderliche Maßnahmen zur Herstellung sicherer Arbeitsbedingungen durchzuführen. Zudem hat er die Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und diese gemäß sich ändernder Gegebenheiten anzupassen. Die Verhütung von Unfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Erkrankungen hat dabei Vorrang vor Entschädigungen. Die Gesetzesvorlagen verfolgen demnach einen präventiven Weg.

Die Umsetzung von präventiven Maßnahmen kann gemäß dem TOP-Modell des Arbeitsschutzes (Skiba, 1997) erfolgen. Dieses postuliert eine Maßnahmenhierarchie, die technische (T – Vermeidung bzw. Trennung der Gefahr), organisatorische (O – zeitliche Begrenzung der Einwirkung einer Gefahr bringenden Bedingung) und persönliche Voraussetzungen (P – Bereitstellung persönlicher Schutzkleidung oder Unterweisungen) der Arbeit berücksichtigt. Das Konzept der Arbeitssicherheit erlangt in allen klassischen Industrien eine wichtige Bedeutung. Heute werden die Aufgaben im Rahmen integrierter Managementsysteme (IMS) durch eine sinnvolle Verknüpfung mit Qualitäts- und Umweltschutzaspekten verfolgt, wie z. B. im EFQM-Modell for Excellence (EFQM, 1999–2003) oder im St. Galler Konzept für ein Integriertes Qualitätsmanagement (Seghezzi, Fahrni & Herrmann, 2007).

Inwieweit eine Organisation eine umfassende bzw. systemorientierte Strategie hinsichtlich der Gewährleistung von Sicherheit verfolgen sollte, hängt in erster Linie vom Gefährdungspotenzial ihrer Produktionsprozesse ab. Systemsicherheit erhält eine unverzichtbare Bedeutung, wenn aufgrund der verwendeten Technologien bzw. Produktionsmittel ein hohes Gefährdungspotenzial entsteht, wie z. B. in sog. High-hazard-Organisationen: Kernkraftwerke, chemische Anlagen, Flugzeugträger oder Flugsicherungssysteme. Doch Organisationen, denen ein hohes Gefährdungspotenzial innewohnt, müssen nicht zwangsläufig riskant sein, im Gegenteil, das Risiko ist relativ gering. Gemäß Amalberti (2001) ist ein gefahrträchtiges System durch ein Risiko von 10-3 gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass das Risiko (eines »gefährdenden« Systemversagens) größer ist als ein Unfall auf 1000 Ereignisse (vergleichbar mit dem Risiko beim Bungee-Jumping). Systeme mit einem Risikograd von einem Unfall auf 1000 bis 100.000 Ereignissen (10-5) werden als regulierte Systeme bezeichnet. Kernkraftwerke und die zivile Luftfahrt bzw. die europäische Bahn gelten als ultrasichere Systeme (»ultra safe«). Deren Risikograd liegt zwischen einem Unfall auf 100.000 bis zu unter einem Unfall auf 1.000.000 Ereignissen (10-6).

Ultrasichere Organisationen verdanken ihr geringeres Risikopotenzial bestimmten Gestaltungsmerkmalen, die sich oftmals im Design technischer Systeme widerspiegeln. So werden z. B. nach dem

**Prinzip des beschränkten Versagens** (»fail safe«) schon bei der Entwicklung solcher Systeme mögliche Schadensfälle einkalkuliert, um größere Gefährdungen auszuschließen (wie das Vermeiden von Überbeanspruchungen durch Sollbruchstellen/Sicherungen). Oder dem Ausfall sicherheitskritischer Funktionen wird durch mehrfache Auslegung von Systemen mit gleicher Funktion nach dem Redundanz- oder Diversitätsprinzip vorgebeugt.

Im Allgemeinen gilt das **Prinzip der tief gestaffelten Sicherheitssysteme** (»defence in depth«) als wesentliches Gestaltungsmerkmal, insbesondere in kerntechnischen Anlagen. Es wird das Ziel verfolgt, das Eintreten von sicherheitskritischen Ereignissen durch Barrieren zu verhindern (ausführlich ► Kap. 9). Beim Ausfall einzelner Komponenten wird das Schadensausmaß durch die voneinander unabhängigen Sicherheitsebenen begrenzt, um schwerwiegende Konsequenzen für die Umgebung zu verhindern, wie in einer kerntechnischen Anlage das Mehrbarriersystem: Hüllrohre der Brennstäbe, Reaktor-druckbehälter, Sicherheitsbehälter, Reaktorgebäude aus Stahlbeton. Zudem werden Barrieren auch prozedural angelegt, indem sie menschliches Verhalten im Umgang mit technischen Systemen anleiten und unterstützen (z. B. Sicherheitsanweisungen, Schulungen zur Qualifizierung des Bedienerpersonals).

Obwohl das Risiko eines Systemzusammenbruchs als relativ gering eingeschätzt wird, zeigen beispielsweise der Chemieunfall in Seveso (1976), die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl (1986) oder die Flugzeugkollision von Überlingen (2002), dass trotz massiver technischer Sicherheitsvorkehrungen Systeme mit hohem Gefährdungspotenzial versagen. Es wird deutlich, dass eine Optimierung der System-sicherheit nicht nur die Förderung der technischen Sicherheit umfassen sollte, sondern auch den Faktor Mensch berücksichtigen muss.

## 2.2 Erklärungsansätze in der Sicherheitsforschung: Warum sind Systeme (un)sicher?

Wichtige Beiträge zur Entwicklung der Sicherheitsforschung liefern die Arbeiten von Turner (1978), Perrow (1987) sowie die Arbeiten der Forschungsgruppe High Reliability (La Porte, 1996; La Porte &

Consolini, 1991; Rochlin, 1993; Weick, 1987; Weick & Roberts, 1993). Die Gemeinsamkeit dieser Ansätze liegt in deren Zielstellung, die Fähigkeit von Organisationen zu beschreiben, dauerhaft zuverlässig bzw. sicher zu operieren. Zudem stellen sie die Bedeutsamkeit menschlichen Verhaltens und der organisationalen Rahmenbedingungen für die Gewährleistung der Sicherheit heraus. Während in der Theorie der fehlerhaften Informationsverarbeitung in Organisationen (Turner, 1978) und der Theorie der normalen Katastrophen (Perrow, 1987) Unzulänglichkeiten der Systemgestaltung und der Informationsnutzung deutlich gemacht werden, beschäftigen sich die Begründer der Theorie der Organisationen hoher Zuverlässigkeit (Weick & Roberts, 1993) mit wirksamen organisationalen Maßnahmen, die ein System befähigen, zuverlässig zu operieren. Im Folgenden wird auf diese Ansätze näher eingegangen.

### 2.2.1 Modell der fehlerhaften Informationsverarbeitung in Organisationen

Ereignen sich schwere Katastrophen, erscheinen diese zunächst als unvorhersehbar (»fundamental surprises«). Im Rahmen der nachfolgenden Analyse findet man dann aber oftmals Anzeichen dafür, dass zumindest einigen Mitgliedern der jeweiligen Organisation schon vor bzw. während der Ereignisentstehung »ereignishinweisende« Informationen vorlagen. Diesem zunächst als Paradox erscheinenden Phänomen widmet sich Turner (Turner, 1978; Turner & Pidgeon, 1997) in seiner Theorie der »man-made disasters«. Auf der Grundlage einer systematischen Analyse von 84 Unfallberichten kam er zu dem Schluss, dass die Ursachen dieser Unfälle auf Dysfunktionalitäten von menschlichen und organisatorischen Anpassungsprozessen zurückgehen. Als Beispiel nennt er Störungen des Informationsflusses innerhalb einer Organisation bzw. fehlerhafte oder unzureichende Interpretationen und Bewertungen von vorhandenen sicherheitskritischen Informationen.

Diese Theorie der fehlerhaften Informationsverarbeitung macht auf Faktoren der Entstehung von Ereignissen aufmerksam, die mit einer deutlichen

räumlich-zeitlichen Distanz zum eigentlichen Ereignisentstehungsort in einer Organisation verankert sein können. Dieser Aspekt wurde von Reason (1990, 1997) weiterentwickelt, der zwischen aktiven und latenten Fehlern unterscheidet (► Kap. 3). Ersteren kommt eine Auslösefunktion zu, während die zweiten unerkannt im System ereignisfördernd wirken. Latente Fehler oder indirekte Faktoren spiegeln organisationale Schwachstellen oder dysfunktionale Beziehungen zwischen Organisationen wider.

Zur Zeit der Entwicklung dieser Theorie stand Turners Sichtweise traditionellen Konzepten der menschlichen Fehlerforschung entgegen, die ausschließlich auf direkt ereignisauslösende Fehlhandlungen fokussieren. Einen ähnlichen Beschreibungsansatz, der insbesondere auf strukturelle Merkmale von Organisationen bei der Ereignisentstehung hinweist, wählte Perrow in seiner Arbeit mit dem provokanten Titel »Theorie der normalen Katastrophen« (1987).

### 2.2.2 Theorie der normalen Katastrophen (Normal Accident Theory)

Auf der Basis des Unfallgutachtens von Three Mile Island (TMI, 1978) sowie der intensiven Auseinandersetzung mit vorwiegend ingenieurwissenschaftlichen Analysen der eingesetzten Untersuchungskommission entwickelte der Organisationssoziologe Perrow seinen Beschreibungsansatz. Das Hauptaugenmerk in der Analyse von Three Mile Island legte Perrow auf die Beschreibung der Mechanismen, die Systemunfälle in komplexen technischen Systemen zwangsläufig bedingen (Perrow, 1987). Nach seiner Theorie ereignen sich Systemunfälle (»normal accidents«) aufgrund unvorhergesehener Wechselwirkungen zwischen einzelnen Ausfällen. Den Schwerpunkt bei der Definition von Systemunfällen legt Perrow auf die Anzahl und Art der betroffenen Einheiten eines Systems. Die Entstehung von Unfällen wird demnach als natürliche Konsequenz eines Systems gesehen, dass durch (1) viele komplexe Interaktionen und (2) enge Kopplung gekennzeichnet ist.

1. Die Eigenschaften von Interaktionen in einem System werden durch die 2 Pole **linear** und

**komplex** bestimmt. Komplexe Interaktionen äußern sich in Rückkopplungsschleifen, Verzweigungen oder Sprüngen innerhalb der Prozessabläufe und führen zu für den Operateur unerwarteten Ergebnissen. Ein Wärmetauscher, der gleichzeitig als Heizvorrichtung dient, kann beim Ausfall beide Funktionen nicht mehr erfüllen. Lineare Interaktionen sind für den Operateur gut sichtbar und Teil des normalen Betriebsablaufs. Als Beispiel für lineare Interaktionen führt Perrow ein Montageband an, das beim Ausfall die Teile auflaufen lässt, aber es zu keinem unvorhersehbaren Schaden führt.

2. Die zweite von Perrow identifizierte Systemeigenschaft, die Weick (1976) im Rahmen der Analyse von organisationalen Strukturen beschreibt, ist die Art der Kopplung einzelner Systemkomponenten (eng vs. lose). Eng gekoppelte Systeme (zeitlich, räumlich, funktional) zeichnen sich durch keinerlei Verzögerungen des Betriebsablaufs aus, die Abläufe sind invariabel gestaltet, und das Produktionsziel kann nur mithilfe einer vorgegebenen Strategie erreicht werden. In eng gekoppelten Systemen zeigen lokale Störungen meist große Auswirkungen, da z. B. der gestörte Systemteil nicht abgeschaltet werden kann oder aufgrund der räumlichen Nähe ebenfalls zerstört wurde. Die Just-in-Time-Produktion in der Automobilindustrie erfüllt diese Kriterien. Zulieferbetriebe produzieren und liefern die Autoteile zu dem Zeitpunkt, in denen sie benötigt werden, ansonsten kommt es zur Unterbrechung des gesamten Produktionsprozesses.

Eine lose Kopplung ermöglicht bestimmten Teilen des Systems, gemäß ihrer eigenen Logik zu funktionieren. Lose gekoppelte Systeme können Störungen oder erzwungene Änderungen besser verarbeiten, ohne sich zu destabilisieren. Bei eng gekoppelten Systemen müssen Puffer, Redundanzen und Substitutionsmöglichkeiten von den Konstrukteuren vorab eingeplant werden.

Die überwiegend auf der Untersuchung des Unfalls von TMI basierenden Schlussfolgerungen zu den Versagensmechanismen überträgt Perrow auf ein sehr breites Feld technischer Systeme, angefangen von Kernkraftwerken, Petrochemie, Schifffahrt,