

**AIert**

**Analyse organisatorischer  
Einflüsse auf Auslösung  
und Beherrschung von  
Katastrophenereignissen**



Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH

**AIert**

**Analyse organisatorischer  
Einflüsse auf Auslösung  
und Beherrschung von  
Katastrophenereignissen**

**Clemens Heitsch  
Michael Paßens  
Jan Stiller**

**November 2020**

**Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen RS1554 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der GRS.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der GRS wieder und muss nicht mit der Meinung des BMWi übereinstimmen.

**GRS - 621  
ISBN 978-3-949088-07-0**

**Deskriptoren**

Integriertes Managementsystem, Organisatorische Einflussfaktoren, Sicherheitskultur, Sicherheitsmanagement

## Kurzfassung

Die Sicherheit jeder Einrichtung, in der risikobehaftete Technologien eingesetzt wird, wird wesentlich durch organisatorische Aspekte ihres Betriebs beeinflusst. Daher muss die Bewertung der Sicherheit einer Anlage auch die Bewertung ihrer Organisation umfassen. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden daher zugängliche Informationsquellen zu Katastrophenereignissen bzw. Beinahe-Katastrophen in nuklearen und nicht-nuklearen Anlagen und Einrichtungen im In- und Ausland dahingehend analysiert, welche organisatorischen Faktoren nachweisbar die Entstehung des Ereignisses verursachten oder begünstigten oder die Beherrschung bzw. Mitigation erschwerten. Dabei wurden 47 verschiedene organisatorische Faktoren identifiziert (u. a. Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten, Duldung von Nichtkonformitäten, Nichtbeachtung von Sicherheitsbedenken der Beschäftigten, inhaltliche und kanalbezogene Kommunikationsdefizite und das Fehlen eines systematischen Managements von Sicherheitsreserven), die nachweisbar die Entstehung begünstigten bzw. die Beherrschung der Katastrophe erschwerten. Insgesamt konnten in den 15 Ereignissen über 130 Punkte identifiziert werden, an denen einer dieser Faktoren bei der Entwicklung der Ereignisse wirksam wurde.

Darüber hinaus wurde auch untersucht, welche Faktoren nachweisbar begünstigend auf die Beherrschung bzw. Vermeidung katastrophaler Ereignisse wirkten. Für 7 verschiedene Faktoren (u. a. gute Fachkunde, schnelles Treffen von Entscheidungen und hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen) konnte ein solcher Einfluss in den Ereignissen nachgewiesen werden. Diese geringere Zahl ist darin begründet, dass die vorliegenden Untersuchungen und Berichte der analysierten Ereignisse ganz überwiegend einen starken Fokus auf die Entstehung der (Beinahe-)Katastrophen hatten. Als weiterer Grund für die geringe Zahl der zur Verhinderung oder Begrenzung nachgewiesener wirksamer Faktoren wurde identifiziert, dass hier Ereignisse analysiert wurden, in denen die Entwicklung zur Katastrophe vollständig oder fast vollständig erfolgt war. Deshalb wurde ein Ansatz für zukünftige Arbeiten entwickelt: Durch Auswertung von Ereignissen, in denen eine mögliche Entwicklung zu einer Katastrophe früh gestoppt wurde, sollen auch diese (positiven) organisatorischen Merkmale umfassend erfasst werden.

Um die Wichtigkeit von Themenfeldern zu erfassen, wurden übergeordnete Merkmale gebildet, (u. a. ständige Verbesserung, Kommunikation und unzureichende Ressourcen). Die Merkmale wurden systematisch in Form eines Baumes strukturiert.

Es wurde ein Verfahren entwickelt, wie unter Verwendung von Expertenbewertungen anhand qualitativer Kriterien eine Quantifizierung der Wichtigkeit der verschiedenen elementaren und übergeordneten Merkmale durchgeführt werden kann.

Die Übertragbarkeit der gefundenen Merkmale auf deutsche kerntechnische Einrichtungen wurde untersucht, mit dem Ergebnis, dass alle identifizierten Merkmale unmittelbar übertragbar sind. Als nächster Schritt wurde ermittelt, wie die Merkmale beim Betrieb einer kerntechnischen Anlage erfasst und bewertet werden können.

Um ein möglichst kompaktes System von unabhängigen Merkmalen zu entwickeln, das als Grundlage der Bewertung des Betriebes deutscher kerntechnischer Einrichtungen geeignet ist, wurde untersucht, ob die gefundenen Merkmale unabhängig sind. Es wurde gefunden, dass alle Merkmale zusätzliche Information beinhalten und keine Merkmale redundant sind, d. h. durch andere repräsentiert werden können. Deshalb wurde eine Vorgehensweise entwickelt, um die Bewertung der Merkmale priorisieren zu können, so dass wichtige, gut erfassbare Merkmale prioritär und wenig wichtige, schlecht erfassbare Merkmale mit geringer Priorität bewertet werden. Hierzu wurde eine Kennzahl gebildet, die auf dem Wert der Wichtigkeit des Merkmals und einer Zahl, die die Erfassbarkeit grob quantifiziert und durch Expertenabschätzung bestimmt wird, basiert.

## **Abstract**

The safety of any facility employing risk-carrying technology is significantly influenced by organizational aspects of its operation. Therefore, the assessment of the safety of a facility needs to include the assessment of its organization. To identify organizational features influencing the safe operation, accessible sources of information on 15 catastrophic events and near-disasters in nuclear and non-nuclear facilities have been analyzed in detail. To develop a reliable basis for an assessment, only organizational features have been considered for which immediate evidence is available that they actually caused or significantly facilitated the emergence of the catastrophic event, i. e. they are evidently part of the causal chain of the event. 47 such organizational features have been identified, including e. g. accepting safety deficits, tolerating nonconformances, disregard of safety concerns, content- and channel-related communication deficits and the absence of a systematic management of safety margins. In total, more than 130 points have been identified where one of these factors became effective in the emergence of the events.

In addition, organizational features that had similar influence on the avoidance of disasters or the success of mitigation efforts have been researched. For 7 features such influence could be established, including e. g. excellent professional skills and knowledge, fast decision-making, and hierarchical relations between organizations. This relatively low number is due to the fact that information available on features contributing to the prevention or mitigation was much more limited since information sources generally focused on the causes of the events. An additional reason is that events have been analyzed where the development towards a disaster was complete or nearly complete. Therefore, an approach for future research has been devised: By analyzing events where a possible development to a disaster was stopped at an early stage also these (positive) organizational features shall be discovered more comprehensively.

To identify topical fields that demand special attention when assessing an organization, abstract features have been deduced from the detailed features, including e. g. deficits regarding continual improvement, communication deficits and insufficient resources. The relations between the organizational features have been represented in the form of a tree.

To assess the importance of the different detailed and abstract features quantitatively, a method employing quantitative expert judgements based on qualitative criteria has been developed and applied.

The applicability of these features to the operation of German nuclear installation has been assessed. All features are fully applicable. As next step, it has been determined how the organizational features can be assessed in these installations.

In order to identify a compact set of independent features that is suitable as a basis for the assessment of the operation of German nuclear facilities, it has been analyzed whether the features discovered are independent. It has been found that all features contain additional information and no features are redundant, i. e. can be represented by other features. Therefore, a procedure to prioritize the assessment of the different features has been developed, giving highest priority to important features that are relatively easy to assess and lowest priority to relatively unimportant features that are hard to assess. To achieve this, a characteristic number has been defined, which is based on the quantitative importance of the feature and on a number that quantifies the feature's ascertainability and is determined by expert estimation.

Main results of this research project can also be found in an English publication /HEI 20/.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Kurzfassung.....</b>	<b>I</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung und Überblick.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Identifikation von Merkmalen.....</b>	<b>3</b>
2.1	Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975 .....	4
2.1.1	Chronologischer Ablauf.....	6
2.1.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	10
2.2	Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977 .....	16
2.2.1	Chronologischer Ablauf.....	16
2.2.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	17
2.3	Chemiekatastrophe von Bhopal 1984 .....	18
2.3.1	Chronologischer Ablauf.....	19
2.3.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	20
2.4	Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998 .....	28
2.4.1	Chronologischer Ablauf.....	29
2.4.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	33
2.5	Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998 .....	42
2.5.1	Chronologischer Ablauf.....	43
2.5.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	46
2.6	Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001 .....	54
2.6.1	Chronologischer Ablauf.....	55
2.6.2	Zusätzliche Hintergrundinformationen.....	57

2.6.3	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	60
2.7	Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005 .....	65
2.7.1	Chronologischer Ablauf.....	65
2.7.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	66
2.8	Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005 .....	71
2.8.1	Chronologischer Ablauf.....	72
2.8.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	74
2.9	Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005 .....	81
2.9.1	Chronologischer Ablauf.....	82
2.9.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	84
2.10	Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006.....	88
2.10.1	Chronologischer Ablauf.....	90
2.10.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	94
2.11	Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013 .....	102
2.11.1	Chronologischer Ablauf.....	104
2.11.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	105
2.12	Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014 .....	110
2.12.1	Chronologischer Ablauf.....	111
2.12.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	117
2.13	Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017.....	123
2.13.1	Chronologischer Ablauf.....	124
2.13.2	Zusätzliche Hintergrundinformationen.....	127
2.13.3	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	130

2.14	Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018.....	138
2.14.1	Chronologischer Ablauf.....	140
2.14.2	Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren .....	142
2.15	Organisatorische Merkmale der in der Vorstudie untersuchten Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012 .....	147
<b>3</b>	<b>Bildung von Merkmalen für die Bewertung kerntechnischer Anlagen .....</b>	<b>151</b>
3.1	Zusammenfassende Darstellung der identifizierten wirksamen Merkmale.....	151
3.1.1	Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten .....	151
3.1.2	Akzeptieren von unsicheren Zuständen .....	152
3.1.3	Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter .....	153
3.1.4	Aufschieben von Entscheidungen .....	153
3.1.5	Autoritäre Führung.....	154
3.1.6	Bestrafungskultur.....	154
3.1.7	Dienstausübung unter Drogeneinfluss .....	155
3.1.8	Duldung von Nichtkonformitäten .....	155
3.1.9	Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung .....	156
3.1.10	Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen .....	156
3.1.11	Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen .....	156
3.1.12	Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen.....	156
3.1.13	Fehlende oder unzureichende Aufsicht.....	157
3.1.14	Fehlende oder unzureichende interne Überwachung.....	158
3.1.15	Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse.....	159
3.1.16	Fehlende oder unzureichende Schulungen.....	159
3.1.17	Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem .....	160
3.1.18	Frustration der Mitarbeiter.....	160
3.1.19	Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen.....	160
3.1.20	Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite .....	160

3.1.21	Kanalbezogene Kommunikationsdefizite .....	161
3.1.22	Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen .....	164
3.1.23	Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen .....	164
3.1.24	Kein systematisches Management der Sicherheit.....	164
3.1.25	Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven .....	165
3.1.26	Keine ausreichende Qualitätssicherung.....	165
3.1.27	Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken .....	166
3.1.28	Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken.....	166
3.1.29	Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken .....	167
3.1.30	Keine Durchführung von Notfallübungen .....	167
3.1.31	Keine Priorisierung von Sicherheit .....	167
3.1.32	Keine ständige Verbesserung .....	171
3.1.33	Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten .....	172
3.1.34	Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten .....	172
3.1.35	Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken.....	172
3.1.36	Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung ..	173
3.1.37	Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen .....	173
3.1.38	Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen .....	174
3.1.39	Unzureichende Anforderungen .....	174
3.1.40	Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten.....	177
3.1.41	Unzureichende Fachkunde .....	178
3.1.42	Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen.....	179
3.1.43	Unzureichende Mitarbeiterbindung .....	179
3.1.44	Unzureichende Notfallplanungen .....	179
3.1.45	Unzureichende Notfallübungen.....	179
3.1.46	Unzureichender Erfahrungsrückfluss .....	180
3.1.47	Unzureichendes Veränderungsmanagement .....	180
3.1.48	Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht.....	180
3.2	Zusammenfassung und Diskussion .....	181

3.2.1	Katastrophen begünstigende und ihre Beherrschung negativ beeinflussende Merkmale .....	181
3.2.2	Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern und ihre Beherrschung begünstigen .....	184
3.2.3	Merkmale, die am Ende nicht wirksam bei der Entstehung von Katastrophen oder der Behinderung von mitigativen Maßnahmen waren.....	188
3.3	Übergeordnete Merkmale .....	189
3.4	Übertragbarkeit der gefundenen Merkmale auf deutsche kerntechnische Einrichtungen .....	193
3.5	Wichtigkeit der Merkmale.....	195
3.5.1	Ergebnisse der Bewertung der Wichtigkeit der Merkmale .....	197
3.6	Erfassung der Merkmale beim Betrieb einer kerntechnischen Anlage....	202
3.6.1	Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten .....	203
3.6.2	Akzeptieren von unsicheren Zuständen .....	204
3.6.3	Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter .....	204
3.6.4	Aufschieben von Entscheidungen .....	204
3.6.5	Autoritäre Führung.....	205
3.6.6	Bestrafungskultur.....	206
3.6.7	Dienstausübung unter Drogeneinfluss .....	206
3.6.8	Duldung von Nichtkonformitäten .....	206
3.6.9	Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung .....	208
3.6.10	Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen .....	208
3.6.11	Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen .....	208
3.6.12	Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen.....	209
3.6.13	Fehlende oder unzureichende Aufsicht.....	210
3.6.14	Fehlende oder unzureichende interne Überwachung.....	210
3.6.15	Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse.....	211
3.6.16	Fehlende oder unzureichende Schulungen.....	212
3.6.17	Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem .....	212

3.6.18	Frustration der Mitarbeiter.....	213
3.6.19	Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen.....	214
3.6.20	Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite .....	214
3.6.21	Kanalbezogene Kommunikationsdefizite .....	214
3.6.22	Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen .....	215
3.6.23	Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen .....	215
3.6.24	Kein systematisches Management der Sicherheit.....	216
3.6.25	Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven .....	216
3.6.26	Keine ausreichende Qualitätssicherung.....	217
3.6.27	Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken .....	217
3.6.28	Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken.....	217
3.6.29	Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken .....	218
3.6.30	Keine Durchführung von Notfallübungen .....	218
3.6.31	Keine Priorisierung von Sicherheit .....	219
3.6.32	Keine ständige Verbesserung .....	220
3.6.33	Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten .....	221
3.6.34	Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten .....	222
3.6.35	Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken.....	223
3.6.36	Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung ..	224
3.6.37	Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen .....	225
3.6.38	Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen .....	225
3.6.39	Unerfahrenes Personal .....	225
3.6.40	Unzureichende Anforderungen .....	226
3.6.41	Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten.....	226
3.6.42	Unzureichende Fachkunde .....	227
3.6.43	Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen.....	227
3.6.44	Unzureichende Mitarbeiterbindung .....	228
3.6.45	Unzureichende Notfallplanungen .....	228
3.6.46	Unzureichende Notfallübungen.....	228
3.6.47	Unzureichender Erfahrungsrückfluss .....	229

3.6.48	Unzureichendes Veränderungsmanagement .....	230
3.6.49	Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht.....	230
3.7	Bildung einer Menge von Merkmalen als Basis für die Bewertung des Betriebes kerntechnischer Anlagen.....	231
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>237</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>241</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>253</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>255</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>257</b>
<b>A</b>	<b>Anhang: Expertenbewertungen der Wichtigkeit der Merkmale in den einzelnen Ereignissen .....</b>	<b>261</b>
<b>B</b>	<b>Anhang: Herleitung der statistischen Unsicherheiten .....</b>	<b>271</b>
B.1	Unsicherheit der Häufigkeiten .....	271
B.2	Unsicherheit der Kategorien der Wichtigkeiten .....	273
B.3	Unsicherheiten der unbedingten Wichtigkeiten .....	274



# 1 Einleitung und Überblick

Für jede risikobehaftete Technologie gilt, dass ihre Sicherheit von der Zuverlässigkeit abhängt, mit der Mensch, Technik und Organisation ihre jeweilige Funktion beim Betrieb und der Beherrschung von Ereignissen erfüllen. Die Beurteilung des Einsatzes sicherheitsrelevanter Technologien (u. a. Kerntechnik, Bahn- und Verkehrstechnik, Luft- und Raumfahrttechnik) erfolgt generell auf der Basis von Sicherheitsanalysen. Die umfassenden deterministischen und probabilistischen Sicherheitsanalysen führen die Erkenntnisse der Sicherheitsforschung, Kenntnisse über die Auslegung und Betriebsweise, Betriebserfahrung und nutzbare Ergebnisse des allgemeinen wissenschaftlich-technischen Erkenntnisfortschrittes zu einer Gesamtbewertung des Sicherheitszustandes der untersuchten Anlage zusammen und schaffen damit belastbare Grundlagen für Entscheidungen über die Notwendigkeit und den Nutzen sicherheitstechnischer Verbesserungen.

Zuverlässiges Handeln beim Einsatz moderner sicherheitsrelevanter Technologien hängt wesentlich davon ab, dass das Personal sicherheitsbewusst und verantwortlich handelt. Die Gesamtheit an Merkmalen und Einstellungen in Unternehmen und von Personen wird, soweit sie für die Sicherheit wichtig ist, zusammenfassend als Sicherheitskultur bezeichnet. Das sicherheitstechnisch optimale Handeln hängt darüber hinaus auch davon ab, inwieweit es durch die Strukturen und Prozesse der Unternehmensorganisation unterstützt wird.

Die Sicherheitskultur, organisatorische Aspekte des sicheren Betriebs und die Sicherheitsaspekte der Einführung digitaler Leittechnik sowie der rechner- und bildschirmbasierten Prozessüberwachung und Prozessbedienung sind seit Jahren Gegenstand umfangreicher Untersuchungen und Empfehlungen. Aus diesem Sachstand ergeben sich die Arbeiten, mit denen die GRS beabsichtigt, weitere methodische Ansätze zu entwickeln bzw. Möglichkeiten aufzuzeigen, um Lücken in den bereits bestehenden Methoden zu schließen.

Um methodische Ansätze und Werkzeuge für Sicherheitsanalysen weiterzuentwickeln, insbesondere um die Bewertung organisatorischer Merkmale beim Einsatz sicherheitsrelevanter Technologien abzusichern und weiter zu verbessern, wurde im Rahmen des Vorhabens RS1525 in einer Vorstudie (Machbarkeitsstudie) für die Entstehung und Beherrschung von Katastrophen relevante organisatorische Faktoren am Beispiel dreier nuklearer und nichtnuklearer Katastrophenereignisse betrachtet /FOR 17/ /PIL 17/. Die

Untersuchung ergab, dass aus den zugänglichen Informationsquellen in ihrer Signifikanz bewertbare organisatorische Merkmale identifiziert werden konnten, die Entstehung und Verlauf der Katastrophe beeinflussten. Alle gefundenen Merkmale sind grundsätzlich auch in der Kerntechnik verwendbar. Die meisten Merkmale können auch erfasst werden, wenn kein katastrophales Ereignis aufgetreten ist. Sie sind somit prinzipiell geeignet, um organisatorische Einflüsse in Kernkraftwerken zu bewerten. Deshalb solle in diesem Projekt RS1554 nun eine umfassende Studie durchgeführt werden.

Zunächst wird eine detaillierte Analyse von 15 nuklearen und nichtnuklearen Katastrophenereignissen und Beinahe-Katastrophen durchgeführt mit dem Ziel, organisatorische Merkmale, die Entstehung und Verlauf der Katastrophe beeinflussten, zu ermitteln. Hierbei wird auch ein in der Vorstudie analysiertes Ereignis einbezogen. Für dieses Ereignis wurde die Untersuchung, wo erforderlich, ergänzt. Die Vorgehensweise und die Ereignisse sowie die ermittelten organisatorischen Merkmale, die Entstehung und Verlauf der Katastrophe beeinflussten, sind in Kapitel 2 dargestellt.

In Kapitel 3 wird dargestellt, wie eine Menge von möglichst unabhängigen Merkmalen definiert werden kann, deren Ausprägung erfassbar und bewertbar ist und die einen nachweisbaren Einfluss auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Betriebs haben. Hierzu werden die Merkmale zunächst zusammenfassend dargestellt. Da die in den Ereignissen gefundenen Merkmale einen unterschiedlichen Detaillierungsgrad aufweisen, werden abstrakte Merkmale definiert. Dann wird die Wichtigkeit des Beitrages der Merkmale in den Verläufen der Katastrophen und Beinahe-Katastrophen bestimmt. Hierzu wird ein Verfahren entwickelt und angewandt, das auf quantitativen Experteneinschätzungen anhand qualitativer Kriterien beruht. Mit diesem Verfahren wird ein quantitativer Wert für die in Bezug auf Entstehung und Beherrschung eines Katastrophenereignisses zu erwartende Wichtigkeit eines jeden Merkmals bestimmt. Die Merkmale werden in Bezug auf ihre Übertragbarkeit auf deutsche kerntechnische Anlagen bewertet. Es wird dargestellt, ob und wie die Ausprägung der Merkmale im Betrieb kerntechnischer Anlagen ermittelbar ist. Es wird untersucht, ob alle Merkmale zusätzliche Information beinhalten oder bestimmte Merkmale redundant sind, d. h. durch andere repräsentiert werden können. Eine Vorgehensweise wurde entwickelt, um die Bewertung der Merkmale priorisieren zu können, so dass wichtige, gut erfassbare Merkmale prioritär und wenig wichtige, schlecht erfassbare Merkmale mit geringer Priorität bewertet werden.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf notwendige weiterführende Forschungen gegeben.

## 2 Identifikation von Merkmalen

Im Folgenden werden zur Identifikation der Merkmale 15 Katastrophenereignisse betrachtet. Dabei wird jeweils folgendermaßen vorgegangen: Zunächst wird eine Übersichtsdarstellung des Ereignisses und seines Kontexts gegeben. Dann wird der chronologische Ablauf des Ereignisses tabellarisch dargestellt. Darauf folgt eine Diskussion der unmittelbaren und mittelbaren Ursachen (root cause analysis) zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren. Hierbei werden auch im Rahmen der Recherche erhaltene Informationen, die nicht unmittelbar in Zusammenhang mit Entstehung und Beherrschung der untersuchten Katastrophe stehen, berücksichtigt, wenn sie Rückschlüsse über die Ausprägung der für die Katastrophe relevanten Faktoren in der Organisation erlauben. Abschließend werden alle gefundenen, für den Ereignisverlauf wirksamen organisatorischen Einflussfaktoren (im Folgenden als elementare Merkmale bezeichnet) aufgeführt, wobei stichpunktartig angegeben wird, an welchen Punkten sie jeweils wirksam wurden. Es kann hierbei vorkommen, dass aus einem bestimmten Teilaspekt eines Ereignisses mehrere solcher organisatorischen Merkmale abzuleiten sind. Umgekehrt kann ein bestimmter organisatorischer Aspekt mehrere Teilaspekte eines Ereignisses beeinflussen.

Die Merkmale sind jeweils – wenn eindeutig zu identifizieren – als negative Merkmale aufgeführt, z. B. „Keine Priorisierung von Sicherheit“. Bei positiver Ausprägung der Merkmale, d. h. bei organisatorischen Merkmalen, die zur Beherrschung bzw. Mitigation beigetragen haben, wird darauf speziell hingewiesen.

Wenn ein Merkmal in der Organisation vorhanden war, aber dies keine Auswirkungen auf den Ablauf hatte, die zur Katastrophe führte bzw. die Beherrschung beeinflusste, wurde es nicht aufgeführt. Merkmale, die den Ablauf, der zur Entstehung der Katastrophe führte, zwar beeinflussten, aber am Ende nicht wirksam zur Verhinderung bzw. Mitigation wurden<sup>1</sup>, wurden als „nicht wirksam“ gekennzeichnet.

---

<sup>1</sup> Ein Beispiel hierfür ist die „Äußerung von Sicherheitsbedenken“, wenn durch Nichtbeachten der geäußerten Sicherheitsbedenken ein mögliches Abwenden des katastrophalen Verlaufs unterblieb.

## **2.1 Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975**

Am Sonntag, dem 7. Dezember 1975 kam es in einem elektrischen Betriebsraum von Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald zu einem Kurzschluss, der einen Kabelbrand auslöste und zu einem sicherheitsrelevanten kerntechnischen Störfall führte. Bei einer Lehrunterweisung zur Vorbereitung auf die betriebliche Schaltberechtigungsprüfung erläuterte ein Obermonteur einer Auszubildenden an der Einspeisezelle einer 6-kV-Reserveverteilung deren Funktionsweise und den Verriegelungsmechanismus. Bei der Erläuterung hob der Obermonteur ohne einen hierzu erforderlichen Arbeitsauftrag mittels eines nicht zugelassenen Hilfsmittels, einer Flachzange, die Verriegelung des Erdungstrenners auf. Diese menschliche Fehlhandlung führte zum Schließen des Erdungstrenners und damit zu einem dreipoligen Lichtbogenkurzschluss. Der Lichtbogenkurzschluss regte ordnungsgemäß die Schutzrelais und eine Sammelmeldung an. Die Anregung führte jedoch aufgrund einer falsch gepolten Diode in der Schutzeinrichtung fehlerhaft nicht zum Ausschalten des 220 kV-Leistungsschalters des Reservetransformators, der die 6-kV-Reserveverteilung versorgte. Dieser Fehler war zuvor bei Prüfungen nicht erkannt worden, weil diese nicht anforderungsgerecht waren. Dadurch wurde die Fehlerstelle nicht abgetrennt. Der Kurzschlussstrom führte zu einer unzulässigen Erwärmung der 6 kV-Einspeisekabel und schließlich zu einer Selbstentzündung von Kabeln, die sich zu einem großflächigen Brand mehrerer Kabeltrassen ausbreitete. Nach 7 ½ Minuten wurde zwar das Schaltversagen erkannt und manuell beseitigt, jedoch setzte sich der Brand fort und verursachte durch das Abbrennen der Isolationen weitere Ausfälle von Anlagen und Systemen. Die zerstörte Isolation führt zu diversen Kurzschlüssen in Stromkabeln und zu Fehlimpulsen in Steuerkabeln. Durch das Personal wurden in den elektrischen Schaltanlagen verschiedenste Umschaltungen mit dem Ziel ausgeführt, intakte Leitungen zu finden und eine Spannungsversorgung sicherheitstechnisch wichtiger Komponenten zu erreichen. Dies führte aufgrund der Kurzschlüsse allerdings zu weiteren Komponentenausfällen. In der Folge kam es zum kompletten Ausfall der sekundärseitigen Bespeisung. Die Wärmeabfuhr erfolgte durch Ausdampfen im Sekundärkreis und Abblasen über Dach. Weitere Umschaltungen im elektrischen System führen zu nicht erwarteten und den Störfallablauf verschärfenden Ausfällen. Unter anderem kam es bei der durch Umschaltungen erreichten Spannungswiederkehr in die Blockwarte zu einer Öffnung der sechs Sicherheitsventile des Druckhalters, wovon zwei nach Absinken des Druckes des Primärkreises fehlerhaft nicht mehr schlossen und durch Handmaßnahmen vor Ort geschlossen werden mussten. Weiterhin traten Ausfälle der radiologischen Überwachung und der Anzeigen auf der Warte auf, so dass zeitweise der Zustand

des Primärkreises nicht bekannt war. Etwa 8 Stunden nach Brandausbruch und 6 Stunden nach Brandlöschung gelang es, eine der zwei Notspeisepumpen durch ein notfallmäßig verlegtes Kabel provisorisch an eine Notstromverteilung des Blockes 2 anzuschließen. Damit konnte die sekundärseitige Wärmeabfuhr wiederhergestellt und eine geregelte Abkühlung von Primär- und Sekundärkreis eingeleitet werden. Berechnungen ergaben, dass es zu keinen unzulässigen Freisetzungen gekommen war. Der Störfall wurde auf der internationalen Bewertungsskala für nukleare und radiologische Ereignisse (International Nuclear and Radiological Event Scale) der IAEA als INES 3 klassifiziert.

### 2.1.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Störfallablaufs dargestellt /ALB 96/, /RÖW 04/.

**Tab. 2.1** Chronologischer Ablauf des Störfalls durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975

Zeitangaben in Ortszeit MEZ

Zeit	Handlung/Ablauf
07.12.1975, 11:08 Uhr	Auslösung des Kurzschlusses, Versagen der Auslösung zur Abschaltung des Leistungsschalters zwischen Reservetransformator RT 1 und der 220 kV-Leitung, Beginn des Kabelbrandes in einer Trasse der Turbinenhalle des Blocks 1.
11:09 Uhr	Rauchentwicklung im Bereich des Turbinensatz 2 des Blocks 1.
	Personen, die den Brand entdeckten, meldeten es ihren Vorgesetzten, aber nicht der Feuerwehr.
11:10 Uhr	Spannungsausfall an der elektrischen Blockverteilung BV 8A durch Trennung des Eigenbedarfsgenerators KEG 2 von der Blockverteilung, infolgedessen Ausfall der Hauptkühlmittelpumpen 1 und 6 des Primärkühlkreislaufs, Spannungseinbruch in der Blockverteilung BV 7A, damit Ausfall der Hauptkühlmittelpumpe 2.
11:10 Uhr	Automatische Reaktorschnellabschaltung (RESA) durch Kriterium "Leistungsrückgang von mehr als 2 der 6 Hauptkühlmittelpumpen".
11:10 Uhr	Weitere Ausfälle in der Eigenspannungsversorgung: Ausfall der Pumpen für die Kühlwasserversorgung der Turbinenkondensatoren Turbine 1, Ausfall aller Lüftungsanlagen des Blocks 1, Ausfall der Zentralen Messwerterfassungsanlage in der Dosimetrie-warte.
11:11 Uhr	Turbinenschnellabschaltung (TUSA) Turbine 1 von Hand.
11:12 Uhr	TUSA Turbine 2 von Hand.
11:12 Uhr	Durch den Brand kurzschlussbedingter Spannungsausfall an der Blockverteilung BV 6A und Notstromhauptverteilung NHV 2A.
11:12 Uhr	Auslaufenergie der Turbosätze versorgt über Eigenbedarfsgenerator EG 1 und die Betriebseigenbedarfs-Transformatoren BET 1 und 2 sowie die Hauptkühlmittelpumpen Nr. 2, 3, 4, 5. Damit wird die Wärmeabfuhr aus dem Kern auslegungsgemäß gewährleistet, bevor der Primärkühlkreis in den Naturumlauf geht.
11:13 Uhr	Brandmeldung an die Feuerwehr.
11:13 Uhr	Ausfall der Pumpen für die Kühlwasserversorgung der Turbinenkondensatoren der Turbine 2.

Zeit	Handlung/Ablauf
11:14 Uhr	Die automatischen Umschaltungen für die Eigenspannungsvorsorgung bleiben erfolglos, da die Reserveverteilungen durch den Kurzschluss spannungslos sind.
11:14 Uhr	Startimpuls für die 3 Dieselgeneratoren des Blocks 1. Dieselgenerator DG 1A schaltet auf Blockverteilung BV 2A. Reserve-Dieselgenerator DG 2A schaltet auf Blockverteilung BV 2A. Dieselgenerator DG 3A schaltet nicht auf Blockverteilung BV 6A, weil Steuerspannung ausgefallen. Reserve-Dieselgenerator DG 2A schaltet von der vorgewählten Blockverteilung BV 2A nicht auf Blockverteilung BV 6A, weil Automatik ausgefallen. Damit wird nur einer von zwei Notstromsträngen über die Blockverteilung BV 2A durch die Dieselgeneratoren DG 1A und DG 2A versorgt. Das Dieselzuschaltprogramm funktioniert nicht vollständig. Die Entlüftungsanlage für die Entlüftung des Druckraumsystems (Abbluftanlage W-2) wird nicht automatisch zugeschaltet.
11:15 Uhr	Beginn des Naturumlauf im Primärkühlkreis.
11:15 Uhr	Ausfall von Antrieben von Armaturen und Pumpen im sekundären Kühlkreis des Blocks 1, damit Beeinträchtigung der Speise- und Notspeisewasserversorgung der Dampferzeuger. Die Notspeisepumpe M26A speist noch bis 11:45 Uhr. Ab diesem Zeitpunkt fällt der Wasserstand in den Dampferzeugern.
11:15 Uhr bis 15:45 Uhr	Restwärmeabfuhr durch Naturumlauf über die Dampferzeuger in den sekundären Kühlkreis und Abblasen über Dach mit stetigem Absinken des Speisewasserniveaus in den Dampferzeugern. Durch Handmaßnahmen des Bedienungspersonals (Abblasen über Sicherheitsventile des Druckhalters und Zuspiesen von kaltem Zuspiesewasser) wird der Primärkreislauf in folgenden Grenzen gehalten: Temperatur des Primärkühlmittels zwischen 255 und 270 °C, Primärkreislaufdruck zwischen 110 und 135 bar, Füllstand Druckhalter zwischen 3,2 und 4,8 m.
11:20 Uhr	Beginn der Brandbekämpfung in der Turbinenhalle.
11:25 Uhr	Naturumlauf mit den 3 Schleifen 4, 5 und 6 durch Schließen der Hauptabsperrschieber in den heißen Strängen der Schleifen 1, 2 und 3.
11:25 Uhr	Zentrale Messwerterfassungsanlage in der Dosimetriewarte durch Umschaltungen in den Elektroverteilungen wieder in Betrieb genommen.
11:30 Uhr	Die Rauchentwicklung im Maschinenhaus ist so stark, dass ein normales Betreten nicht mehr möglich und Atemschutz erforderlich ist.
11:32 Uhr	Wegen zu hoher Temperaturdifferenzen in den Schleifen 4, 5 und 6 des Primärkühlkreises werden die Hauptabsperrschieber dieser Schleifen wieder geöffnet. Damit stellt sich erneut Naturumlauf mit 6 Strängen ein.
11:45 Uhr	Ausfall der Havariespeisepumpe M26A (Notspeisepumpe) wegen verbrannter Elektro-Zuleitungskabel. Damit sind beide Notspeisepumpen unverfügbar.

Zeit	Handlung/Ablauf
11:45 Uhr	In der Schaltanlage vor Ort wird der Reserve-Dieselgenerator DB 2A auf die Blockverteilung BV 6A zu geschaltet, damit wieder Spannung auf Notstromhauptverteilung NHV 2A zur Versorgung des zweiten redundanten Notstromstranges.
13:15 Uhr	Abluftanlage W-2, die den Unterdruck im Sicherheitseinschluss aufrechterhält, wird manuell wieder zugeschaltet.
13:40 Uhr	Dosimetriegebläse für Schornsteinmessung ausgefallen, gleichzeitig wird das Schornsteinmessgerät abgeschaltet, so dass bis zum Montag, dem 08.12.1975, 06.00 Uhr, keine Messung mehr durchgeführt wird. Die Abgabe radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre wurde später abgeschätzt.
13:40 Uhr	Brandbekämpfung in den Elektroräumen und Kabeltrassen beendet.
15:45 Uhr	Durch ständige Umschaltungen an den Spannungsverteilungen bei Versuchen zur Spannungsversorgung über vermaschte Umwege kommt es zum Spannungsausfall auf der Blockwarte 1. Dadurch fallen alle Druckmessgeräte für den Primärkreislauf und eine Vielzahl anderer Anzeigegeräte sowie die Blockwartenbeleuchtung aus.
16:15 Uhr bis 16:51 Uhr	Spannungswiederkehr in der Warte durch Umschaltung. Im Augenblick der Zuschaltung öffnen die Sicherheitsventile des Druckhalters, da der Druck im Primärkreislauf auf 146 bar gestiegen war und die Öffnungsmagnete plötzlich unter Spannung standen. Abfall des Primärkreislaufdrucks auf 85 kp/cm <sup>2</sup> infolge Nichtschließen von Sicherheitsventilen (mindestens 2 von 6 schlossen nicht wieder); Zur Vermeidung des Siedens im Kern wird vom Personal die Havariespeisepumpe 241 A2 (Notkühlpumpe) über die Blockverteilung BV 2A zugeschaltet.
16:51 Uhr	Das Speisewasserniveau in den Dampferzeugern ist auf 0,7 – 1,2 m gefallen (Normalniveau bei Leistungsbetrieb ca. 2,20 m), weil keine Nachspeisung möglich ist
17:15 Uhr	Die Dosimetriegebläse für den Schornstein gehen wieder in Betrieb, allerdings bleibt das Schornsteinmessgerät weiter abgeschaltet.
17:50 Uhr	Schließen der Kesselkopfschieber der Dampferzeuger durch das Personal, weil zu schnelles Ausdampfen der Dampferzeuger sekundärseitig befürchtet wird; Im weiteren Verlauf Anstieg des Primärkreislaufdrucks auf 100 - 110 kp/cm <sup>2</sup> durch Zuspeisen von Notkühlwasser mit Hilfe der Notkühlpumpe 241 A2 aus dem Havarieborbehälter

Zeit	Handlung/Ablauf
18:30 Uhr	Schließen aller 12 Hauptabsperrschieber in den heißen Strängen des Primärkühlkreislaufs durch das Personal, weil die Bedienungsmannschaft einen zusammengebrochenen Naturumlauf vermutet, da durch Strahlenbildung des kalten eingespeisten Notkühlwassers aus dem Havariebehälter irreführende Temperaturdifferenzen zwischen den kalten und heißen Strängen angezeigt werden. Damit wird die Kühlung des Kerns durch den Zwangskreislauf über die Stationen: Kern – Druckhalter – Sicherheitsventile – Abblasebehälter – Druckraumsystem – Überlauf – Havariebehälter – Notkühlpumpe – kalter Strang – Kern erreicht.
18:55 Uhr bis 19.00 Uhr	An einem noch kontrollierbaren Brennelement wird die Sättigungstemperatur am Kühlmittelaustritt erreicht (310 °C bei 98 bar), danach wieder Abfall der Temperatur am Brennelement.
19:39 Uhr	Durch den Bau einer provisorischen Elektroversorgung von einer der Notstromhauptverteilungen des Blocks 1 kann wieder eine der ausgefallenen Notspeisepumpen für die Versorgung der Dampferzeuger in Betrieb genommen werden. Die Versorgung der Dampferzeuger 1 und 2 mit 15 - 20 t/h Speisewasser ermöglicht die Wärmeabführung über den sekundären Kühlkreislauf.
22:15 Uhr	Stabile Wasser-Dampf-Abkühlung über die Dampferzeuger in den sekundären Kühlkreis und die Dampfdehlerstation in die Atmosphäre erreicht.
08.10.1975, 15:50 Uhr	Wasser-Wasser-Abkühlung im sekundären Kühlkreis erreicht.
Mittwoch, 10. Dezember 1975, 22:15 Uhr	Primärkühlkreis drucklos bei 40 °C.

### **2.1.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Ausgelöst wurde der Störfall durch eine menschliche Fehlhandlung: Bei einer Lehrunterweisung zur Vorbereitung auf die betriebliche Schaltberechtigungsprüfung erläuterte der Obermonteur einer Auszubildenden an der Einspeisezelle der 6-kV-Reserveverteilung RV 2A deren Funktionsweise und den Verriegelungsmechanismus. Bei der Erläuterung hob der Obermonteur ohne einen hierzu erforderlichen Arbeitsauftrag die Verriegelung des Erdungstrenners auf. Hierzu benutzte er ein nicht zugelassenes Hilfsmittel (Flachzange). Diese Handlung führte zum Schließen des Erdungstrenners und damit zu einem dreipoligen Lichtbogenkurzschluss.

Der Lichtbogenkurzschluss regte ordnungsgemäß die Schutzrelais und eine Sammelmeldung in der Zentralen Elektrowarte an. Die Anregung führte jedoch entgegen der Auslösung nicht zum Ausschalten des 220 kV-Leistungsschalters des Reservetransformators, wodurch weiterhin Kurzschlussstrom auf die Fehlerstelle gespeist wurde. Die zur Trennung erforderliche Schalterauslösung erfolgte wegen einer falsch gepolten Diode nicht. Die falsch gepolte Diode war bei den regelmäßigen Prüfungen nicht entdeckt worden, da die in Übereinstimmung mit der technischen Regel TGL 190-208 gewählte Prüfmethode mit Impulsauslösung immer ein positives Ergebnis brachte. Bei länger anstehender Anregung durch die Prüfspannung hätte jedoch der Fehler entdeckt werden können. Eine ordnungsgemäße Funktionsprüfung durch den errichtenden Betrieb und eine ordnungsgemäße Abnahme durch den Betreiber hatten nicht stattgefunden. Weiterhin lagen nur handrevidierte Schaltpläne vor. Der Errichter hatte bis zum Zeitpunkt des Störfalls die erforderliche Dokumentation nicht geliefert.

Eine redundante Schutzeinrichtung war nicht vorhanden. Eine solche war schon vor Inbetriebnahme von sowjetischen Spezialisten gefordert worden. Dies war auch im Protokoll zur Inbetriebnahme verzeichnet worden. Eine solche redundante Einrichtung war in der der Auslegung zugrunde gelegten (nichtnukleare) Regel TGL- 1041/03 „Schutz und Messung - Drehstromtransformatoren bis 250 kVA - Ausgabe 3/74“ nicht zwingend gefordert. Ergänzende spezielle zusätzliche Anforderungen für Kernkraftwerke waren nicht vorhanden. Auf Anforderung des Betreibers war zwar ein Reserveschutz eingebaut worden, dieser war aber nicht funktionsfähig und bis zum Störfallzeitpunkt strittig zwischen Betreiber, DDR-Projektant und sowjetischen Lieferanten gewesen.

In der Elektrowarte wurde der Vorgang nicht rechtzeitig korrekt erkannt. Erst nach ca. 7 ½ Minuten erfolgte die Abschaltung der 220 kV-Einspeisung für den Reservetransformator per Hand. Die Elektrowarte war zur Zeit des Störfalleintritts nur mit einem Lehrling besetzt.

Der Brand konnte zu solch erheblichen Auswirkungen führen, da in der Kabeltrasse sowohl Stromversorgungs- als auch Leittechnikabel lagen. Eine Redundanztrennung war nicht gegeben. Es gab keine ausreichende Aufteilung in Brandabschnitte. Eine automatische Löscheinrichtung war nicht vorhanden. Die nichtautomatische Sprühwasserlöschanlagen wurden erst viel zu spät in Betrieb genommen.

Für solche Störfälle existierten keine Vorschriften; entsprechende Übungen waren nicht durchgeführt worden. Dies führte dazu, dass verschiedene Maßnahmen zur Störfallbegrenzung unsystematisch abliefen. Durch das improvisierte Zu- bzw. Abschalten von Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen wurden zwar nicht ausgefallene oder geschädigte Funktionen identifiziert, aber auch der Störfallverlauf durch unerwünschte Auslösungen ungünstig beeinflusst. Die Schichtmannschaft des Blockes verfügte zum damaligen Zeitpunkt noch nicht über eine erhebliche Betriebserfahrung. Teilweise waren keine ausreichenden Kenntnisse über die sicherheitstechnischen Zusammenhänge der Anlage vorhanden.

Ein Versuch des Betriebspersonals, die Vermaschung der Sekundärkreise auszunutzen, um Speisewasser aus dem Block 2 über die Abkühlanlage in die Dampferzeuger des Blocks 1 zu speisen, scheiterte an starken Undichtigkeiten in den Komponenten.

Weitere Fehler und Ausfälle betrafen die Notbeleuchtung, die auf verschiedenen Korridoren nicht funktionierte. Es fehlte ein Kabel, um ein tragbares Impulsdichtemessgerät für die ausgefallene zentrale Messwerterfassung an die Dosimetrieanlage zu schalten. Das Zuschaltprogramm zur Zuschaltung der wichtigsten Aggregate funktionierte nicht ordnungsgemäß. So wurde die Entlüftungsanlage für die Entlüftung des Druckraumsystems um 11:16 Uhr nicht automatisch zugeschaltet, sondern erst um 13:15 Uhr per Hand eingeschaltet. Das Fahrzeug für Umgebungsmessungen für Jod, Edelgase und Beta-Aerosole fiel beim Start durch Defekt aus; das Ersatzfahrzeug war nicht einsatzbereit.

Somit wurden beim Störfall eine Vielzahl von Nicht-Verfügbarkeiten entdeckt. Dies zeigt systematische Defizite bei der Instandhaltung der Anlage.

Insgesamt war der Störfallablauf bestimmt durch eine Häufung von menschlichen Fehlhandlungen und technischen Fehlfunktionen, das Nichtvorhandensein von vorgeplanten Notfallmaßnahmen und die Schwäche der technischen Auslegung; dies umfasst das Fehlen von redundanten Einrichtungen, von Redundanztrennung sowie von automatischen Maßnahmen.

Bei dem Störfall gab es keine weiteren Folgen, d. h. es blieb bei einer Beinahe-Katastrophe, da die Anlage WWER-440MW/W-230 über große Wasserreserven im Primär- und Sekundärkreis verfügt, so dass ausreichend Zeit vorhanden war, um eine provisorische Stromversorgung einer Notspeisepumpe herzustellen.

Die aus dem Störfallverlauf abgeleiteten organisationalen Merkmale lassen sich zusätzlich anhand der aus dem Störfall abgeleiteten Korrekturen und Korrekturmaßnahmen des Betreibers und ihrer Umsetzung verifizieren.

Die mehr als 24 Stunden betriebene Havariespeisepumpe (Notkühlpumpe) wurde vor der Wiederinbetriebnahme des Blocks nicht einer gründlichen Revision unterzogen, obwohl sie wegen starker Laufgeräusche vorher kurzzeitig außer Betrieb genommen worden war. Als Begründung dafür wurde angeführt, dass das lange Arbeiten des Havarieborsystems bei derartigen Betriebsbedingungen auslegungsgemäß ist und deshalb Schäden an seinen Aggregaten auszuschließen seien.

Ende 1976 waren bis auf das Anbringen einer neuen Uhr auf der Dosimetriewarte keine der entwickelten Korrektur- und Verbesserungsmaßnahmen realisiert worden. Das Kraftwerk wurde trotz der erkannten Sicherheitsdefizite praktisch unverändert weiter betrieben.

Die Installation neuer Sicherheitsventile von höherer Zuverlässigkeit wurde erst 8 Jahre später begonnen.

Die Kabeltrennung und Aufteilung der Elektroversorgung in Sektionen wurde bis zur Außerbetriebnahme des Kernkraftwerks im Jahr 1990 nicht vollendet.

Mit der Installation der radiologischen Störfallinstrumentierung wurde erst 1987 begonnen.

Hieran zeigt sich, dass die Sicherheit nicht gegenüber anderen Zielen (Kosten sparen, Stromproduktion) priorisiert wurde. Dies wurde wesentlich durch externe Einflüsse verursacht: Ausreichende wirtschaftliche Ressourcen standen nicht zur Verfügung und es bestand dringender Bedarf an dem vom Kraftwerk produzierten Strom.

#### **2.1.2.1 Zusammenfassung der organisatorischen Einflussfaktoren**

Bei dem Störfall im Kernkraftwerk Greifswald im Jahr 1975 können folgende relevante organisationale Einflussfaktoren identifiziert werden:

##### **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

- Obwohl das Fehlschließen des Erdungstrenners einen Erdschluss in einer 6 kV-Verteilung auslösen konnte, löste der Obermonteur zu Schulungszwecken mittels eines nicht zugelassenen Hilfsmittels (Flachzange) die Verriegelung des Erdungstrenners.
- Die Anlage war so ausgelegt, dass ein Einzelfehler in einem Schalter dazu führen konnte, dass ein Erdschluss nicht beherrscht wird.
- In der Kabeltrasse lagen sowohl Stromversorgungs- als auch Leittechnikabel. Eine Redundanztrennung war nicht gegeben.

##### **Aufschieben von Entscheidungen**

- Eine Entscheidung zur Inbetriebnahme der geplanten redundanten Schutzeinrichtung wurde bis zum Störfall nicht getroffen.

##### **Duldung von Nichtkonformitäten**

- Erforderliche Anlagendokumentation war vielfach nicht vorhanden.
- Es wurde eine Schulung an einem Schalter mit Betätigung ohne notwendigen Arbeitsauftrag durchgeführt. Hierzu wurde ein unzulässiges Werkzeug benutzt.

### **Keine ausreichende Qualitätssicherung**

- Die oben genannten Aspekte sowie das Fehlen von wirksamen Prüfungen (insbesondere Inbetriebsetzungsprüfungen) und das Fehlen von entsprechender Dokumentation zeigen, dass keine ausreichende Qualitätssicherung vorhanden war.

### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Aus Kostengründen waren viele sicherheitstechnisch erforderliche Maßnahmen nicht automatisiert, obwohl dies möglich gewesen wäre, sondern Handmaßnahmen waren nötig.
- Es wurde eine Schulung an einem Schalter ohne Berücksichtigung der Sicherheitsrisiken durchgeführt.
- Erkannte notwendige Verbesserungsmaßnahmen wurden nicht durchgeführt.
- In der Kabeltrasse lagen sowohl Stromversorgungs- als auch Leittechnikabel. Eine Redundanztrennung war nicht gegeben.
- Positive Ausprägung des Merkmals:

### **Priorisierung von Sicherheit**

- Die Auslegung der Anlage Typ WWER-440MW/W-230 weist durch großes Wasserinventar des Primärkreises erhebliche Sicherheitsreserven auf, die eine relativ lange Zeit für eine notfallmäßige Wiederherstellung der Bespeisung der Dampferzeuger zulassen.

### **Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten**

- Im Verlaufe des Störfalls traten zahlreiche menschliche Fehlhandlungen und Ausfälle von sicherheitsrelevanten technischen Einrichtungen auf. Mängel an der Dokumentation und den Notfallübungen wurden erkennbar. Hieraus lässt sich auf ein systematisches Versagen der Organisation im Sicherstellen der erforderlichen hohen Qualität von sicherheitsrelevanten Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten schließen.

### **Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Die Personalstärke reichte nicht aus, um die erforderlichen Aufgaben zu bewältigen. Hierzu trug bei, dass für zahlreiche Funktionen, die automatisierbar waren (z. B. Auslösung der Löscheinrichtung), menschliche Handlungen vorgesehen waren.

### **Unzureichende Anforderungen**

- Es gab keine Anforderungen für eine redundante Schutzeinrichtung bei Erdschluss. Der Auslegung war eine nichtnukleare Regel zugrunde gelegt worden. Die in der Kerntechnik erforderliche höhere Zuverlässigkeit war nicht berücksichtigt worden.
- Die Anforderungen an die Prüfung waren ungeeignet sicherzustellen, dass Ausfälle erkannt werden.

### **Unzureichende Fachkunde**

- Trotz Schulungen verfügte das Anlagenpersonal nicht über die nötige Fachkunde, um den Störfall frühzeitig unter Kontrolle zu bringen.
- Obwohl das Fehlschließen des Erdungstrenners einen Erdschluss in einer 6 kV-Verteilung auslösen konnte, löste der Obermonteur zu Schulungszwecken mittels eines nicht zugelassenen Hilfsmittels (Flachzange) die Verriegelung des Erdungstrenners.

### **Unzureichende finanzielle oder materielle Ressourcen**

- Der Betreiber hatte keine ausreichenden wirtschaftlichen Ressourcen, um erkannte Schwachstellen zu beseitigen und die Anlage ständig zu verbessern.

### **Unzureichende Notfallplanungen**

- Es gab keine Planungen für Störfälle, die dem aufgetretenen Störfall entsprachen.

### **Unzureichende Notfallübungen**

- Es gab keine Übungen für Störfälle, die dem aufgetretenen Störfall entsprachen.

## 2.2 Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977

Am 13. Januar 1977 stürzte ein Frachtflugzeug des Typs Douglas DC-8-62 auf dem Flug 8054 von Japan-Air-Lines (JAL) unmittelbar nach dem Start vom Flughafen Anchorage wegen eines Strömungsabrisses ab. Bei dem Unfall kamen die fünf Besatzungsmitglieder ums Leben. Der Kapitän, der die Maschine zum Unfallzeitpunkt steuerte, hatte einen hohen Blutalkoholgehalt von etwa 3 Promille.

### 2.2.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unfalls dargestellt.

**Tab. 2.2** Chronologischer Ablauf des Absturzes von Japan-Air-Lines-Flug 8054

Zeitangaben in Ortszeit UTC-9

Zeit	Handlung/Ablauf
	Der Taxifahrer, der die Besatzung zum Flughafen fährt, bemerkt, dass der Flugkapitän Marsh desorientiert wirkt. Er berichtet später /NTS 77/, dass sein Gesicht gerötet und seine Augen glasig gewesen seien und er undeutlich und zusammenhanglos gesprochen und einen wackeligen Gang gehabt habe.
	Der Fahrer kontaktiert daraufhin seinen Schichtleiter in der Taxizentrale, um dies zu berichten.
04:50 Uhr	Der Schichtleiter der Taxizentrale ruft bei Japan Air Lines (JAL) an, um vor der Trunkenheit eines ihrer Piloten zu warnen. Am Telefon wird ihm entgegnet, dass es keine Auffälligkeiten bezüglich der Besatzung gebe.
05:15 Uhr	Die Besatzung besteigt die Maschine
06:09 Uhr	Die Abarbeitung der Startcheckliste beginnt.
	Die Maschine erhält für den Start Startbahn 24L zugewiesen.
	Im dichten Nebel rollt der Kapitän als „Pilot Flying“ irrtümlich zunächst zur Startbahn 24R. Der Fluglotse hilft der Besatzung anschließend durch entsprechende Anweisungen, die richtige Startbahn zu erreichen.
06:35 Uhr	Das Flugzeug startet von Startbahn 24L
06:35:35 Uhr	Kurz nach dem Abheben kommt es auf einer Höhe von 30 Metern zu einem Strömungsabriss. Die Maschine neigt sich nach rechts und stürzt 300 Meter hinter dem Startbahnende zu Boden. Sämtliche Insassen sterben in der Folge.

## **2.2.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Ursache des Unglücks war die Fehlbedienung des Flugzeugs durch den Kapitän unter starkem Alkoholeinfluss, die zu einem Strömungsabriss führte. Der Strömungsabriss wurde wahrscheinlich durch Eisbildung auf den Tragflächen, die aus den Wetterbedingungen resultierten, begünstigt. Nach dem Unglück wurde ein Blutalkoholgehalt von 2,98 Promille festgestellt, bei dem u. a. schwere motorische Einschränkungen auftreten können. Dieser Wert war vielfach höher als der maximal zulässige Wert von 0,4 Promille.

Zum Unglück trug bei, dass weder die Angestellten der JAL am Flughafen noch die Besatzung des Flugzeuges Schritte unternahmten, den Piloten am Fliegen zu hindern oder die Flugtauglichkeit des Piloten zu überprüfen.

### **2.2.2.1 Zusammenfassung**

Zusammenfassend können folgende organisationale Einflussfaktoren identifiziert werden:

#### **Akzeptieren von unsicheren Zuständen**

- Trotz auffälligen Verhaltens wurde der Pilot von der Crew nicht davon abgehalten, das Flugzeug zu fliegen.

#### **Dienstausübung unter Drogeneinfluss**

- Durch starken Alkoholkonsum war der Pilot unfähig, die Maschine zu fliegen.

#### **Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

Positive Ausprägung des Merkmals (nicht wirksam):

### **Äußerung von Sicherheitsbedenken:**

- Die Mitarbeiter des Taxiunternehmens äußerten Sicherheitsbedenken. Diese wurden jedoch nicht berücksichtigt, so dass dieses vorhandene Merkmal nicht wirksam wurde.

### **Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

- Trotz Hinweises des Taxiunternehmens, mit dem der Pilot zum Flughafen befördert wurde, wurden von JAL keine Schritte unternommen, die Flugtauglichkeit des Piloten zu überprüfen.

## **2.3 Chemiekatastrophe von Bhopal 1984**

In der Hauptstadt des indischen Bundesstaates Madhya Pradesh, Bhopal, Indien, ereignete sich in der Nacht vom 02. auf den 03.12.1984 ein Chemieunglück, das als die schwerste Chemiekatastrophe in der Geschichte gilt. In einer nahe der Stadt gelegenen Chemiefabrik der Union Carbide India Limited (UCIL, ein Tochterunternehmen der US-amerikanischen Union Carbide Corporation UCC, der 50,9 % von UCIL gehörten) trat vermutlich infolge eines Sabotageaktes durch einen Mitarbeiter Wasser in einen Tank ein, der mit etwa 40 Tonnen Methylisocyanat (MIC) gefüllt war. Diese giftige Chemikalie diente der Herstellung des Schädlingsbekämpfungsmittels Sevin. Beim Eintritt des Wassers in den Tank fand eine exotherme Reaktion mit starkem Druckanstieg statt, wodurch das MIC und weitere Reaktionsprodukte durch Überdruckventile in die Atmosphäre austraten und die Bewohner der umliegenden Slums und Wohngebiete vergifteten /DUT 02/, /HIS 14/, /UCC 18/.

### 2.3.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unfallablaufes chronologisch dargestellt /DUT 02/, /AMN 04/.

**Tab. 2.3** Chronologischer Ablauf der Chemiekatastrophe von Bhopal

Zeitangaben in Ortszeit UTC+5:30

Zeit	Handlung/Ablauf
02.12.1984, ca. 21:30 Uhr	Während routinemäßigen Wartungsarbeiten dringt eine größere Menge Wasser in den Speichertank Nummer 610 ein, der mehr als 40 Tonnen MIC enthält. Das MIC beginnt mit dem eindringenden Wasser zu reagieren, was einen starken Temperatur- und Druckanstieg im Tank zur Folge hat.
Ca. 23:30 Uhr	Hochrangige Mitarbeiter der Fabrik wissen von der Reaktion und dem Druckaufbau im Tank, es werden jedoch keine Warnungen (Sirenen, Lautsprecherdurchsagen) an die in den nahe gelegenen Wohngebieten schlafenden Anwohner herausgegeben.
03.12.1984, ca. 00:30 Uhr	Die Berstscheibe des Tanks wird durch den Druckanstieg zerstört. Ca. 40 Tonnen MIC sowie Blausäure und andere Reaktionsprodukte treten aus dem Tank in die Umgebung aus. Die Sicherheitssysteme der Anlage sind für den Störfall nicht hinreichend ausgelegt und zudem nicht aktiv.
Nach 01:30 Uhr	Die Sirene der Chemiefabrik zur Warnung der Bevölkerung ertönt mehr als eine Stunde nach dem Austreten der giftigen Gase. Zu diesem Zeitpunkt haben die Gase bereits eine Fläche von 40 Quadratkilometern bedeckt.
	Die Bewohner der umliegenden Wohngebiete werden von Atemnot, brennenden Augen und Erbrechen geplagt und flüchten in Panik vor den giftigen Gasen. Als sich die Ärzte der lokalen Krankenhäuser telefonisch an den Betriebsarzt der Chemiefabrik wenden, versichert ihnen dieser, dass es sich lediglich um nicht tödliches Reizgas handelt.
	Insgesamt liegt die tödliche Gaswolke für mehr als 4 Stunden nahe über dem Boden und vergiftet die Anwohner. Betroffen sind ca. 500.000 Menschen. Die Zahl der Todesopfer (sowohl unmittelbar als auch durch Spätfolgen) wird auf bis zu 25.000 geschätzt.

## **2.3.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

### **2.3.2.1 Bau der Chemiefabrik**

Bereits bei der Planung der Anlage im Jahr 1969 äußerte der argentinische Agro-Ingenieur Eduardo Munoz, der von UCC die Verantwortung übertragen bekommen hatte, für eine erfolgreiche Durchführung des Projektes zu sorgen, Bedenken darüber, dass die Chemiefabrik zu nah an den Slums Oriya Bustee, Jayprakash Nagar und Chola errichtet werden sollte. Der geplante Standort stellte in seinen Augen in Verbindung mit der Produktion großer Mengen von MIC eine zu große Gefährdung der Bevölkerung dar. Zudem schlug er vor, MIC nicht in großen Tanks zu lagern, sondern es stattdessen in kleineren, an den Verbrauch angepassten, Chargen zu produzieren, was er als sicherer einschätzte. Seine Bedenken wurden von den Verantwortlichen bei UCC allerdings nicht ernst genommen, da man davon überzeugt war, die Fabrik sei vollkommen sicher /DUT 02/.

Der indische Staat stand bei der Planung und Errichtung der Chemiefabrik in Bhopal sowohl auf der Genehmiger- als auch auf der Unternehmensseite, da er selbst 22 % der Anteile an UCIL hielt. Der daraus resultierende Interessenskonflikt zwischen Erfolg des Unternehmens und Sicherheit wurde gegen die Sicherheit entschieden. Indien verfolgte das Ziel einer schnellen Industrialisierung, was in Verbindung mit fehlendem Knowhow dazu führte, dass man bezüglich der Sicherheitsfragen stark auf UCC vertraute. Rechtlich war der Bau der Fabrik am gewählten Standort nicht zulässig. Nach den lokalen Planungsregularien war die Errichtung von Anlagen, aus denen giftige Gase entweichen und vom Wind in dicht besiedelte Gebiete getragen werden können, nicht erlaubt. Da der Wind am geplanten Standort der Chemiefabrik üblicherweise von Norden nach Süden und damit in Richtung der Slums, einer Eisenbahnstation und letztlich der dicht besiedelten Altstadt von Bhopal wehte, wäre eine Genehmigung ausgeschlossen gewesen. Die Verantwortlichen bei UCC verschwiegen den örtlichen Behörden aber, dass in der Fabrik Pestizide aus hoch giftigen Chemikalien hergestellt werden sollten. Da hochrangige Offizielle der Regierung von Madhya Pradesh durch regelmäßige gemeinsame Abendessen in regem privatem Kontakt mit Managern von UCC standen, bestand auf der Regierungsseite kein gesteigertes Interesse, die Angaben von UCC bezüglich der potentiellen Risiken der Fabrik zu hinterfragen. Zudem forderte die Regierung von Madhya Pradesh, dass die Fabrik auf manuelle Arbeit ausgerichtet sein solle, um möglichst vielen Indern einen Arbeitsplatz zu bieten. Automatische Sicherheitssysteme, wie sie in

den USA und Europa bereits eingesetzt wurden, waren deshalb nicht gefragt. Die Anlage wurde somit wie geplant an dem Standort, genannt Kali Grounds, errichtet und nahm im Sommer 1972 den Produktionsbetrieb auf /DUT 02/, /HIS 14/.

### **2.3.2.2 Auslegung der Anlage**

Die MIC-Tanks bargen aufgrund ihres Fassungsvermögens ein großes Risiko. Ab dem Moment des Eindringens von Wasser in einen der Tanks war die Anlage nicht dazu in der Lage, ein Austreten von MIC zu verhindern. Die Verwendung einer größeren Zahl von kleineren Tanks hätte den Druckanstieg bei der Reaktion mit Wasser begrenzen und ein Austreten verhindern können /HIS 14/.

Die Sicherheitssysteme der Anlage waren so ausgelegt, dass ein unbeabsichtigtes Eindringen von Wasser in die MIC-Tanks durch entsprechende Armaturen verhindert werden sollte. Der Fall eines Versagens oder der vorsätzlichen Umgehung dieser Systeme wurde bei der Anlagenplanung nicht berücksichtigt. Gestaffelte Sicherheitsebenen, wie sie beispielsweise in der Kerntechnik verwendet werden, existierten nicht /HIS 14/, /UCC 18/.

### **2.3.2.3 Sparmaßnahmen aufgrund mangelnder Profitabilität**

Die Chemiefabrik von Bhopal war für eine Produktionskapazität ausgelegt, die den Bedarf des indischen Markts an Sevin deutlich überstieg. Die Fabrik war damit überdimensioniert und konnte ihre Produktionskapazität nicht ausschöpfen. Ausgelegt war die Anlage für die Produktion von 5.000 Tonnen MIC jährlich. Ihre Maximalproduktion erreichte sie im Jahr 1981 mit 2.704 Tonnen. Im Jahr 1983 waren es nunmehr 1.657 Tonnen, womit die Anlage nur zu knapp einem Drittel ausgelastet war. Der Betrieb der Fabrik wurde unrentabel, weshalb UCC sich dazu entschied, die Fabrik herunterzufahren und zu schließen. Den Verantwortlichen in Indien wurde mitgeteilt, dass die Kosten der Fabrik bis zu ihrer vollständigen Stilllegung zu reduzieren seien, die Art und Weise der Umsetzung wurde ihnen überlassen /DUT 02/, /HIS 14/.

Als Folge der Sparvorgaben von UCC wurde die Belegschaft der Fabrik in den Jahren 1980 bis 1984 halbiert. Auch die Belegschaft der MIC-Abteilung wurde von 12 auf 6 Männer halbiert, die Position des Wartungsbeauftragten wurde ersatzlos gestrichen. Der Umfang des Sicherheitstrainings für den Umgang mit MIC wurde von 6 Monaten auf 15 Tage gekürzt. In Kombination mit dem Mangel an automatischen Sicherheits-

systemen führte dies zu einer steigenden Arbeitsbelastung der verbliebenen Angestellten. Aufgrund der vernachlässigten Wartung nahm zudem die Funktionalität von Rohrleitungen und Armaturen stetig ab /DUT 02/.

Im Herbst 1983 war die Anlage bereits nicht mehr aktiv, es wurden jedoch weiterhin ca. 60 Tonnen MIC in den Tanks gelagert. Diese Tatsache ignorierend ordnete der Manager der Fabrik an, die Sicherheitssysteme abzuschalten und dadurch zusätzlich Betriebskosten einzusparen. Dies schloss die Kühlung der MIC-Tanks ein, die laut den Standards von UCC unter allen Umständen aufrecht zu erhalten war. Auch die Gasfackeln der Anlage wurden abgeschaltet, um zu sparen. Dies hatte zur Folge, dass qualifiziertes Personal aus Sorge um die eigene Sicherheit abwanderte, was Personalengpässe und Wartungsmängel weiter verschlimmerte. Bis 1983 sollen die Hälfte bis zwei Drittel der Mitarbeiter, die seit dem Beginn der Errichtung der Fabrik an ihrem Betrieb beteiligt gewesen waren, abgewandert sein /DUT 02/.

Die der Katastrophe zugrunde liegende Reaktion soll einer von UCC in Auftrag gegebenen Untersuchung zufolge durch einen Sabotageakt eines mit den Arbeitsbedingungen unzufriedenen Fabrikmitarbeiters ausgelöst worden sein. Aufgrund der technisch-physikalischen Randbedingungen sowie der Konstruktion der Anlage konnte das Eindringen des Wassers in den MIC-Tank 610 nur dadurch erklärt werden, dass ein Wasser Schlauch vorsätzlich an einen Einlassstutzen angeschlossen wurde. Zudem hatte es bereits im Vorfeld der Katastrophe kleinere Fälle von Prozesssabotage in der Anlage gegeben /HIS 14/, /LIT 88/, /UCC 18/.

#### **2.3.2.4      Beaufsichtigung der indischen Tochterfirma und Kommunikation mit der Öffentlichkeit durch den amerikanischen Mutterkonzern**

Im Mai 1982 sendete UCC Ingenieure nach Bhopal, um die Chemiefabrik zu inspizieren. Ziel dieser Inspektion war es, die Sicherheit der Anlage festzustellen und zu bestätigen, dass alles einwandfrei und den Standards von UCC entsprechend funktionierte. Die Ingenieure stießen auf teils gravierende Mängel. Um die Fabrik herum waren zahlreiche brennbare Chemikalien- und Ölreste zu sehen, zudem lagen alte Rohrleitungen und Behälter verstreut herum. An den Anlagen fanden die amerikanischen Ingenieure mangelhaft montierte Verbindungen, korrodierte Rohrleitungen sowie Risse und Lecks in Gastanks und Rohrleitungen. Zudem bemängelten sie das Fehlen von automatischen Sprinkleranlagen und Erdungen in den Produktionszonen für MIC und Phosgen sowie das Explosionsrisiko an den Gasfackeln der Anlage. Schließlich drückten die

inspizierenden Ingenieure auch ihre Bedenken über die unzureichend ausgebildeten Mitarbeiter, nicht zufriedenstellende Instruktionmethoden und schlampig verfasste Wartungsberichte aus /DUT 02/.

Diese Vielzahl an Mängeln drückt deutlich aus, dass die für die Chemiefabrik von Bhopal verantwortlichen Personen bei UCIL einen geringen Wert auf die Einhaltung sicherheitstechnischer Standards legten. Die amerikanische Mutterfirma UCC schickte zwar Ingenieure nach Indien, die formal die Einhaltung der Unternehmensstandards überprüften, ließ dem Bericht über zahlreiche Mängel jedoch keine weiteren Maßnahmen folgen. Der zu diesem Zeitpunkt im Amt befindliche Manager der Anlage blieb im Amt und führte seine exzessive Sparpolitik fort /DUT 02/.

### **2.3.2.5 Umgang mit vorhergehenden Unfällen**

Bereits vor dem katastrophalen Unfall am 03.12.1984 hatte es Unfälle in der Anlage gegeben. Diese involvierten ebenfalls Leckagen, bei denen schädliche Chemikalien aus Behältern bzw. Rohrleitungen austraten und Menschen schädigten. Im Dezember 1981 waren durch ein Phosgenleck ein Fabrikmitarbeiter getötet und zwei weitere verletzt worden. Im Oktober 1982 trat eine kleinere MIC durch ein defektes Ventil aus und gelangte in die Umgebung, wodurch einige Mitarbeiter sowie Anwohner der umliegenden Gemeinden Augenirritationen und Atemlosigkeit erlitten. Letzterer Unfall stellte exemplarisch dar, welche potenziellen Folgen ein Unfall in der Fabrik für die Anwohner haben könnte /DUT 02/.

Die Missstände in der Fabrik blieben nicht unbemerkt, in der lokalen Presse wurde bereits prophezeit, dass ihr Betrieb einmal ein katastrophales Ende nehmen würde. Als im Parlament von Madhya Pradesh die durch die Fabrik dargestellte Gefahr für die Bevölkerung diskutiert wurde, wurden die Sicherheitsbedenken durch den damaligen Arbeitsminister sowie den Manager der Fabrik weggewischt. Mit Verweis auf die Investitionskosten der Fabrik sowie der Beteuerung, dass in der Anlage keine Leckagen auftreten könnten, da diese bereits abgeschaltet sei, wurde der Diskussion ohne weitere Konsequenzen ein Riegel vorgeschoben. Weder UCIL oder UCC noch die indischen Behörden zogen aus diesen Vorfällen jedoch Konsequenzen, die Fabrik durfte weiterhin betrieben werden /DUT 02/, /HIS 14/.

### **2.3.2.6 Zusammenfassung**

Zusammenfassend können folgende organisationale Einflussfaktoren identifiziert werden, die die Entstehung der Chemiekatastrophe von Bhopal mitbewirkt haben:

#### **Akzeptieren von unsicheren Zuständen**

- Bereits im Vorfeld der Katastrophe hatte es kleinere Unfälle mit Toten und Verletzten gegeben, die die wachsende Unsicherheit der Anlage offenbarten. Daraus wurden jedoch weder von der Union Carbide India Limited noch von der Union Carbide Corporation Konsequenzen in Form von verstärkten Sicherheitsmaßnahmen gezogen.

#### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

- Es war die Aufgabe der lokalen Behörden von Madhya Pradesh, bei der Genehmigung der Errichtung der Chemiefabrik am vorgesehenen Standort die Sicherheit der Bewohner der Stadt Bhopal sowie der umliegenden Slums sicherzustellen. Gleichzeitig führten die direkte Beteiligung der indischen Regierung an UCIL und enge Kontakte zwischen hochrangigen Offiziellen der Lokalregierung und von UCC dazu, dass die Erfüllung der Kriterien für die Baugenehmigung nicht unvoreingenommen überprüft wurden.

#### **Fehlende oder unzureichende interne Überwachung**

- Die Überwachung der Einhaltung der Sicherheitsstandards durch UCC fand nur formal statt. Zwar wurden im Jahr 1982 amerikanische Ingenieure mit dem Auftrag der Inspektion der Anlage nach Bhopal entsandt, dieser Besuch diente jedoch lediglich dem Zweck, UCC zu bestätigen, dass die Anlage einwandfrei funktioniert und instandgehalten wird. Der Bericht über die tatsächlich vorliegenden zahlreichen und teils gravierenden Mängel hatte keine Konsequenzen.

#### **Fehlende oder unzureichende Schulungen**

- Aufgrund von Sparmaßnahmen wurden die Sicherheitstrainings des Anlagenpersonals stark verkürzt.

### **Frustration der Mitarbeiter**

- Aufgrund der aus den massiven Einsparungen resultierenden kontinuierlichen Verschlechterung der Sicherheit der Anlage machten sich bei den verbliebenen Angestellten Unzufriedenheit und Ärger über die Umstände breit.

### **Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

- Positive Ausprägung des Merkmals (nicht wirksam)

### **Äußerung von Sicherheitsbedenken**

- Bereits bei der Planung und Errichtung der Anlage im Jahr 1969 wurden Sicherheitsbedenken geäußert, die sich auf den Standort sowie die Lagerung großer Mengen von MIC bezogen. Diese Faktoren erwiesen sich später als entscheidend für den Katastrophenverlauf. Die Sicherheitsbedenken wurden jedoch nicht berücksichtigt, so dass dieses vorhandene Merkmal nicht wirksam wurde.

### **Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

- Bereits bei der Planung und Errichtung der Anlage im Jahr 1969 wurden Sicherheitsbedenken geäußert, die sich auf den Standort sowie die Lagerung großer Mengen von MIC bezogen. Diese Faktoren erwiesen sich später als entscheidend für den Katastrophenverlauf. Den Sicherheitsbedenken wurde keine weitere Beachtung geschenkt.

### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- In Indien herrschte zur Zeit des Baus der Chemiefabrik (Ende der 1970er- bzw. Anfang der 1980er-Jahre) der Druck zur Industrialisierung. Dies hatte zur Folge, dass die indische Regierung der Ansiedelung von Industriebetrieben wie UCIL eine höhere Priorität einräumte als möglichen negativen Folgen für die Anwohner. Der Wille, möglichst vielen indischen Arbeitskräften eine Beschäftigung zu verschaffen, führte dazu, dass man von der Automatisierung von Sicherheitsfunktionen absah und die entsprechenden Aufgaben durch manuelle Arbeit erfüllt wurden.

- Da die Chemiefabrik nie ihr Produktionspotenzial ausschöpfen konnte, entwickelte sich ihr Betrieb schnell zum Verlustgeschäft. Vom amerikanischen Mutterkonzern UCC wurde deshalb angeordnet, dass UCIL Kosten sparen sollte. Dies wurde vor Ort in Form von Entlassungen, verkürzten Sicherheitstrainings und dem Abschalten von Sicherheitssystemen umgesetzt.

#### **Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten**

- Da Kostenersparnis die oberste Zielsetzung des Managements war, litt die Qualität der Einrichtungen und Prozesse in der Anlage ab 1980 stark. Dies wurde bei einem Besuch durch amerikanische Ingenieure im Jahr 1982 festgestellt.

#### **Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Die Abwanderung von Personal hatte zur Folge, dass weniger qualifiziertes und im Umgang mit der Anlage erfahrenes Personal verfügbar war.

#### **Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Die aufgrund von Sparmaßnahmen durchgeführten Entlassungen von Personal führten zu einer geringeren Personalstärke.

#### **Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen**

- Das Chemiewerk in Bhopal konnte keinen Gewinn erwirtschaften und blieb ein Verlustgeschäft. Vom Mutterkonzern wurden UCIL nicht die erforderlichen Mittel bereitgestellt, um die Anlage mit der erforderlichen Zahl angemessen geschulter Angestellter sicher zu betreiben.

### **Unzureichende Mitarbeiterbindung**

- Durch die angewendeten Sparmaßnahmen vor Ort (Personalkürzungen, massive Einsparungen bei Sicherheitstrainings) kam es zu einer größeren Arbeitsbelastung für das verbliebene Personal sowie zur schleichenden Vernachlässigung der Wartung der Anlage. Als der Produktionsbetrieb der Anlage eingestellt und die Sicherheitssysteme zur weiteren Einsparung von Betriebskosten abgeschaltet wurden, sorgte dies für zunehmende Besorgnis und Unzufriedenheit der Angestellten. Ein erheblicher Teil der Belegschaft verließ die Anlage aus Sorge um die eigene Sicherheit. Bis 1983 sollen die Hälfte bis zwei Drittel der Mitarbeiter, die seit dem Beginn der Errichtung der Fabrik an ihrem Betrieb beteiligt gewesen waren, abgewandert sein.

### **Unzureichender Erfahrungsrückfluss**

- Aus Precursor-Ereignissen wurden weder von UCIL noch von UCC Konsequenzen in Form von verstärkten Sicherheitsmaßnahmen gezogen.

### **Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht**

- Es war die Aufgabe der lokalen Behörden von Madhya Pradesh, bei der Genehmigung der Errichtung der Chemiefabrik am vorgesehenen Standort die Sicherheit der Bewohner der Stadt Bhopal sowie der umliegenden Slums sicherzustellen. Gleichzeitig führten die direkte Beteiligung der indischen Regierung an UCIL und enge Kontakte zwischen hochrangigen Offiziellen der Lokalregierung und von UCC dazu, dass die Erfüllung der Kriterien für die Baugenehmigung nicht unvoreingenommen überprüft wurden.

## 2.4 Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998

Am 25. September 1998 kam es in einem Erdgaswerk im australischen Longford zu einer Explosion, bei der zwei Mitarbeiter getötet und acht verletzt wurden. Der anschließende Brand auf der Anlage dauerte zwei Tage, die Gasversorgung für ca. vier Millionen Menschen war für knapp 3 Wochen unterbrochen. Der wirtschaftliche Schaden belief sich auf umgerechnet über 600 Millionen Euro. Bei der betroffenen Anlage handelte es sich um ein Erdgaswerk, in dem offshore gefördertes Roherdgas von Fremdstoffen (Öle, Kohlenwasserstoffe usw.) getrennt wurde, um es für die Nutzung in der öffentlichen Gasversorgung vorzubereiten /CCP 07/.



**Abb. 2.1** Explosion des Esso-Erdgaswerks in Longford

Quelle: /LRC 99/

## 2.4.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unfallablaufes chronologisch dargestellt.

**Tab. 2.4** Chronologischer Ablauf von Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford

Zeitangaben in Ortszeit UTC+10

Zeit	Handlung/Ablauf
24.09.1998, Nachtschicht	<p>Aufgrund hoher Flüssigkeitsmengen, die aus Bestandteilen des zur Raffinerie transportierten Roherdgases kondensieren, füllen sich in der Nachtschicht vor dem Unfall die Absorber der Anlage stark. Die Absorber haben die Aufgabe, das Kondensat vom Erdgas zu trennen, damit das Erdgas weiterverwendet werden kann.</p> <p>Einer der Absorber (Absorber B) füllt sich besonders stark mit Kondensat, da er von Roherdgas mit einem höheren Anteil an Fremdstoffen durchströmt wird. In Absorber A sammelt sich weniger Kondensat.</p> <p>Der Füllstand in Absorber B steigt über den Messbereich hinaus an, wodurch Kondensat in den für die Abscheidung von Schweröl vorgesehenen Teil des Absorbers gelangt. Das Kondensat gelangt so in den Förderstrom für Schweröl und in einen Schwerölentspannungstank.</p>
23:00 Uhr	<p>Im Absorber B führt die große Kondensatmenge zu einem Temperaturabfall.</p> <p>Zur Regelung der Temperatur des Kondensats in Absorber B wird die Entscheidung getroffen, das Bypassventil TRC3B zu öffnen. Die Temperatur im Absorber B erreicht nach 15 Minuten wieder den normalen Bereich.</p>
25.09.1998, Wechsel von Nacht- zu Frühschicht	<p>Einer der zwei Nachtschichtleiter bittet einen Mitarbeiter, das Bypassventil TRC3B weiter zu öffnen. Zwischen den beiden Schichtleitern entsteht eine Meinungsverschiedenheit, ob das Ventil geöffnet oder geschlossen werden soll.</p> <p>Bei Übergabe von der Nachtschicht zur Frühschicht unterrichtet einer der Nachtschichtleiter den für die Anlagensteuerung verantwortlichen Mitarbeiter der Frühschicht darüber, dass das Bypassventil TRC3B zur Regelung der Temperatur in Absorber B geöffnet wurde, und dass die Anlage jetzt normal arbeitet. Der hohe Füllstand des Absorbers B wird nicht erwähnt.</p>

Zeit	Handlung/Ablauf
Ca. 07:20 Uhr	<p>Die Frühschicht stellt fest, dass die Temperatur in Absorber B mit -13°C im Normalbereich liegt (Datenaufzeichnungen zeigen allerdings später, dass die Temperatur tatsächlich bei -18°C liegt).</p> <p>Der Verantwortliche für die Anlagensteuerung äußert gegenüber dem Frühschichtleiter, trotz der bei der Schichtübergabe stattgefundenen Konversation über das Öffnen des Bypassventils TRC3B, dass er glaubt, das Bypassventil TRC3B sei zu Testzwecken gesperrt, und bittet darum, es schließen zu dürfen.</p> <p>Der Frühschichtleiter autorisiert ihn, das Ventil nach seiner persönlichen Einschätzung beliebig zu verfahren.</p>
Ca. 07:30 Uhr	Das Bypassventil TRC3B wird geschlossen. Dem Personal ist der hohe Füllstand in Absorber B nicht bewusst.
Ca. 07:30 Uhr bis 08:00 Uhr	Innerhalb einer halben Stunde fällt die Temperatur in Absorber B von -18 °C auf -26 °C
Ca. 07:00 Uhr bis 08:19 Uhr	<p>Das Eindringen von Kondensat (mit geringerer Dichte) in den Schwerölentspannungstank führt zu einem höheren Füllstand in einem nachgeschalteten Ölsättigungstank („Oil Saturator Tank“).</p> <p>Aufgrund des Füllstandanstieges drosselt ein Regelventil den Durchfluss der zugehörigen Rohrleitung, woraufhin der Füllstand des Ölsättigungstanks zu sinken beginnt. Zum Schutz vor Kavitation werden daraufhin die nachgeschalteten Pumpen GP1201 und GP1202 automatisch abgeschaltet. Der Füllstand des Ölsättigungstanks stabilisiert sich daraufhin.</p>
Nach 08:19 Uhr	Es strömt weiterhin Rohgas in die Anlage. Ein signifikanter Teil der aus dem Gas kondensierten Flüssigkeit strömt aus dem vollen Absorber B in einen Schwerölentspannungstank.
Zwischen 08:19 Uhr und 11:10 Uhr	Nach der Abschaltung der Pumpen GP1201 und GP1202 wird durch andere Pumpen (GP1204) heißes Leichtöl aus dem Schwerölentspannungstank durch einen befeuerten Heizkessel (GP501) gefördert.
11:10 Uhr	<p>Der Heizkessel GP501 und die GP1204-Pumpen werden von Hand abgeschaltet.</p> <p>Dies geschieht im Zuge einer Maßnahme, um kein weiteres Rohgas in den beschriebenen Anlagenteil zu fördern und den Anlagenteil abzuschalten.</p>

Zeit	Handlung/Ablauf
Nach 11:10 Uhr	<p>Aufgrund des Stillstands der GP1204-Pumpen findet keine Förderung von heißem Leichtöl durch diverse Wärmeübertrager mehr statt. Stattdessen zirkuliert in den dafür vorgesehenen Rohrleitungen und Wärmeübertragern nunmehr kaltes Kondensat, das aus dem Absorber B eingetragen wurde und nicht erwärmt wird.</p> <p>Die großen Kondensatmengen im Schwerölsystem bewirken einen Temperaturabfall, der unter anderem mehrere Wärmeübertrager betrifft. Dies äußert sich sichtbar in Form von Eisbildung an den nicht isolierten Teilen der Wärmeübertrager.</p> <p>Aufgrund der Abkühlung des Materials kommt es den Flanschen des Wärmeübertragers GP922 zu Temperaturversprödung und Verformungen, die wiederum zu Leckagen führen.</p> <p>Insgesamt treten durch die Leckage etwa 1.300 Liter Flüssigkeit aus.</p> <p>Der Leiter der Anlage wird über die Leckage informiert und nimmt telefonisch Kontakt mit den der Anlage zugehörigen Ingenieure in Melbourne auf. Er erreicht jedoch niemanden und hinterlässt eine Nachricht mit Bitte um Rückruf.</p>
Nach 11:50 Uhr	<p>Die aus dem Wärmeübertrager GP922 ausgetretene Flüssigkeit wird in das Abflusssystem gepumpt.</p> <p>Gleichzeitig wird dem Leiter der Instandhaltung aufgetragen, die Bolzen der leckenden Flansche nachzuziehen und damit die Leckage zu beheben.</p> <p>Die Mechaniker stellen am Wärmeübertrager fest, dass die Vorspannkraft an den Bolzen den Spezifikationen entspricht.</p> <p>Die zu diesem Zeitpunkt Verantwortlichen der Anlage (Der Produktionskoordinator, der Schichtleiter, der Vorsteher des Baustellenbereichs und andere) diskutieren den Anlagenzustand.</p> <p>Der Gasfluss sowie die Zirkulation von Leichtöl stehen still, die Temperatur im Absorber B liegt bei ca. -35 °C, im Schwerölsystem bei ca. -48 °C.</p>
Ca. 12:10 Uhr	<p>Die mit der Wartung des Wärmeübertragers GP922 beauftragten Mechaniker erkennen an der Vorspannkraft der Bolzen der Flansche keine Fehlerhaftigkeit.</p> <p>Es wird von den Verantwortlichen Mitarbeitern die Entscheidung getroffen, die abgeschalteten GP1204-Pumpen wieder zu starten, um durch die Förderung von warmem Leichtöl durch die betreffenden Komponenten deren Temperatur langsam zu erhöhen.</p> <p>Durch das langsame Erwärmen des Wärmeübertragers GP922 erhofft man sich eine Behebung der aufgetretenen Leckagen.</p>

Zeit	Handlung/Ablauf
Ca. 12:20 Uhr	<p>Der zuvor kontaktierte Ingenieur in Melbourne meldet sich per Telefon, erreicht aber seinerseits zunächst keinen der Verantwortlichen, da diese mit der Beseitigung der Leckage beschäftigt sind.</p> <p>Er wird vom Schichtleiter zurückgerufen und über die Leckage unterrichtet. Da der Schichtleiter klingt, als ob er in Eile ist, hält der Ingenieur ihn nicht länger auf, als er für nötig hält.</p>
Ca. 12:25 Uhr	<p>Nach dem Start der Pumpen strömt nun heißes Leichtöl durch den Wärmeübertrager GP922. Dieses weist eine höhere Temperatur auf, als das Personal gehofft hatte.</p> <p>Dem Leiter der Anlage wird die Gefahr eines Sprödbruchs aufgrund von temperaturinduzierter Spannung („thermischer Schock“) bewusst, woraufhin er anordnet, den Durchfluss von Leichtöl zu minimieren. Aufgrund eines Missverständnisses wird die entsprechende Armatur jedoch nicht angesteuert.</p> <p>Das Leichtöl strömt mit einer Temperatur von ca. 285 °C ungehindert durch den Wärmeübertrager GP922, was einen thermischen Schock und Sprödbruch an diesem zur Folge hat.</p> <p>Durch die Bruchstelle tritt nun Gas aus, das sich in der Anlage ausbreitet und an einer offenen Flamme entzündet. Daraufhin kommt es zur Explosion, durch die 2 Mitarbeiter getötet und 8 weitere verletzt werden.</p>

## **2.4.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Die direkte Ursache der Explosion war die Versprödung des Materials des Wärmeübertragers GP922 mit anschließendem Sprödbruch aufgrund eines thermischen Schocks. Dieser thermische Schock ist darauf zurückzuführen, dass sich der Wärmeübertrager während des Stillstands und gescheiterter Startversuche der GP1204-Pumpen gefährlich stark abkühlte, da der Durchfluss mit heißem Leichtöl unterbrochen war. Statt des heißen Leichtöls wurde der Wärmeübertrager von kalter Flüssigkeit durchströmt, die diesen auf eine Temperatur von ca. -48 °C abkühlte. Nach der Wiederinbetriebnahme der Pumpen wurde der Wärmeübertrager dann von heißem Leichtöl durchströmt, das sich während des Stillstands nicht, wie vom Personal erhofft, ebenfalls signifikant abgekühlt hatte. Durch die schlagartige starke Temperaturerhöhung fand eine Versprödung des Materials statt und der Wärmeübertrager erlitt einen Sprödbruch, wodurch gasförmige Kohlenwasserstoffe austraten und mit den Flammen von mit Feuer betriebenen Heizern in Kontakt kamen. Dieser Ereignisverlauf wurde durch mehrere zugrundeliegende organisatorische Einflussfaktoren begünstigt /LRC 99/.

### **2.4.2.1 Unkenntnis des Personals über die Gefahr durch die Unterbrechung des Leichtöldurchflusses**

Es existierten keine dem Personal zugänglichen Arbeitsanweisungen, wie im Fall eines Stillstands der betroffenen GP1204-Pumpen vorzugehen sei. Sowohl das Bedienpersonal als auch deren Vorgesetzte waren sich zudem der Gefahr, die vom Stillstand der Pumpen und der daraus resultierenden Abkühlung von Rohrleitungen und Behältern ausging, nicht bewusst. Die Tatsache, dass durch den Stillstand eine starke Abkühlung und damit gefährliche Belastung des Materials von Wärmeübertragern und Behältern entstand, wurde dadurch nicht ausreichend in die Entscheidungsfindung einbezogen. Es wurden dadurch nicht die angemessenen Maßnahmen ergriffen, die in diesem Fall erforderlich gewesen wären /LRC 99/.

Zurückzuführen ist dieser Wissensmangel beim Personal auf eine inadäquate Aus- und Weiterbildung durch Esso. Wie die offizielle Untersuchungskommission zum Ereignis feststellte, existierten zudem zum Unfallzeitpunkt keine aktuellen Arbeitsanweisungen, die den Umgang mit dem aufgetretenen Problem vorgaben. Esso hatte seine Angestellten nicht mit den notwendigen Informationen, Anweisungen und Trainings ausgestattet, um die Anlage in allen Betriebszuständen sicher betreiben zu können /LRC 99/.

In Abschnitt 21 des Occupational Health and Safety Act von 1985 sind die Pflichten von Arbeitgebern zum Sicherstellen einer sicheren und nicht die Gesundheit der Angestellten gefährdenden Arbeitsumgebung.

Wörtlich heißt es /OCC 85/:

„PART III—GENERAL PROVISIONS RELATING TO OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

21. Duties of employers

- 1) An employer shall provide and maintain so far as is practicable for employees a working environment that is safe and without risks to health.
- 2) Without in any way limiting the generality of sub-section (1), an employer contravenes that sub-section if the employer fails—
  - (a) to provide and maintain plant and systems of work that are so far as is practicable safe and without risks to health;
  - (b) to make arrangements for ensuring so far as is practicable safety and absence of risks to health in connexion with the use, handling, storage and transport of plant and substances;
  - (c) to maintain so far as is practicable any workplace under the control and management of the employer in a condition that is safe and without risks to health;
  - (d) to provide adequate facilities for the welfare of employees at any workplace under the control and management of the employer; or
  - (e) to provide such information, instruction, training and supervision to employees as are necessary to enable the employees to perform their work in a manner that is safe and without risks to health.”

Die Arbeitsumgebung, die Arbeitsanweisungen und das Training des Personals stellten am 28. September 1998 nicht sicher, dass die Anlage sicher und ohne Gesundheitsrisiken betrieben werden konnte. Somit verstieß Esso gegen den Occupational Health and Safety Act und damit gegen das geltende australische Recht /LRC 99/.

#### **2.4.2.2 Unzureichende Schichtübergabe**

Bei der Schichtübergabe sind alle relevanten Informationen zu kommunizieren. Eine Befragung ergab jedoch, dass bei der Schichtübergabe kein großer Aufwand darauf betrieben wurde Prozessprobleme und Logbucheinträge zu diskutieren. Die Diskussionen betrafen hauptsächlich auf die Produktion bezogene Themen, wie zum Beispiel die Gasnachfrage.

Die Schichtübergabe unmittelbar vor der Explosion wurde ebenfalls nur mangelhaft durchgeführt. So wurde während der Schichtübergabe nicht der hohe Füllstand an Kondensat im Absorber B erwähnt. Des Weiteren wurde nicht kommuniziert, dass der Alarm aufgrund des hohen Füllstandes sowie der Alarm aufgrund der niedrigen Temperatur des Kondensats noch immer aktiv war und lediglich das akustische Alarmsignal ausgeschaltet wurde /LRC 99/.

Ebenfalls waren die Logbucheinträge unzureichend. So fanden sich in diesen keine Angaben zu dem hohen Füllstand in Absorber B. Auch wurde nicht notiert, dass das Bypassventil TRC3B während der Schicht manuell bedient worden war /LRC 99/.

#### **2.4.2.3 Große Anzahl an ausgelösten Alarmen**

Eine große Anzahl der Regelkreise waren mit Alarmsignalen ausgestattet. Ziel war es, die Mitarbeiter durch Warnsignale auf Abweichungen (Messwerte außerhalb einer definierten Bandbreite) im Anlagenbetrieb hinzuweisen und so den sicheren und effizienten Anlagenbetrieb zu unterstützen. Jeder Alarm hatte ein visuelles Signal auf einem Display sowie ein lautes akustisches Signal.

Jedoch war es im Kontrollraum der Anlage nicht ungewöhnlich, dass zu jeder Zeit eine große Anzahl an Alarmsignalen aktiv waren. Wobei es sich jedoch in vielen Fällen um Fehlalarme („Nuisance Alarms“) handelte. Häufig wurde ein Alarm ausgelöst, da eine überwachte Prozessgröße am oberen oder unteren Ende ihres Arbeitsbereichs betrieben wurde und sich ständig aus dem Arbeitsbereich hinaus und wieder hineinbewegte. Wichtige Alarmsignale konnten dadurch leicht in der großen Anzahl an Alarmsignalen untergehen.

Ein neuer Vorgang im Jahr 1992 führte dazu, dass der Absorber bei einer geringeren Temperatur als ursprünglich vorgesehen betrieben werden musste (bei -20 bis -25 °C anstatt bei -10 °C). Dies führte dazu, dass mehr Kondensat sich im Absorber sammelte, was zu einer Häufung an Alarmen aufgrund zu hoher Füllhöhe führte. In der Zeit vor der Explosion wurde dieser Alarm häufiger ausgelöst und die Mitarbeiter hatten sich an den Alarm gewöhnt /LRC 99/.

#### **2.4.2.4 Nicht angefertigter Sicherheitsbericht für die Anlage**

Anfang der 80er-Jahre war in der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) die sogenannte Seveso-Richtlinie in Kraft getreten, die von den Mitgliedsstaaten die Entwicklung und Inkraftsetzung von Sicherheitsrichtlinien für Anlagen mit dem Potential für schwere Unfälle fordert. Nach einem schweren Unfall auf einer Offshore-Bohrinsel namens Piper Alpha im Jahr 1988 wurde durch eine Untersuchungskommission unter Lord Cullen empfohlen, diese Standards auf Offshore-Anlagen auszuweiten. Esso hatte das Prinzip der Anfertigung von Sicherheitsnachweisen für seine Offshore-Anlagen übernommen, für seine Onshore-Anlagen jedoch nicht (möglicherweise, da dazu keine Verpflichtung bestand) /LRC 99/.

Im Jahr 1995 war im Zuge des National Health and Safety Commission Act 1995 in Australien die National Occupational Health and Safety Commission gegründet worden. 1996 wurde durch die National Occupational Health and Safety Commission der National Code of Practice for the Control of Major Hazard Facilities veröffentlicht. Dieser hatte keine rechtlich bindende Wirkung, wurde aber mit der Erwartung verfasst, eine rechtlich bindende Wirkung zu erhalten. Der Standard etablierte einen Rahmen für die Handhabung von hochgefährlichen Anlagen (Major Hazard Facilities, MHF), seine Einhaltung blieb im Bundesstaat Victoria, in dem sich die Anlage befand, freiwillig /LRC 99/.

Sowohl der nationale Standard als auch die Occupational Health and Safety (Plant) Regulations, die im Jahr 1995 in Kraft traten, verpflichteten Anlagenbetreiber wie Esso dazu, sicherzustellen, dass alle Gefahrenpotentiale, die den Betrieb ihrer Anlagen betreffen, identifiziert werden. Esso hatte dazu ein System zur Inspektion von Druckgeräten in Longford entwickelt, das keine Anzeichen von Fehlerhaftigkeit oder Unvollständigkeit aufwies. Der nationale Standard forderte zusätzlich dazu von Betreibern von MHF das Anfertigen eines Sicherheitsberichts und dessen anschließendes Versenden an die zuständige Behörde. Ein solcher Bericht muss eine schriftliche Präsentation der technischen, organisatorischen und operationalen Informationen, die relevant für die

Einschätzung der die Anlage betreffenden Gefahren und Risiken sind. Zudem muss die Angemessenheit der ergriffenen Sicherheitsvorkehrungen begründet nachgewiesen werden /LRC 99/.

Der im Jahr 1997 in Kraft getretene Gas Safety Act forderte ebenfalls das Anfertigen eines Sicherheitsberichts von in der Gasbranche aktiven Unternehmen. Die für die Überprüfung der Einhaltung dieser Anforderung zuständige Behörde des Bundesstaates Victoria war jedoch im Fall der Esso-Anlage in Longford weniger streng, als es bei anderen Anlagen von Esso der Fall war, und forderte Esso nicht rechtzeitig vor dem Unfall zur Anfertigung des Sicherheitsberichts auf. Wäre dies der Fall gewesen, hätte Esso bei der dafür erforderlichen Analyse von Gefahren- und Fehlerquellen auf die dem Unfall zugrunde liegenden Mechanismen aufmerksam werden können und Maßnahmen zur Behebung des Risikos ergreifen können /LRC 99/.

Die Tatsache, dass die Frist zur Anfertigung des Sicherheitsberichtes nicht strikt mit einer auf gesetzlicher Ebene festgelegt war, sondern auf der Entscheidung der lokalen Behörde beruhte, spielte hierbei eine entscheidende Rolle.

#### **2.4.2.5 Verlegung von technischem Personal vom Anlagenstandort nach Melbourne**

Esso hatte im Jahr 1992 Ingenieure, die zuvor ihre Büros auf der Anlage in Longford stationiert hatten, in das etwa 200 Kilometer entfernte Melbourne versetzt. Die Ingenieure wurden Teil einer neuen Abteilung namens Plants Engineering Group, die später in Plants Surveillance Group umbenannt wurde. Die Aufgabe der Ingenieure war, als sie sich noch auf der Anlage befanden, die kontinuierliche Überwachung der Prozesse der Anlage gewesen. Nach der Versetzung fand durch die Ingenieure trotz des Namens ihrer Abteilung keine kontinuierliche Überwachung von Prozessparametern der Anlage mehr statt. Das neue Aufgabenfeld der Ingenieure war die Arbeit an ingenieurmäßigen Projekten, die der Verbesserung der Produktrückgewinnung dienten /LRC 99/.

Die Ingenieure standen zur Hilfestellung bei konkreten Problemstellungen, die auf der Anlage auftraten, telefonisch zur Verfügung, konnten ihrer ursprünglichen Aufgabe allerdings nicht mehr nachkommen. Zwar statteten die Ingenieure der Anlage regelmäßige Besuche ab, dies bedeutete aber dennoch eine starke Verringerung von deren Präsenz auf der Anlage /LRC 99/.

Die Aufgaben, die vorher von den Ingenieuren auf der Anlage ausgeübt wurden, wurden dadurch an das Bedienpersonal und deren Vorgesetzte übertragen. Im Gegensatz zu den Ingenieuren, die sich auf längerfristige Trends und die Analyse von wiederkehrenden prozessbezogenen Problemen konzentriert hatten, lag der Fokus des Bedienpersonals vor allem auf unmittelbaren Notwendigkeiten für die Erdgasproduktion. Zudem ging durch die Versetzung der Ingenieure ein Teil des Fachwissens über prozessinterne Abläufe und die Handhabung der Anlage vor Ort verloren /LRC 99/.

Kurz vor der Explosion auf der Anlage äußerte sich die Schwierigkeit der Kommunikation zwischen den Ingenieuren in Melbourne und dem Anlagenpersonal darin, dass gegenseitige Anrufversuche zunächst scheiterten und später beim Telefonat zwischen einem Ingenieur und dem Schichtleiter auf der Anlage nicht alle wichtigen Informationen ausgetauscht werden konnten. Eine Anwesenheit von Ingenieuren mit anderem Blickwinkel und Fachwissen auf der Anlage hätte unter Umständen verhindern können, dass es zur Explosion kam /LRC 99/.

#### **2.4.2.6 Anwendbarkeit und Implementierung des konzerneigenen Managementsystems**

Laut Untersuchungsbericht entsprach das Managementsystem von Esso (Operations Integrity Management System, OIMS) internationaler Best Practice und stellte die internationale Spitzenklasse dar. Diese Bewertung bezieht sich gleichwohl nur auf die dem Managementsystem zugrunde liegenden Anforderungen und Richtlinien. Zum OIMS existierten mehrere unterstützende Handbücher, die ein hochkomplexes und in Teilen zirkuläres System mit zahlreichen Wiederholungen, Querverweisen und schwer verständlicher Sprache darstellten. Aufgrund dessen gestalteten sich das Verständnis und die vollständige Implementierung des OIMS für die Angestellten als schwierig.

In der untersuchten Katastrophe zeigte sich die unzureichende Implementierung des OIMS in das operative Vorgehen des Personals darin, dass im OIMS beschriebene Maßnahmen zur Verhinderung bzw. Verringerung der Auswirkungen des zum Stillstand gekommenen Leichtöldurchflusses nicht ergriffen wurden. Von einem hochrangigen Konzernmitglied sowie einem von Esso zu Rate gezogenen Experten wurde im Nachgang des Ereignisses festgestellt, dass die mangelhafte Implementierung des Managementsystems durch das Personal als direkter Indikator für dessen Erfolg diene /LRC 99/.

#### **2.4.2.7 Zusammenfassung**

Zusammenfassend können die folgenden organisationalen Einflussfaktoren dieses Ereignisses festgehalten werden:

##### **Duldung von Nichtkonformitäten**

- Vorfallsberichte wurden nicht gemäß den im Managementsystem festgelegten Anforderungen angefertigt.

##### **Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen**

- Esso hatte dem Bedienpersonal und deren Vorgesetzten keine Arbeitsanweisungen zur Verfügung gestellt, die das Vorgehen in der dem Unglück vorausgehenden Situation (Stillstand der Leichtölförderpumpen und daraus resultierende starke Abkühlung von Rohrleitungen, Behältern und Armaturen) vorgaben.

##### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

- Die Behörden im Bundesstaat Victoria haben die Anfertigung eines Sicherheitsberichtes, der die potenzielle Gefährdungssituationen der Anlage identifiziert und die erforderlichen sicherheitstechnischen Vorkehrungen und Maßnahmen darlegt, nicht frühzeitig von Esso eingefordert.

##### **Fehlende oder unzureichende interne Überwachung**

- Logbuch-Einträge wurden weder von der Anlagenleitung noch vom Management in Melbourne kontrolliert.
- Ein vor dem Unfall durchgeführtes Audit des Managementsystems ergab, dass dieses erfolgreich implementiert wurde. Dieses Urteil hielt einer Prüfung nach dem Unfall nicht stand.

##### **Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse**

- Eine geplante Gefahrenanalyse (Hazard and Operability Study, HAZOP) wurde nicht durchgeführt, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gefahren, die zum Unfall beigetragen haben, identifiziert hätte. Die Gründe für die Nicht-Durchführung konnten nicht abschließend geklärt werden.

- Eine Risikoanalyse wurde nur unzureichend durchgeführt. Es wurde kein Szenario untersucht, das Prozessstörungen betrachtete, die zu dem Unfall geführt haben. Die zuletzt durchgeführte Risikoanalyse aus dem Jahr 1994 hatte nur einen verringerten Umfang aufgrund der geplanten, aber nicht durchgeführten anstehenden HAZOP. Eine geplante Risikoanalyse für das Jahr 1997 wurde von einem Exekutivausschuss des Esso-Vorstands zudem verschoben.

### **Fehlende oder unzureichende Schulungen**

- Esso hatte das Personal nicht ausreichend geschult, um das Wissen zu vermitteln, das für eine angemessene eigenständige Evaluierung des vor der Explosion herrschenden Anlagenzustandes notwendig gewesen wäre.

### **Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem**

- Das Managementsystem wurde in der Praxis nur unzureichend umgesetzt bzw. implementiert. Hier ist insbesondere die mangelhafte Implementierung eines adäquaten Erfahrungsrückflusses, wie im Managementsystem vorgesehen, zu nennen.
- Das Managementsystem war zusammen mit den unterstützenden Handbüchern komplex. Zudem war die Dokumentation repetitiv, zirkulär und enthielt unnötige Querverweise. Teilweise war die Darstellung schwer verständlich.

### **Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite**

- Bei den Schichtübergaben wurde kein großer Aufwand betrieben, Prozessprobleme und Log-Einträge zu diskutieren. Die Diskussionen betrafen hauptsächlich auf die Produktion bezogene Themen, wie zum Beispiel die Gasnachfrage. So wurde während der Schichtübergabe vor der Explosion nicht der hohe Füllstand des Absorbers B erwähnt.

### **Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

- Es kam zu Schwierigkeiten bei der Kommunikation zwischen den Ingenieuren in Melbourne und den Mitarbeitern auf der Anlage in Longford. Gegenseitige Anrufversuche vor der Explosion scheiterten zunächst. Bei einem späteren Telefonat zwischen einem Ingenieur und dem Schichtleiter auf der Anlage konnten nicht alle wichtigen Informationen ausgetauscht werden.

### **Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten**

- Eine geplante HAZOP wurde nicht durchgeführt.

### **Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Durch die Versetzung von Ingenieuren, deren Aufgabe zuvor die Überwachung der anlageninternen Prozesse war, ging auf der Anlage Fachwissen verloren, wodurch dem Personal die korrekte Einschätzung des Anlagenzustandes erschwert war.

### **Unzureichende Anforderungen**

- Zwar war durch einen nationalen Standard in Australien gefordert, dass Betreiber von hochgefährlichen Anlagen (Major Hazard Facility, MHF) den lokalen Behörden einen umfassenden Sicherheitsbericht zukommen lassen, in dem potentielle Gefährdungssituationen der Anlage identifiziert und die erforderlichen sicherheitstechnischen Vorkehrungen und Maßnahmen dargelegt werden. Die Behörden im Bundesstaat Victoria besaßen jedoch nicht die notwendige rechtliche Grundlage, um die Anfertigung eines solchen Berichts vor dem Unfall von Esso verbindlich und frühzeitig einzufordern.

### **Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten**

- Häufige sich wiederholende Alarm- und Warnsignale (ohne eine angemessene Priorisierung) hatten dazu geführt, dass Mitarbeiter gegenüber möglichen gefährlichen Warnsignalen, ausgelöst durch eine gefährliche Situation, desensibilisiert wurden bzw. waren.

### **Unzureichende Fachkunde**

- Das Anlagenpersonal war nicht in der Lage, den Anlagenzustand vor der Explosion korrekt einzuschätzen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

### **Unzureichender Erfahrungsrückfluss**

- Prozessstörungen waren selten, wenn überhaupt, Gegenstand eines Vorfallsberichts, es sei denn, sie wurden von Personen- oder Sachschäden begleitet. So wurde ein dem Unfall ähnliches Precursor-Ereignis, welches sich am 28. August 1998 ereignete, nicht gemeldet.

## Unzureichendes Veränderungsmanagement

- Nach der Versetzung von Ingenieuren, deren Aufgabe zuvor die Überwachung der anlageninternen Prozesse war, wurde die Überwachung dem Bedienpersonal übertragen, das einen anderen Fokus bei der Ausübung seiner Aufgaben hatte. Gleichzeitig ging auf der Anlage Fachwissen verloren, wodurch dem Personal die korrekte Einschätzung des Anlagenzustandes erschwert war.
- Im Managementsystem wurde der Umfang und der Rahmen einer Risikoanalyse, die bei einer Änderung durchzuführen ist, nicht definiert.

### 2.5 Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998

Am 03.06.1998 entgleiste auf der Bahnstrecke Hannover–Hamburg ein ICE Typ 1 aufgrund eines durch Ermüdung gebrochenen Radreifens. Wegen einer als Folge der Entgleisung umgestellten Weiche schleuderten Wagons gegen die Pfeiler einer über die Bahnlinie führenden Straßenbrücke, diese stürzte ein. Wagen wurden unter den Trümmern der Brücke begraben bzw. liefen mit hoher Geschwindigkeit auf die Trümmer auf. 101 Menschen kamen ums Leben und 88 wurden schwer verletzt.



**Abb. 2.2** Trümmer des ICE

Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ice\\_eschede\\_1.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ice_eschede_1.jpg)

## 2.5.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unglücks chronologisch dargestellt (Angaben in Lokalzeit MESZ).

**Tab. 2.5** Chronologischer Ablauf der Entgleisung des ICE in Eschede

Zeitangaben in Ortszeit MESZ=UTC+2

Zeit	Handlung/Ablauf
10:57:24 Uhr	<p>Der ICE-Triebzug vom Typ 1 (zwei Triebköpfe der Baureihe 401 und Mittelwagen der Baureihen 801 bis 804) befindet sich als ICE 884 „Wilhelm Conrad Röntgen“ mit ca. 200 km/h auf der Fahrt von München nach Hamburg etwa sechs Kilometer vor Eschede beim Streckenkilometer 55,1, als ein Radreifen an einem Rad der dritten Achse des ersten Wagens nach dem führenden Triebkopf durch Materialermüdung bricht.</p> <p>Der Radreifen wickelt sich ab und ein Ende durchschlägt den Wagenkasten und wölbt den Fußboden unter zwei Sitzen im Wagen 1 auf. Zunächst rollt der Zug noch weitgehend stabil auf der bloßen Radscheibe, jedoch treten ein starkes rumpelndes Fahrgeräusch an dem betroffenen Laufwerk und eine schlingende Bewegung auf.</p>
	<p>Ein Passagier in dem betroffenen Abteil sucht nach Bahnmitarbeitern, um die Beobachtungen zu melden. Der informierte Zugbegleiter begibt sich zu dem betroffenen Abteil, um vor Auslösung von Maßnahmen (Notbremsung) den Schaden in Augenschein zu nehmen, wie es den Vorschriften entspricht.</p> <p>Bevor er Maßnahmen einleiten kann, findet jedoch die Entgleisung statt. Weitere Passagiere sind durch Geräusche und ein schlingendes Fahrverhalten alarmiert. Keiner betätigt jedoch die Notbremse.</p>
	<p>Im weiteren Verlauf der Fahrt kommt es zur Beschädigung von Schwellen und der Abtrennung eines Linienleiters der Linienzugbeeinflussung (LZB).</p>

Zeit	Handlung/Ablauf
10:59:06 Uhr	<p>Beim Überfahren der ersten Weiche des Bahnhofs Eschede prallt der noch immer im Zugboden steckende Radreifen gegen einen Radlenker der Weiche und reißt diesen von den Schwellen. Er bohrt sich bis in die Decke hinauf und hebt dabei die Achse aus den Gleisen. Eines der entgleisten Räder trifft auf die Weichenzunge der zweiten Weiche und stellt sie dabei um, so dass die hinteren Achsen von Wagen 3 auf das in Fahrtrichtung rechts abzweigende Gleis gelenkt werden.</p> <p>Aufgrund der für den Radius des abzweigenden Gleises viel zu hohen Geschwindigkeit schleudert der Wagen über das abzweigende Gleis hinaus gegen die Pfeiler einer Straßenüberführung, die sich ca. 200 m hinter der Weiche befindet. Dadurch stürzt die Brücke ein. Zwei Bahnarbeiter, die unter der Brücke stehen, werden getötet. Die ersten drei Wagen reißen vom Triebkopf ab. Der folgende Wagen, der durch das plötzliche Ausscheren des dritten Wagens bei 200 km/h ebenfalls entgleist ist, unterquert die einstürzende Brücke und stürzt seitlich nach rechts eine Böschung hinunter.</p> <p>Die ungefähr 200 Tonnen schwere Brücke bricht über der zweiten Hälfte des fünften Wagens zusammen und beschädigt den hinteren Teil des Wagens. Der sechste Wagen wird unter den Trümmern begraben. Die folgenden Wagen schieben sich ziehharmontikaartig zusammen. Herabstürzende Trümmer der Brücke führen zu schweren Zerstörungen der Wagen. Der hintere Triebkopf entgleist ebenfalls und fährt auf den Trümmerberg auf. Viele Passagiere erleiden aufgrund der hohen Beschleunigung und dem Zusammenquetschen der Wagons tödliche oder schwere Verletzungen.</p>
10:59:21 bis 11:00:32 Uhr	<p>Durch das Zerreißen der Hauptluftleitung und den daraus resultierenden Druckluftverlust im Bremssystem sprechen die selbsttätigen Bremsen an. Der vordere Triebkopf stoppt zwei Kilometer hinter dem Bahnhofsgebäude von Eschede.</p> <p>Die weitgehend unbeschädigten Wagen 1 und 2 sowie der an seinem Ende beschädigte Wagen 3 bleiben wenige hundert Meter hinter der Brücke in Richtung Bahnhof Eschede auf dem Gleiskörper stehen.</p>
ca. 11:00 Uhr	Der Fahrdienstleiter des Bahnhofs Eschede bemerkt den allein fahrenden Triebkopf und stellt alle Signale des Bahnhofs auf Halt.
ab 11:00 Uhr	Mehrere Notrufe erreichen die Rettungsdienste
11:03 Uhr	In Eschede werden per Sirenenalarm alle Rettungskräfte alarmiert.
11:06 Uhr	Die Rettungsleitstelle des Deutschen Roten Kreuzes (DRK) versetzt den Sanitätsdienst Celle sowie die Rettungsdienste der benachbarten Landkreise Hannover, Gifhorn und Uelzen in Alarmzustand.

<b>Zeit</b>	<b>Handlung/Ablauf</b>
11:07 Uhr	Ein Fahrzeug der Feuerwehr Eschede trifft an der Unfallstelle ein.
11:08 Uhr	Der Gemeindebrandmeister gibt eine Lagemeldung. Der Kreisbrandmeister, der sich auf dem Weg zum Unfallort befindet, veranlasst daraufhin den Einsatz aller sieben Feuerwehrfahrzeuge zur technischen Hilfeleistung (Rüstwagen) im Landkreis Celle. Gleichzeitig werden zwei Rettungshubschrauber aus Celle und Hannover und eine Hubschrauberstaffel der Heeresfliegertruppe vom Militärflugplatz Faßberg angefordert.
	Die Rettungsleitstelle in Celle geht von einem Massenanfall von Verletzten aus und löst Großalarm aus. Die mit nur einer Person besetzte Leitstelle bittet die umliegenden Leitstellen um Unterstützung. Daraufhin übernimmt u. a. die hannoversche Leitstelle die Disposition der Rettungshubschrauber.
11:18 Uhr	Die Deutsche Bahn (DB) bestätigt die Abschaltung der Fahrleitung.
11:42 Uhr	Da Mitarbeiter zufällig den Funkverkehr mitgehört hatten, schickt die Landesfeuerwehrschule Celle 37 auch notfallmedizinisch ausgebildete Berufsfeuerwehrleute eines Lehrgangs zur Unfallstelle.
	In der ersten Einsatzphase sind sowohl der Funk der Hilfsorganisationen und Sicherheitsbehörden (BOS-Funk) und auch die Mobilfunknetze überlastet, so dass die Kommunikation untereinander und nach außen kaum möglich ist. Die Abschaltung der Mobiltelefone und die Verlegung von Feldkabeln erlaubten es im weiteren Einsatzverlauf, die Probleme zu lösen.
ca. eine Stunde nach Ereignisseintritt	Zelte für die Verletzten stehen zur Verfügung. Leichtverletzte werden in einer ca. 300 Meter entfernten Turnhalle betreut. Mehr als 50 Ärzte sind an der Unfallstelle eingetroffen.
12:05 Uhr	Der erste Verletzte wird mit einem der Rettungshubschrauber abtransportiert.
13:45 Uhr	Alle behandlungsbedürftigen Verletzten wurden abtransportiert. Insgesamt 87 Verletzte sind versorgt und in Kliniken gebracht worden.
	Zur Betreuung der Helfer werden Kriseninterventionsteams eingerichtet.
im weiteren Verlauf	96 Tote werden aus den Trümmern geborgen, 5 Menschen erliegen im Krankenhaus ihren Verletzungen.

## 2.5.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren

Wesentliche Ursache des Unglücks war das Versagen des Radreifens durch Ermüdungsbruch. Der Ermüdungsbruch war durch die Fehlauslegung des Rades in Zusammenarbeit mit mangelnder Erprobung und Überwachung verursacht.

Ursprünglich war der ICE 1 wie andere Hochgeschwindigkeitszüge mit Vollrädern ausgerüstet gewesen. Bei diesem Radtyp bestehen die gesamten Räder aus einem Bauteil. Unter Sicherheitsaspekten ist diese Auslegung optimal. Beim ICE 1 waren allerdings im Betrieb starke Vibrationen und ein Brummen aufgetreten. Diese waren von Reisenden kritisiert worden. Auch Schäden an den Wagen wurden als Folge befürchtet /GRA 10/. Diese Probleme waren durch die Auslegung des ICE mit Stahlfederung in Zusammenhang mit der im Betrieb auftretenden Abnutzung der Räder verursacht /WIK 19/. Dieses Federungskonzept hatte man aus Kostengründen gewählt, obwohl in der ersten Generation des französischen Hochgeschwindigkeitszuges TGV Sud-Est die ursprüngliche Stahlfederung fünf Jahre nach Betriebsaufnahme durch Luftfederung ersetzt werden musste /OBE 06/. Von der DB wurden verschiedene Lösungsmöglichkeiten des Problems entwickelt, u. a. ebenfalls die Nachrüstung einer Luftfederung. Es wurde die kostengünstigste Alternative, die Verwendung von gummigefederten Einringrädern, gewählt. Bei dieser Konstruktion ist zwischen Radreifen und Radkern eine Schicht aus Hartgummi eingebettet, die beim ICE 2 cm stark war. Diese sind sogar preisgünstiger als die zuvor verwendeten Vollräder. Im Gegensatz zu ohne Spiel aufgesetzten Radreifen und zu Vollrädern ist eine gedämpfte Bewegung zwischen Reifen und Rad möglich, so dass eine zusätzliche Federung und Dämpfung erreicht wird. Diese Konstruktion führt allerdings zu einer hohen Belastung der Radreifen, da bei drehendem Rad der Radreifen ständig verformt wird. Insbesondere neigt der Radreifen bei dieser Konstruktion zu einer Rissbildung von der Innenseite her, die schwer mit zerstörungsfreien Verfahren zu entdecken ist /WIK 19/.

Diese Radkonstruktion war zuvor nur bei Straßenbahnen eingesetzt worden. Bei höheren Geschwindigkeiten, insbesondere bei Hochgeschwindigkeitszügen, war sie nie zuvor verwendet worden. Vor ihrem serienmäßigen Einsatz im ICE wurden die entwickelten Räder nicht in Simulatoren bei Geschwindigkeiten von über 200 km/h dauererprobt. Vor und nach der Einführung wurden keine Labor- und Fahrversuche bis zur Verschleißgrenze oder bis zum Bruch des Radreifens durchgeführt /WIK 19/.

Zunächst wurde vom Leitenden Direktor im Bundesbahn-Zentralamt, das zuständig für die sicherheitstechnische Zulassung von Reisezugwagen war, für notwendig gehalten, die Eignung durch längere, mindestens zweijährige Versuche nachzuweisen. Obwohl im Februar 1992 ein Riss an einem getesteten Radreifen festgestellt wurde, kam der Leitende Direktor im Bundesbahn-Zentralamt nach weiteren Tests und Diskussionen u. a. mit dem zuständigen Bahnvorstand für Forschung und Entwicklung zum Schluss, dass die Einführung zum jetzigen Zeitpunkt ein „gewisses Risiko wegen der fehlenden Betriebserfahrung“ beinhalte, das allerdings „nach dem derzeitigen Kenntnisstand getragen werden“ könne. Der Bahnvorstand für Forschung und Entwicklung legte daraufhin dem Bahnvorstand eine Beschlussvorlage vor: „Eine Schwächung des kommerziellen Erfolges des ICE ist zu erwarten, wenn das Problem ‚Brummen‘ nicht gelöst wird. Derzeit bestehen keine konstruktiven Bedenken gegen die Räder [Anm. d. Autoren: gemeint sind die gummigefederten Einringräder] und es spricht nichts gegen ihre Zulassung für den ICE. Wegen fehlender Langzeiterfahrungen unter ICE-Bedingungen, insbesondere bei dünnen Radreifen, werden jedoch weiterhin wie bisher laufende Kontrollen im Betrieb durchgeführt.“ In der Folge beschloss der Bahnvorstand die umfängliche Einführung der gummigefederten Räder für die ICE-Züge Typ 1 /LUD 01/.

Die geplanten Kontrollen wurden dann allerdings nicht tatsächlich durchgeführt, so dass die Rissbildung in dem Rad, dessen Versagen zum Unfall führte, nicht erkannt wurde. So wurden die Räder, wie zuvor Vollräder, im Wesentlichen durch regelmäßige Sichtprüfungen überwacht. Darüber hinaus wurden auch Ultraschalluntersuchungen durchgeführt. Diese bewährten sich aber nicht, weil sie sehr viele Anzeigen produzierten, d. h. falsch positive Hinweise auf Mängel. Zu einer effektiven Erkennung der kritischen, sich von innen ausbreitenden Risse waren die bei der Bundesbahn vorhandenen Prüfeinrichtungen ebenfalls nicht in der Lage.

Vorgegebene Grenzwerte in Bezug auf Flachstellen und Riefen wurden nicht eingehalten, da das Prüfpersonal davon ausging, dass diese Werte für den Fahrkomfort nicht für die Sicherheit bedeutsam sind. Generell gab es keine explizite Kennzeichnung sicherheitstechnisch bedeutsamer Grenzwerte. Bei dem neuen Radtyp waren Flachstellen und Riefen jedoch auch sicherheitstechnisch von erheblicher Bedeutung, da diese die mechanische Belastung des Radreifens und seine Ermüdung deutlich erhöhen. Bei der letzten Inspektion des Zuges vor dem Unfall wurde an dem betroffenen Radsatz eine Rundlaufabweichung von 1,1 mm festgestellt, was fast dem Doppelten des zugelassenen Grenzwertes entspricht. Weiterhin hatte der Radsatz den Grenzwert eines weiteren

Parameters leicht überschritten. Entgegen den Instandsetzungsrichtlinien wurde der Radsatz nicht ausgetauscht, da von keiner Sicherheitsrelevanz ausgegangen wurde. Darüber hinaus hatten Zugbegleiter zuvor achtmal die Flachstelle des Radsatzes gemeldet. Diese Mängel wurden im bordeigenen Diagnosesystem gespeichert. Diese Daten wurden aber nicht als sicherheitsrelevant bewertet /GRA 10/. Insgesamt wurde die Überwachung der Räder neuen Typs im Wesentlichen wie die der vorher verwendeten Vollräder durchgeführt. Eine Überprüfung und sicherheitstechnisch gebotene Änderung der Überwachung aufgrund der Einführung von nicht betriebsbewährten Rädern neuen Typs erfolgten nicht.

Die Verschleißgrenze des Radreifens (maximal zulässige Abnutzung, bevor er ausgetauscht werden muss) war falsch festgelegt worden. Weil in Deutschland keine Anlage zur experimentellen Bestimmung der zulässigen Verschleißgrenze vorhanden war, wurde die Verschleißgrenze anhand theoretischer Überlegungen bestimmt. Wie Untersuchungen nach dem Unglück zeigten, waren diese Analysen fehlerhaft, da insbesondere die dynamischen Verformungen des Radreifens aufgrund der Gummieinlage, besonders bei unrundem Lauf durch Flachstellen und Kerben sowie bei stark abgenutztem Radreifen sowie hohe lokale Spannungen im Material bei der Bildung von Rissen auf der Innenseite der Radreifen nicht adäquat berücksichtigt worden waren /HEI 11/ /WIK 19/. Der Radreifen, dessen Bruch den Unfall verursachte, war stark abgefahren. Vor dem Unfall durfte ein Radreifen vom Neuzustand 920 mm Außendurchmesser bis auf 854 mm abgefahren werden. Der gebrochene Radreifen hatte einen Außendurchmesser von 862 mm. Nach dem Unfall durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass nur bei einem Durchmesser von 890 mm und einer jährlichen Inspektion auf Innenrisse noch von einer Dauerfestigkeit ausgegangen werden kann /GRA 10/.

Zeitlich zusammenfallend mit der Einführung der gummigefederten Räder 1992 versuchte der Hersteller die Betriebshaftpflichtversicherung von 50 auf 100 Millionen Mark zu verdoppeln. Da der Versicherer dies als außergewöhnlichen Vorgang ansah und eine aufwendige Risikoanalyse forderte, kam es nicht zum Abschluss eines Vertrages /LUD 01/. Belastbare Informationen, dass der Hersteller von einem erheblich erhöhten Risiko der neuen Radkonstruktion mit möglicher Haftung des Herstellers ausging und deshalb die Verbesserung des Versicherungsschutzes anstrebte, liegen allerdings nicht vor.

Bei dem hannoverschen Verkehrsbetrieb Üstra waren 1997 innerhalb kurzer Zeit vier Radreifenbrüche bei Straßenbahnen, bei denen ebenfalls Räder ähnlicher Konstruktion

eingesetzt werden, weit vor der erwarteten Verschleißzeit aufgetreten. Daraufhin wurden die Austauschintervalle ebenso wie die Prüfintervale bei erheblich abgenutzten Radreifen deutlich verkürzt. Auch danach war es im Jahr 1998 zu einem weiteren Versagen gekommen. An alle Benutzer ähnlich konstruierter Räder einschließlich der DB wurde eine Warnung vor unerwartet frühen Ermüdungserscheinungen dieser Konstruktion verschickt /TAG 98/. Da es jedoch im Detail deutliche konstruktive Unterschiede zwischen den betroffenen Rädern und den Rädern des ICE gab, wurde ein Zusammenhang von der DB nicht erkannt und aus der Warnung keine Konsequenzen abgeleitet.

Nach dem Unglück wurden zunächst als Übergangsmaßnahme wieder Vollräder verwendet. Die Wiedereinführung von Radsätzen mit gummigefederten Einringrädern war geplant, wurde aber nie realisiert. Das Brummen und die Schwingungen werden nun durch häufiges Wiederherstellen des Sollprofils vermieden.

Züge des Typs ICE 1 zeigten nach ihrer Einführung eine hohe Anzahl von Fehlern. Die Instandhaltung hatte vielfach Probleme, die während der Fahrt aufgetretenen Fehler abzarbeiten, so dass Fehler häufig nicht zeitnah behoben werden konnten. Auch Mängel der Radsätze konnten regelmäßig von der Instandhaltung nicht rechtzeitig abgearbeitet werden. Deshalb wurden insbesondere in Bezug auf die Radsätze unzulässige Grenzwertüberschreitungen geduldet.

Auch in anderen Aspekten als den Rädern fehlen dem ICE Sicherheitseigenschaften, die andere Hochgeschwindigkeitszüge aufweisen. So weist z. B. der TGV eine Wagenkonstruktion auf, die eine höhere Stabilität des Zuges auch bei Entgleisungen sicherstellt und einem Umfallen von Wagen und einem ziehharmonikaartigen Auffalten des Zuges entgegenwirkt. Beim ICE wurde zugunsten der Möglichkeit, die Wagenzahl betrieblich mit geringem Aufwand ändern zu können, auf eine feste Kopplung der Wagen verzichtet. Weiterhin weist der TGV im Gegensatz zum ICE Knautschzonen im Eingangsbereich der Wagen zur Energieaufnahme bei Unfällen auf. Die Sicherheit des ICE basiert somit wesentlich darauf, Zusammenstöße zu verhindern. Ein gestaffeltes Sicherheitskonzept („defense in depth“) war kaum ausgeprägt, obwohl Zusammenstöße, z. B. durch Fremdobjekte auf den Schienen, nicht sicher zu verhindern sind. Hieran ist zu erkennen, dass Sicherheitsaspekte bei der Auslegung weniger stark gewichtet wurden.

Obwohl mehrere Personen nach Abriss des Radreifens und Eindringen in den Wagen und den folgenden schlingern den Lauf Sicherheitsbedenken hatten, zog keiner die Notbremse. Bei der Notbremse sind deutliche Hinweise angebracht, die eine ungerechtfertigte Betätigung abschrecken, indem auf die Strafbarkeit des Missbrauches hingewiesen wird. Konkrete Hinweise, wann die Betätigung angezeigt ist, fehlen. Ebenso gibt es keine Sicherheitsbelehrung und keine gedruckten Sicherheitsinformationen.



**Abb. 2.3** Notbremse und ihre Beschriftung in einem Abteil des ICE 1

Nach dem Unfall wurden eine Vielzahl von sicherheitsrelevanten Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert und umgesetzt, die nur teilweise in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Unfall stehen, u. a.

- erneute Verwendung von Vollrädern im ICE 1, Vermeidung des Brummens und der Schwingungen durch häufiges Wiederherstellen des Sollprofils
- Verzicht auf Weichen im Bereich von Brücken und Tunneln, wo möglich, insbesondere für Neubaustrecken
- Durchführung von FMEA (failure mode and effects analysis) bei Fahrzeugprojekten gemeinsam mit den Herstellern,
- Vergleich der Instandhaltungssysteme von Luftfahrt und Bahn gemeinsam mit Experten der Lufthansa,
- umfassende Einführung des „Vier-Augen-Prinzips“ bei Überprüfungen und Freigaben
- Ultraschallprüfungen an Rädern in Abhängigkeit von der Kilometerleistung statt nach Zeitfristen
- Einbau von Notausstiegsfenstern in jedem Abteil

Die Rettungsarbeiten wurden unmittelbar nach dem Unfall in die Wege geleitet. Da das Ausmaß sehr schnell erkannt wurde, wurden umfangreiche Ressourcen mobilisiert, so dass es zu keinen Engpässen bei der Bergung und der Versorgung der Überlebenden kam /HÜL 99/. Im Verlaufe der Rettungsarbeiten kam es zu einem lokalen Zusammenbruch der Kommunikation über Mobilfunk. Dieser wurde durch zügigen Aufbau eines drahtgebundenen Feldtelefonnetzes und starke Einschränkung der Gespräche über Mobiltelefon beherrscht. Eine erhebliche Verschlechterung der Rettung und Versorgung der verletzten Personen hierdurch lässt sich den ausgewerteten Unterlagen nicht entnehmen.

### **2.5.2.1 Zusammenfassung der organisatorischen Einflussfaktoren**

Bei der Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998 können folgende relevante organisationale Einflussfaktoren identifiziert werden:

#### **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

- Obwohl das mit der Einführung von Rädern neuen Typs ohne längere Betriebsbewährung und ohne Dauererprobung verknüpfte Risiko bekannt war, wurden diese trotzdem umfassend eingeführt.

#### **Aufschieben von Entscheidungen**

- Positive Ausprägung des Merkmals:

##### **Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen:**

Die Rettungsarbeiten wurden unmittelbar nach dem Unfall in die Wege geleitet. Da das Ausmaß sehr schnell erkannt wurde, wurden umfangreiche Ressourcen mobilisiert, so dass es zu keinen Engpässen bei der Bergung und der Versorgung der Überlebenden kam.

#### **Duldung von Nichtkonformitäten**

- Vorgeschriebene Parameter der Radreifen wurden regelmäßig nicht eingehalten.

#### **Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen**

- Es wurde nicht systematisch ermittelt und kommuniziert, welche Mängel und Grenzwerte sicherheitsrelevant sind, so dass das Prüfpersonal die bei Prüfungen aufgenommenen Werte zur Unrundheit der Räder nicht korrekt einordnen konnte.

### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

- Die zuständige Aufsichtsbehörde war organisatorisch nicht von der Bahn getrennt. Hiermit bestand eine direkte Einwirkungsmöglichkeit des Bahnvorstandes auf Zulassungsentscheidungen.

### **Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse**

- Die Analyse der durch die neue Bauart der Räder folgenden Risikoänderung war nicht ausreichend, insbesondere in Bezug auf die nun anderen wichtigen Ausfallmechanismen und die notwendigen Änderungen der Inspektionen.

### **Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite**

- Es wurde nicht systematisch kommuniziert, welche Mängel und Grenzwerte sicherheitsrelevant sind, so dass das Prüfpersonal die bei Prüfungen aufgenommenen Werte zur Unrundheit der Räder nicht korrekt einordnen konnte.

### **Kanalbezogene und inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite**

- Positive Ausprägung der Merkmale:  
**Keine kanalbezogenen oder inhaltsbezogenen Kommunikationsdefizite:**  
Nach Eintritt des Notfalls wurden die erforderlichen Maßnahmen schnell und effektiv kommuniziert. Dies umfasst sowohl inhalts- als auch kanalbezogene Aspekte.

### **Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen**

- Es war in der Organisation nicht klar, welche Grenzwerte sicherheitsrelevant waren. Es existierte keine systematische Kennzeichnung sicherheitsrelevanter Kriterien.

### **Kein systematisches Management der Sicherheit**

- Es wurde nicht systematisch ermittelt und kommuniziert, welche Mängel und Grenzwerte sicherheitsrelevant sind.
- Die Voraussetzung der Entscheidung, nicht betriebsbewährte Räder neuen Typs umfänglich einzusetzen, eine effektive Überwachung, wurde tatsächlich nicht implementiert und die Prozesse und Einrichtungen der Radsatzinspektion wurden nicht angepasst.

### **Keine ausreichende Qualitätssicherung**

- Die Prüfungen waren nicht geeignet, sicherheitsrelevante Fehler rechtzeitig zu erkennen.

### **Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken**

- Langjährig übliche Praktiken anderer Industrien wie Vier-Augen-Prinzip und Kennzeichnung sicherheitsrelevanter unbedingt einzuhaltender Kriterien waren nicht etabliert. Best Practices wurden nicht ermittelt.
- Die Fenster des ICE 1 bestanden aus Panzerglas und erschwerten den Einsatzkräften die Rettung von Personen im Inneren des Zuges. Sollbruchstellen und Rettungshammer waren noch nicht vorhanden.

### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Bei der Notbremse sind deutliche Hinweise angebracht, die eine ungerechtfertigte Betätigung abschrecken, indem auf die Strafbarkeit des Missbrauches hingewiesen wird. Konkrete Hinweise, wann die Betätigung angezeigt ist, fehlen. Hiermit wird die störungsfreie Betriebsabwicklung gegenüber der Sicherheit priorisiert.
- In der Entscheidung, die neuartigen Räder trotz nicht vorhandener Betriebsbewährung umfänglich zu verwenden, wurde der Passagierkomfort und mittelbar finanzielle Aspekte gegenüber der Sicherheit priorisiert.
- In der Auslegung des ICE 1 sind Sicherheitseigenschaften weniger stark berücksichtigt als in vergleichbaren Hochgeschwindigkeitszügen. Ein gestaffeltes Sicherheitskonzept ist kaum ausgeprägt.

### **Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten**

- Züge des Typs ICE 1 wiesen zum Ereigniszeitpunkt eine unzureichende Qualität auf. Mängel konnten regelmäßig von der Instandhaltung nicht rechtzeitig abgearbeitet werden. Deshalb wurden insbesondere in Bezug auf die Radsätze unzulässige Grenzwertüberschreitungen geduldet.

### **Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten**

- Die im Vorstandsbeschluss vorgesehene Überwachung der Räder wurde nicht implementiert.

### **Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung**

- Bei der vorliegenden Auslegung und dem technischen Zustand der ICE-Züge war es mit den zur Verfügung stehenden Instandhaltungskapazitäten nicht möglich, den gewünschten Fahrkomfort bei der erforderlichen Verfügbarkeit zu erreichen.

### **Unzureichende Anforderungen**

- Es gab keine konkreten bindenden Anforderungen an den Nachweis der Betriebssicherheit der Radsätze neuer Konstruktion.

## **2.6 Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001**

Am 24. November 2001 stürzte der Flug 3597 der Crossair AG beim Landeanflug auf Zürich ab, weil die Mindestsinkflughöhe unterschritten worden war und die Maschine mehrere Bäume berührte (siehe Abbildung 2.4). Die Maschine hatte 33 Personen an Bord, von denen 24 Menschen starben. Unter den Todesopfern befanden sich sowohl Kapitän als auch Kopilot /SBF 02/.



**Abb. 2.4** Wrack der Maschine des Crossair-Fluges 3597

© Bureau of Aircraft Accidents Archives, Geneva – Ronan Hubert

## 2.6.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden werden die für den Unglücksverlauf relevanten Ereignisse am 24.11.2001 tabellarisch aufgelistet /SBF 02/.

**Tab. 2.6 Chronologischer Ablauf des Unglücksfluges CRX 3597**

Zeitangaben in MEZ = UTC+1

Zeit	Handlung/Ablauf
21:01 Uhr	Abflug des Fluges CRX 3597 in Berlin Tegel
Zwischen 21:20 Uhr und 21:36 Uhr	Die Maschine erhält das ATIS-Signal „KILO“ (ATIS = Automatic Terminal Information Service), das einen instrumentbasierten Landeanflug auf Landebahn 14 am Zielflughafen in Zürich vorsieht.
21:36 Uhr – 21:37 Uhr	Kapitän und Kopilot besprechen Pistenzustandsbericht der Landebahn in Zürich, wobei der Kapitän dem Kopiloten einen Teilaspekt erklärt.
21:40 Uhr	Die Maschine erhält das ATIS-Signal „LIMA“ mit der Information, dass anstatt Landebahn 14 die Landebahn 28 im „VOR/DME standard approach“ anzufliegen sei. Kurz darauf ändert sich das Signal zu „MIKE“. An der grundsätzlichen Anflugprozedur ändert sich hierdurch jedoch nichts Wesentliches.
21:42 Uhr – 21:44 Uhr	Die Maschine erhält die Freigabe zum Sinken auf FL 240 (24.000 Fuß), der Kapitän gibt dem Kopiloten ein „Approach Briefing“, indem er ihm das Vorgehen beim Landeanflug erklärt. Das vom Kapitän erklärte Vorgehen entspricht der Standardprozedur zum Anflug auf die Landebahn 14 (ILS 14) in Zürich-Kloten. Der Wechsel zu Landebahn 28 ist der Besatzung zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt.
21:43 Uhr	Der Kopilot weist den Kapitän während des Briefings auf eine leichte Übergeschwindigkeit der Maschine hin, woraufhin dieser die Geschwindigkeit korrigiert. Der Kapitän überlässt die Navigationseinstellung dem Kopiloten.
21:46 Uhr	Der Kopilot fragt den Kapitän, ob nachgefragt werden soll, ob weiterhin Landebahn 14 anzufliegen ist. Der Kapitän geht weiterhin von einem Anflug auf Landebahn 14 aus und gibt nur eine kurze Antwort, da er weiterhin mit der Geschwindigkeit der Maschine beschäftigt ist.
21:48 Uhr	Ein Transfer zum Sektor Zürich Ankunft Ost findet statt. Der Kopilot nimmt Kontakt mit der Flugleitstelle in Zürich auf und wird informiert, dass eine Landung auf Landebahn 28 vorgesehen ist. Der Kapitän ist zunächst überrascht, bestätigt aber.

Zeit	Handlung/Ablauf
21:51 Uhr	<p>Der Kapitän gibt dem Kopiloten ein aktualisiertes Approach Briefing zu Landebahn 28. Dabei fragt er unter anderem, ob der Kopilot diesen Landeanflug bereits durchgeführt hat, was dieser bejaht.</p> <p>Der Kapitän gibt ausführliche Anweisungen, wie der Landeanflug durchzuführen ist. Die räumliche Vorstellung des Flugweges sowie die Vorgehensweise für das Absinken erwähnt er jedoch nicht.</p>
21:57 Uhr	<p>Die Maschine erhält die Freigabe, auf 6.000 Fuß zu sinken. Kapitän und Kopilot überprüfen die Anzeige des Höhenmeters und die Restmenge an Treibstoff.</p>
22:03 Uhr	<p>Die Maschine befindet sich 11 nautische Meilen östlich des Züricher Flughafens und bereitet sich auf den finalen Anflug vor.</p>
22:03 Uhr	<p>Wechsel der Maschine in einen anderen Flugverkehrssektor und Kontaktaufnahme mit dem entsprechenden Tower.</p>
22:03 Uhr	<p>Eine andere Maschine landet nach der gleichen Prozedur auf der gleichen Landebahn, die auch für CRX 3597 vorgesehen ist, und berichtet von schlechter Sicht. Dieser Bericht wird dem Kapitän von CRX 3597 bekannt, wie aus den Aufzeichnungen des Flugschreibers hervorgeht.</p>
22:04 Uhr	<p>Die Maschine sinkt auf 6.000 Fuß, kurz darauf wird eine Sinkrate von 1.200 Fuß/Minute eingestellt, die bis zum Absturz der Maschine beibehalten wird.</p>
22:05 Uhr	<p>Die Maschine nähert sich der minimalen Höhe für den Landeanflug (Minimum Descent Altitude – MDA). Der Kapitän bestätigt Sichtkontakt zum Boden.</p>
22:06:10 Uhr	<p>Die Maschine erreicht die MDA von 2.390 Fuß (barometrische Höhenmessung). Der Kapitän gibt die Information an den Tower weiter und der Sinkflug wird fortgesetzt.</p>
22:06:22 Uhr	<p>Es ertönt ein automatischer Alarm (Ground Proximity Warning System – GPWS), der anzeigt, dass sich die Maschine nur 500 Fuß über dem Boden befindet.</p>
22:06:31 Uhr	<p>Der Kapitän gibt durch, dass eine Höhe von 2.000 Fuß erreicht sei, während das GPWS die Warnung ausgibt, dass sich die Maschine 300 Fuß über dem Boden befindet.</p>
22:06:33 Uhr	<p>Der Tower erteilt der Maschine die Landeerlaubnis.</p>
22:06:34 Uhr	<p>Der Kapitän gibt die Anweisung zum Durchstarten, was der Kopilot bestätigt. Aus dem Flugschreiber geht hervor, dass der Autopilot abgeschaltet wird und der Steuerknüppel in Richtung Steigflug bewegt wird. Die Drehzahl der Turbinen wird erhöht.</p>
22:06:35 Uhr	<p>Absturz der Maschine und Ende der Aufzeichnungen des Flugschreibers.</p>

## **2.6.2 Zusätzliche Hintergrundinformationen**

### **2.6.2.1 Hintergrundinformationen zum Kapitän**

Der Kapitän der Unglücksmaschine hatte eine Flugerfahrung von 19.555 Stunden, davon 19.441 Stunden mit motorgetriebenen Flugzeugen. Nachdem er im Jahr 1979 begonnen hatte, für die Fluggesellschaft Crossair zu fliegen, strebte er im Laufe seiner Tätigkeit den Erwerb von Lizenzen für andere Flugzeugtypen an (British Aerospace 146 „Jumbolino“ und McDonnell Douglas MD 80). Die Umschulung auf das Flugzeugmuster British Aerospace 146 strebte er dabei in den Jahren 1993 und 1994 dreimal an, aus verschiedenen Gründen kamen diese Umschulungen jedoch nicht zustande. Im Jahr 1995 wurde er für die Umschulung auf das Flugzeugmuster MD80 bestimmt, die am 02.01.1996 begann. Dieser erste Umschulungskurs wurde abgebrochen, weil dem Kapitän Lücken bezüglich Übersicht und Koordinationsvermögen sowie zu geringe Lernfortschritte attestiert wurden. Einen zweiten Umschulungsversuch, der etwa ein halbes Jahr später stattfand, bestand er erneut nicht, was mit Unzulänglichkeiten bezüglich der manuellen Steuerung des Flugzeuges, des Einsatzes des Flugführungssystems (Digital Flight Guidance System) und zeitgerechter Entscheidungsfindung begründet wurde. Eine tiefergehende Analyse der Gründe für das zweimalige Scheitern bei diesem Umschulungskurs blieb jedoch aus /SBF 02/.

Da sich bei Crossair im Laufe des Jahres 2000 die Außerbetriebsetzung des bis dahin vom Kapitän geflogenen Flugzeugmusters Saab 340 abzeichnete, versuchte man gemeinsam ein anderes Flugzeugmuster für seine Weiterbeschäftigung zu finden. Die erneute Bewerbung des Kapitäns für die MD80 wurde abgewiesen, da für die MD80 kein weiterer Bedarf an Piloten herrschte. Stattdessen entschieden sich die Verantwortlichen für eine Umschulung auf das Flugzeugmuster Avro RJ 85/100, was mit der relativ einfachen Handhabbarkeit dieses Typs begründet wurde /SBF 02/. Vor dieser Umschulung fand keine Eignungsabklärung statt, der für die Avro RJ 85/100 zuständige Cheffluglehrer gab zudem an, nicht gewusst zu haben, dass der Kapitän bereits zwei gescheiterte Umschulungsversuche auf ein anderes Flugzeugmuster mit Strahlantrieb hinter sich hatte. Die Umschulung auf die Avro RJ 85/100 bestand der Kapitän ohne Beanstandungen, auf den entsprechenden Checkformularen wurden ausschließlich positive Bemerkungen der Experten zu seiner Arbeit eingetragen, Fehler oder verbesserungswürdige Punkte wurden nicht erwähnt /SBF 02/.

Während der Berufslaufbahn des Kapitäns gab es einige Vorfälle, bei denen er teils gravierende Fehler beging. Diese Vorfälle wurden zum Teil erst nach dem Unglück bekannt. Dabei handelt es sich unter anderem um /SBF 02/:

- Unbeabsichtigtes Einfahren des Fahrwerks am Boden, das zum Totalschaden an der betroffenen Maschine führte (1990).
- Abbruch eines Route Checks (hierbei handelt es sich um einen Test der fliegerischen Fähigkeiten von Piloten), weil er eine Geschwindigkeitsvorgabe der Flugverkehrsleitung für mehrere Minuten nicht beachtete und den Check for Approach sowie den Final Check vergaß (1991).
- Entbindung von der Tätigkeit als Trainingskapitän bei Crossair aufgrund ungenügender Leistungen (1991).
- Bei einem nächtlichen Instrumentenanflug auf den Flughafen von Lugano hatte der Kapitän das Warnsignal für Drehzahlüberschreitung und das GPWS deaktiviert und eine unübliche Anflugart gewählt (1995).
- Navigationsfehler während eines privaten Rundfluges, bei dem er zwischenzeitlich die Orientierung verlor und zunächst einen Landeanflug auf einen falschen Flugplatz begann. Dabei führte er keine Anflugbesprechung mit seinem Kopiloten durch und führte die wichtigsten Checklistenpunkte eher intuitiv und in freier Abfolge aus. Auf Interventionsversuche seines Kopiloten reagierte er nicht. Im Endanflug bemerkte er, dass er anstatt des Flugplatzes Sion (Schweiz) den von Aosta (Italien) anflieg, und startete durch. Danach steuerte er den Flugplatz von Sion an (1999).

Die geschilderten Umstände der erfolglosen Umschulungsversuche deuten in Verbindung mit den weiteren Vorfällen während seiner Laufbahn darauf hin, dass der Kapitän in gewissen Situationen mit den komplexen und zum Teil zeitgleichen Aufgaben, die das aktive Steuern eines Flugzeuges an einen Piloten stellt, überfordert war. Obwohl ihm dies auch im Rahmen dieser Umschulungen attestiert wurde, wurden von Crossair keine weiteren Untersuchungen in diese Richtung angestellt. Dennoch scheint ein Bewusstsein für die limitierten Fähigkeiten des Kapitäns vorhanden gewesen zu sein, was sich darin zeigt, dass mit der Avro RJ 85/100 bewusst ein relativ einfach zu handhabendes Flugzeugmuster für die letztendlich erfolgreiche Umschulung ausgewählt wurde.

Der Kapitän der Unglücksmaschine nahm neben seiner Tätigkeit für Crossair Funktionen als Fluglehrer bei der Horizon Swiss Flight Academy wahr. Die Regularien von Crossair

fordern, dass derartige Nebenbeschäftigungen der Fluggesellschaft gemeldet und von dieser autorisiert werden, damit die erforderlichen Ruhezeiten eingehalten werden können. Dem Untersuchungsbericht zufolge war es beim Management der Fluggesellschaft bekannt, dass der Pilot dieser Nebenbeschäftigung nachging, allerdings wurde keine Koordination der Flug- und Ruhezeiten beider Tätigkeiten durchgeführt /SBF 02/.

Am Tag vor dem Unglück hatte der Pilot eine Flugdienstzeit von 15:31 Stunden abgeleistet, die Ruhezeit zwischen jenem Tag und dem Unglückstag betrug 10:59 Stunden. Laut Verordnung über die Betriebsregeln im gewerbsmäßigen Luftverkehr der Schweizer Eidgenossenschaft hätte er aber nach einer derartig langen Flugdienstzeit eine Ruhezeit von 12 bis 14 Stunden einhalten müssen /VBR 14/. Am Unglückstag selbst hatte der Pilot bis zum Absturz eine Flugdienstzeit von 13:37 Stunden bestritten. Die Unterschreitung in Kombination mit der nicht mit der Fluggesellschaft abgestimmten Nebentätigkeit als Fluglehrer lässt die Vermutung zu, dass der Kapitän zum Unglückszeitpunkt (möglicherweise chronisch) überlastet und somit seine Konzentrationsfähigkeit eingeschränkt gewesen war. Aufgabe der Fluggesellschaft oder seiner Flugschule Horizon Swiss Flight Academy wäre es gewesen, eine solche Nichteinhaltung der Vorschriften zu verhindern oder zu ahnden.

#### **2.6.2.2 Hintergrundinformationen zum Kopiloten**

Der Kopilot hatte zum Unglückszeitpunkt eine Flugerfahrung von 490:06 Stunden aufzuweisen, die er vollständig in Motorflugzeugen gesammelt hatte. Im Jahr 1999 begann und beendete er erfolgreich die Ausbildung zum Privatpiloten bei der Flugschule Horizon Swiss Flight Academy. Die Berufspilotenlizenz erwarb er im Jahr 2000. Aus den Ausbildungsunterlagen und Aussagen von Mitschülern geht hervor, dass er mit Nicht-Präzisionsanflugverfahren, wie es der Landeanflug des Unglücksfluges war, instruiert wurde und dass ihm die für das Unterschreiten der MDA erforderlichen Sichtreferenzen bekannt waren.

Seine Tätigkeit für Crossair begann der Kopilot Ende 2000, nachdem er eingehenden fachlichen und psychologischen Tests unterzogen worden war. Er wurde dem von Crossair verwendeten Auswahlprofil gemäß als gut qualifiziert eingeschätzt. Auf psychologischer Ebene wurde ihm die Tendenz, sich unterzuordnen und nach Harmonie zu streben attestiert. Diese Persönlichkeitseigenschaft kann dazu beigetragen haben, dass er das Handeln seines Kapitäns beim Unglücksflug nicht ausreichend hinterfragte oder eventuell vorhandene Bedenken nicht äußerte. Unter Umständen hätten

Schulungsmaßnahmen durch Crossair sowie die Kombination von sich ergänzenden Persönlichkeitstypen als Kapitän und Kopilot zur Verhinderung des Unglücks beitragen können.

### **2.6.3 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Die Diskussion der Einflussfaktoren, die zum Absturz des Fluges CRX 3597 beigetragen haben, stützt sich auf den offiziellen Untersuchungsbericht des schweizerischen Büros für Flugunfalluntersuchungen /SBF 02/.

Im Untersuchungsbericht wird als direkte Ursache die Unterschreitung der Mindestflughöhe trotz ausbleibendem Sichtkontakt mit den Lichtern der Landebahn durch den Kapitän sowie das Nichteingreifen des Kopiloten in diesen nicht regelkonformen Vorgang genannt. Als Erklärung für dieses Fehlverhalten sind die Persönlichkeits- und Erfahrungsprofile von Pilot und Kopilot von entscheidender Bedeutung. Zusätzlich haben Fehler innerhalb der Fluggesellschaft Crossair signifikanten Anteil am Unglück.

#### **2.6.3.1 Kommunikations- und Sicherheitskultur innerhalb der Airline**

Zur Kommunikationskultur innerhalb der Flugzeugbesatzungen von Crossair wird im Untersuchungsbericht festgestellt, dass insgesamt eine große hierarchische Lücke zwischen Piloten und jüngeren Kopiloten bestand, da oft ein erheblicher Unterschied an Flugenerfahrung zwischen den beiden Gruppen existierte. Diese hierarchische Lücke kann zur Folge haben, dass Kopiloten Bedenken bezüglich der Befolgung von Prozeduren oder der Sicherheit aus zu großem Respekt vor der Autorität ihres Kollegen nicht äußern. Tatsächlich ergibt der Bericht zudem, dass in der Zeit zwischen 1996 und 2001 mehr als 40 Ereignisse aufgetreten waren, in denen die Flugzeugbesatzungen nicht mit den Vorgaben konform gehandelt und/oder eigene Vorgehensweisen entwickelt hatten. Meistens hatten die Besatzungen dies der Fluggesellschaft nicht mitgeteilt, obwohl dies in einigen Fällen die Sicherheit der jeweiligen Maschine tangiert hatte.

Die Wartung am Höhenmesser der Unglücksmaschine wurde laut Untersuchungsbericht von einem nicht vom Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) lizenzierten Mechaniker durchgeführt. Dieser wartete das System weder den Regularien entsprechend, noch dokumentierte er die Wartung. Zudem gab es Beanstandungen am Digital Flight Data

Recorder sowie an der Auxiliary Power Unit, die im Vorfeld des Unglücks nicht behoben worden waren /SBF 02/.

Allgemein gibt der Untersuchungsbericht zudem an, dass die Einhaltung von Sicherheitsstandards und Durchführung von Funktionalitätsprüfungen durch Crossair vom BAZL nicht überprüft wurden. Demzufolge waren gewisse Mängel dem BAZL auch nicht bekannt. Ob diese zum Absturz beigetragen haben ist unklar, die Häufung der Probleme deutet aber auf generelle strukturelle Probleme bzw. ein mangelndes Sicherheitsbewusstsein im Unternehmen sowie der übergeordneten Behörde hin /SBF 02/.

Im Zuge der Analyse vorangegangener Flugzeugunglücke in der Schweiz hatte es Sicherheitsempfehlungen des BAZL gegeben, die für das Unglück des Crossair-Fluges 3597 relevant gewesen sein könnten. Unter anderem wurde empfohlen, dass in der Flugleitstelle ein optischer und akustischer Alarm ausgelöst werden sollte, wenn eine Maschine ihre Mindestflughöhe unterschreitet (Installation eines Minimum Safe Altitude Warning Systems). Weiterhin gab es die Empfehlung, dass die Besatzungsmitglieder an Bord in ihren Persönlichkeitseigenschaften möglichst komplementär zueinander sein sollten, damit Verhaltensweisen, die sich negativ auf das Steuern eines Flugzeuges auswirken können, nicht potenziert werden /SBF 02/. Die beiden erwähnten Empfehlungen des BAZL zeigen, dass Problematiken, die zum Absturz von Crossair-Flug 3597 beigetragen haben, bereits vorher erkannt worden waren. Die Empfehlungen waren allerdings nicht verpflichtend und wurden nicht umgesetzt.

Die Besatzung der Unglücksmaschine nutzte für den Anflug auf den Züricher Flughafen die Anflugkarte 13-2 vom 13.11.2000 des Jeppesen Route Manual. In dieser waren im Endanflugsektor der Piste 28 keine Flughindernisse eingetragen. In Anflugkarte LSZH AD 2.24.10-7-1 des Schweizer Luftfahrthandbuches AIP waren hingegen zwei befeuerte Flughindernisse verzeichnet. Eines dieser beiden Hindernisse war der Hügel, mit dem die Maschine letztlich kollidierte. Das Vorhandensein dieses Hindernisses in der von Kapitän und Copilot genutzten Anflugkarte hätte unter Umständen dazu beigetragen, dass der Kapitän beim Landeanflug bewusster auf die Höhe der Maschine geachtet hätte. Nach dem Ereignis forderte das Schweizer Bundesamt für Zivilluftfahrt die Herausgeber von Publikationen wie dem Jeppesen Route Manual auf, die Flughindernisse einzutragen /SBF 02/.

### **2.6.3.2 Verhalten des Bodenpersonals**

Im Luftverkehrskontrollzentrum, das zum Absturzzeitpunkt für CRX 3597 zuständig war, hatte der Dienstleiter seinen Arbeitsplatz verlassen und seine Aufgaben an einen Kollegen übertragen. Dieser Kollege hatte 3 Jahre Berufserfahrung als Flugloste, allerdings war er nie für die ihm in diesem Moment übertragenen Aufgaben geschult worden. Die Arbeitsplätze im Approach Control Office und im Aerodrome Control Tower waren nicht dem Plan entsprechend besetzt: anstatt der gemäß Sektorbelegungsplan erforderlichen 4 Arbeitspositionen war zum Zeitpunkt des Unfalles nur eine Arbeitsposition besetzt /SBF 02/. Aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens zu dieser Zeit hatte diese Unterbesetzung keinen direkten Einfluss auf den Flugzeugabsturz.

Der Flugzeugbesatzung war zudem vom Kontrollzentrum keine Information über die Veränderung der Sichtbedingungen und der Wolkenhöhe mitgeteilt worden.

### **2.6.3.3 Zusammenfassung**

Aus der Analyse des Untersuchungsberichts des schweizerischen Büros für Flugunfalluntersuchungen gehen die folgenden relevanten organisationalen Einflussfaktoren hervor:

#### **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

- Obwohl die bei Umschulungsversuchen zutage getretenen mangelhaften Fähigkeiten des Kapitäns seit längerer Zeit bekannt gewesen waren, entschied sich die Airline, diesen weiterhin zu beschäftigen.

#### **Duldung von Nichtkonformitäten**

- Obwohl die Nebentätigkeit des Kapitäns als Fluglehrer bekannt war, wurde weder von Crossair noch von der Flugschule Horizon Swiss Flight Academy eine Koordination der Ruhezeiten seiner Haupt- und Nebentätigkeit vorgenommen, wie es eigentlich vorgeschrieben war.
- Die Wartung der Maschine sowie die Überprüfung der Einhaltung von Sicherheitsstandards durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt erfolgten nicht den Regularien entsprechend. Eine direkte Auswirkung auf den Absturz der Maschine hatte dies offenbar nicht.

### **Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung**

- Es existierte innerhalb der Airline kein Prozess, der die bei Schulungsmaßnahmen gesammelten Informationen über die Fähigkeiten von Piloten einbezog, um deren Eignung für die (Weiter-)Beschäftigung kontinuierlich zu prüfen.

### **Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen**

- In der von der Flugzeugbesatzung verwendeten Anflugkarte waren 2 Flughindernisse nicht eingezeichnet. Mit einem dieser Hindernisse kollidierte die Maschine schließlich.

### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht (nicht wirksam)**

- Das BAZL überwachte die Wartungsarbeiten an der Maschine nicht den Regularien entsprechend.

### **Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite**

- Dem Cheffluglehrer bei Crossair waren die vorherigen gescheiterten Versuche des Unglückskapitäns zur Qualifikation für andere Flugzeugtypen nicht bekannt.

### **Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten (nicht wirksam)**

- Die Wartung der Maschine sowie die Überprüfung der Einhaltung von Sicherheitsstandards durch das BAZL erfolgten nicht den Regularien entsprechend. Eine direkte Auswirkung auf den Absturz der Maschine hatte dies nicht.

### **Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Die Fähigkeiten des Personals reichten nicht aus, um den Flug sicher durchzuführen.

## **Unzureichende Anforderungen**

- Die Tatsache, dass der Kapitän während seiner beruflichen Laufbahn mehrfach Tests zur Qualifikation für andere Flugzeugtypen nicht bestanden hatte und ihm dabei grundlegende Defizite attestiert wurden, führte nicht dazu, dass seine grundsätzliche Eignung als Verkehrspilot bei Crossair infrage gestellt wurde. Dies deutet darauf hin, dass die Anforderungen, um bei Crossair als Pilot zu arbeiten, nicht angemessen hoch waren, um Sicherheitsdefizite ausschließen zu können.
- Aus dem Untersuchungsbericht geht hervor, dass Kapitän und Kopilot sich in ihren Persönlichkeitseigenschaften nicht hinreichend ergänzten, um einen sicheren Betrieb der Maschine zu garantieren. Zudem war der Kapitän nicht sehr erfahren im Umgang mit Flugzeugen vom Typ der Absturzmaschine, der Kopilot besaß insgesamt noch keine große Flugerfahrung. Crossair hatte demnach keine umfassenden Anforderungen an die Profile von Besatzungsmitgliedern gestellt, um eine gute Ergänzung ihrer Fähigkeiten sicherzustellen.

## 2.7 Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005

In der japanischen Stadt Amagasaki entgleiste am 25.04.2005 ein Schnellzug des Zugunternehmens West Japan Railway Company (JR West), weil er mit stark überhöhter Geschwindigkeit (116 km/h anstatt der erlaubten 70 km/h) in eine Kurve fuhr. 107 Menschen im Zug kamen bei dem Unfall ums Leben, darunter auch der 23-jährige Lokführer, 549 Menschen wurden verletzt.

### 2.7.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unfallablaufes chronologisch dargestellt.

**Tab. 2.7** Chronologischer Ablauf des Eisenbahnunfalls von Amagasaki

Zeitangaben in Ortszeit UTC+9

Zeit	Handlung/Ablauf
25.04.2005 09:16:10 Uhr	Abfahrt des Zuges in der Station Itami. Der Zug hat zu diesem Zeitpunkt etwa 80 Sekunden Verspätung. Der Lokführer fährt mit voller Leistung, um die Verspätung wettzumachen.
09:17:38 Uhr	Der Zug durchfährt die Station Inadera (Überschreitung der zulässigen Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h)
09:18:22 Uhr	Der Zug durchfährt die Station Tsukaguchi. Die Verspätung beträgt noch etwa 72 Sekunden (Geschwindigkeit weiterhin über 120 km/h). Hier beendet der Lokführer das Fahren mit voller Leistung. Nach der Station Tsukaguchi überfährt der Zug ein Bremssignal mit etwa 118 km/h.
09:18:50 Uhr	Der Zug fährt mit 116 km/h in eine Rechtskurve mit 304 m Radius. Der Lokführer betätigt die Betriebsbremse (anstatt der in dieser Situation erforderlichen Notbremse) und verringert die Geschwindigkeit damit auf etwa 105 km/h.
09:18:54 Uhr	Der erste Waggon entgleist. Kurz darauf entgleisen auch die Waggons 2 bis 5. Die beiden vordersten Waggons kollidieren beim Entgleisen mit einem Wohnhaus. Die hintersten beiden Waggons entgleisen nicht.
09:19:04 Uhr	Der hinterste Waggon des Zuges kommt zum Stehen.

## **2.7.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Das Zugunglück von Amagasaki wurde durch die japanische Untersuchungskommission für Luftfahrt und Zugunglücke (Aircraft and Railway Accidents Investigation Commission) eingehend analysiert. Der Untersuchungsbericht liegt in englischer Sprache vor /RAI 07/.

### **2.7.2.1 Verhalten des Lokführers**

Als direkter Verursacher wurde der Lokführer identifiziert, der den Zug mit stark erhöhter Geschwindigkeit in die Kurve steuerte und nicht rechtzeitig abbremste. Der Lokführer ist wahrscheinlich bewusst mit erhöhter Geschwindigkeit gefahren, weil er eine Verspätung aufholen wollte, die an einer der vorhergehenden Haltestellen entstanden war: da der Zug an der Haltestelle Itami 70 Meter über die Haltemarke hinausgefahren war, musste er zurückgesetzt werden. Dies führte zu einer Verspätung von ca. 80 Sekunden. Auf dem geraden Streckenabschnitt, der durch Inadera und Tsukaguchi führte, versuchte der Lokführer anschließend diese Verspätung durch das Fahren mit erhöhter Geschwindigkeit gutzumachen. Als der Zug in die Unfallkurve einfuhr, realisierte er die Gefahrensituation zu spät und konnte nicht mehr rechtzeitig die Bremse betätigen. Zudem betätigte er anstatt der Notbremse die Betriebsbremse, die eine deutlich geringere Bremskraft aufbrachte als nötig gewesen wäre, um den Zug ausreichend abzubremsen /RAI 05/ /RAI 07/.

Als Ursache für diesen Fehler wird davon ausgegangen, dass der Lokführer zum Unfallzeitpunkt abgelenkt war und seinen Aufgaben daher nicht die notwendige Aufmerksamkeit widmete. Aus Aufzeichnungen der Funkgespräche, die Lokführer und Zugführer während der Fahrt untereinander und mit dem Fahrdienstleiter führten sowie aus Aussagen des Fahrdienstleiters geht hervor, dass der Lokführer den Zugführer per Sprechanlage mit den Worten „Werden Sie hinwegsehen über...?“ darum bat, über die Distanz, mit der der Zug die Haltemarke der Haltestelle Itami überfahren hatte, hinwegzusehen. Eine der Aufgaben des Zugführers war es, den Fahrdienstleiter über Verspätungen oder andere Besonderheiten zu unterrichten. Der Zugführer, der sich im siebten Waggon aufhielt, antwortete dem Lokführer: „Es gab eine gewisse Überschreitung.“, wurde jedoch zeitgleich von einem Passagier darauf angesprochen, warum es noch keine Durchsage zur Entschuldigung der Verspätung gegeben habe. Der Zugführer kam dieser Forderung des Passagiers nach und legte den Hörer der Sprechanlage auf, ohne dem Lokführer weiter zu antworten. Im Anschluss an die Entschuldigung ging der Zugführer dazu über,

den Fahrdienstleiter im General Control Center über die Verspätung zu berichten /RAI 07/.

Dem Lokführer waren laut Aussage des Zugführers die Geschehnisse im siebten Waggon nicht bekannt. Dieser nahm nur wahr, dass der Zugführer nach der knappen Antwort auflegte und im Anschluss die Durchsage zur Entschuldigung der Verspätung durchführte. Die Ermittler schließen daraus, dass der Lokführer dies möglicherweise als wütende Ablehnung seiner Bitte interpretiert und daraufhin der Durchsage zur Entschuldigung der Verspätung sowie der folgenden Kommunikation zwischen Zugführer und Fahrdienstleiter besondere Aufmerksamkeit gewidmet habe. Zudem wird vermutet, der Lokführer habe sich um eine drohende Disziplinarmaßnahme gesorgt und evtl. über eine Ausrede nachgedacht, um einer solchen zu entgehen. Zusätzlich deutet die Tatsache, dass der nach dem Unglück geborgenen Leiche des Lokführers der Handschuh der Schreibhand fehlte, darauf hin, dass er sich währenddessen Notizen gemacht hat. Normalerweise tragen die Lokführer im Dienst Handschuhe als Teil ihrer Uniformen, legen diese jedoch häufig für das Notieren von Informationen während der Fahrt ab. Es ist üblich und zum Teil auch gefordert, dass die Lokführer von Hochgeschwindigkeitszügen bei JR West über Funk erhaltene Mitteilungen während der Fahrt auf einem Blatt Papier notieren, um sie später in ein Fahrtenbuch zu übertragen /RAI 07/.

Währenddessen fuhr der Zug weiter mit erhöhter Geschwindigkeit. Der Lokführer betätigte vor dem Entgleisen des Zuges mehrfach betriebliche Bremsen, um die Geschwindigkeit zu reduzieren, allerdings fand dies etwa 16 Sekunden später statt als erforderlich gewesen wäre, um den Unfall zu verhindern. Letztendlich fuhr der Zug mit einer Geschwindigkeit von ca. 116 km/h in die Unglückskurve ein, in der eine Maximalgeschwindigkeit von 70 km/h zulässig war, und entgleiste bei 105 km/h. Es wird im Untersuchungsbericht darauf hingewiesen, dass es höchst unwahrscheinlich ist, dass der Lokführer den Zug absichtlich mit überhöhter Geschwindigkeit in die Kurve gesteuert hat, da in den Schulungsunterlagen von JR West ausdrücklich auf die Gefahr eines Entgleisens hingewiesen wird. Auch die Tatsache, dass der Lokführer die betriebliche Bremse unmittelbar vor dem Entgleisen nur kurzzeitig bediente, deutet eher auf einen gewohnheitsmäßigen Gebrauch als auf einen missglückten Notbremsungsversuch hin. Diese Schlussfolgerungen untermauern die These, dass der Lokführer durch seine Ablenkung dem Steuern des Zuges und der Situation, in der er sich befand, nicht die angemessene Aufmerksamkeit widmete /RAI 07/.

### **2.7.2.2 Disziplinarmaßnahmen bei JR West**

Der Lokführer hatte während seiner elfmonatigen Tätigkeit bei JR West bereits dreimal an einem sogenannten „Retraining“ für 18 Tage teilnehmen müssen sowie 4 Rügen erhalten. Beim Retraining handelt es sich um eine Disziplinarmaßnahme, die Lokführern von JR West auferlegt wurde, wenn diese Verspätungen verursachten. Die Passagen zu den von JR West angewendeten Disziplinarmaßnahmen sind in der öffentlich zugänglichen Version des Untersuchungsberichtes nicht enthalten. Medienberichten zufolge soll es sich um Aufgaben wie etwa das wochenlange Formulieren von mehrseitigen Entschuldigungsschreiben, Begründungen des eigenen Versagens und Beschreibungen der verursachten Unannehmlichkeiten gehandelt haben. Auch das öffentliche Zurschaustellen von Delinquenten in ihrer Uniform an Bahnsteigen, wo sie jeden vorbeifahrenden Lokführer grüßen und ihm eine gute Fahrt wünschen mussten, soll vorgekommen sein. Durch diese Disziplinarstrafen wurde großer psychologischer Druck auf die Lokführer erzeugt, der in einzelnen Fällen sogar zu Selbstmorden geführt haben soll /FAZ 05/.

Die Ursache für diese harten Disziplinarmaßnahmen war das Ziel von JR West, die Fahrer zu maximaler Pünktlichkeit anzuhalten. Aufgrund starker Konkurrenz mit anderen Zugunternehmen und des hohen Zugaufkommens auf den Strecken wurde sehr hoher Wert auf absolute Pünktlichkeit gelegt und großer Druck auf die Lokführer ausgeübt. Auf einer Strecke wurde beispielsweise eine zusätzliche Haltestelle hinzugefügt, ohne entsprechend die Zeiten des Fahrplans anzupassen. Stattdessen wurde den Lokführern mitgeteilt, sie müssen schneller fahren, um den Zeitplan weiterhin einzuhalten /RAI 05/.

Eine Umfrage im Rahmen der Unfalluntersuchung unter 51 Lokführern des Bezirks, in dem der Lokführer des Unglückszuges arbeitete, ergab, dass Verspätungen im Allgemeinen einen psychologischen Druck erzeugen, die Verspätung wieder aufzuholen. Besonders relativ kurze Verspätungen von weniger als einer Minute bis zu drei Minuten sorgten nach Einschätzung der befragten Lokführer für großen psychologischen Druck, der zu Fehlhandlungen führen kann. Bei Verspätungen von mehr als drei Minuten würden die Lokführer hingegen aufgeben, diese aufholen zu wollen /RAI 07/.

Das geschilderte Vorgehen von JR West in Bezug auf Fehler und der dadurch erzeugte Druck auf das Zugpersonal führten dazu, dass, wie im vorliegenden Fall, Versuche unternommen wurden, Zwischenfälle zu vertuschen. Laut Untersuchungsbericht soll es bereits ähnliche Vorfälle von Beinahe-Entgleisungen an anderen sowie an der Unfallstelle selbst gegeben haben, die allerdings von den betreffenden Lokführern nicht gemeldet

worden waren, weshalb auch keine Maßnahmen durch JR West ergriffen wurden. Das Zurückhalten der Berichte über diese Ereignisse durch die Lokführer wird in direkten Zusammenhang mit dem System von Disziplinarmaßnahmen des Unternehmens gebracht. Für das nachweisliche Nichtberichten von derartigen Vorfällen wurden deshalb nach dem Unfall und dem Bekanntwerden der vorangegangenen Ereignisse strengere Disziplinarmaßnahmen verhängt /RAI 07/.

### **2.7.2.3 Umgang mit potentiellen Sicherheitsrisiken bei JR West**

Der Unfall hätte mit technischen Hilfsmitteln wie einer Zwangsbremse (Automatic Train Stop, kurz: ATS) verhindert werden können. Ein ATS-System kann Züge automatisch abbremsen, wenn bestimmte programmierte Situationen, beispielsweise das Überschreiten eines Signals wie des Bremssignals hinter der Station Tsukaguchi, auftreten. Auch ein Automatic Train Control (ATC) System, das Züge aufgrund von Geschwindigkeitsüberschreitungen bremsen kann, hätte den Unfall verhindern können. Tatsächlich hatte JR West geplant, ein ATS-System auf der betroffenen Strecke zu installieren, allerdings geschah dies nicht rechtzeitig, um diesen Unfall zu verhindern /RAI 05/.

Im Untersuchungsbericht des Unfalls werden nicht in direktem Zusammenhang zu diesem stehende weitere Vorkommnisse bei JR West erwähnt. In Zügen einer anderen Zuglinie, die bereits mit einem ATS-System ausgerüstet war, war für eine Kurve ein falscher Geschwindigkeitsgrenzwert eingestellt. Dies hatte dazu geführt, dass durch das ATS-System im Durchschnitt 3 Mal täglich die maximale betriebliche Bremse in Zügen ausgelöst wurde, die das eingestellte Geschwindigkeitslimit überschritten. Aufgrund der hohen Frequentierung der Strecke mit 162 Fahrten an Werktagen und 146 Fahrten an Sonn- und Feiertagen hätte dies der Eisenbahngesellschaft auffallen müssen, tatsächlich gab JR West allerdings an, erst nach dem Unfall von der Existenz dieses Problems erfahren zu haben /RAI 07/

Auch habe es einen Mangel am Geschwindigkeitsmesser des siebten Waggons des Unglückszuges gegeben, auf den durch das Zugpersonal wiederholt hingewiesen worden sei. Der Waggon wurde jedoch ohne Reparatur weiterhin im Fahrbetrieb eingesetzt. Des Weiteren gab es im Jahr 2004 mindestens vier Vorfälle, bei denen ein Bremshebel beim Bremsvorgang blockierte und sich nicht mehr bewegen ließ. Diese Vorfälle wurden als Beinahe-Unfälle gemeldet, allerdings wurden auch hier keine Reparaturmaßnahmen vom Betreiber ergriffen /RAI 07/.

#### **2.7.2.4 Zusammenfassung**

Für das Zustandekommen des Eisenbahnunfalls von Amagasaki waren die folgenden organisationalen Einflussfaktoren entscheidend:

##### **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

- Berichte über technische Mängel an eingesetzten Zügen durch das Zugpersonal wurden bei JR West zwar zur Kenntnis genommen, Maßnahmen zur Behebung der Mängel wurden allerdings nicht ergriffen.

##### **Aufgabenbedingte hohe Belastung der Mitarbeiter**

- JR West fügte der betroffenen Bahnlinie eine zusätzliche Haltestelle hinzu, ohne den Zeitplan entsprechend anzupassen. Dies erschwerte es den Lokführern, den Fahrplan einzuhalten.

##### **Bestrafungskultur**

- Zwischenfälle, die sich während des Fahrbetriebes ereignen, müssen gemeldet werden. Die Lokführer werden jedoch sowohl bei Meldung als auch bei Nichtmeldung von Fehlhandlungen bestraft, was zu starkem Stress führt und die Fehleranfälligkeit erhöht.

##### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Die Eisenbahngesellschaft JR West war bestrebt, sich gegenüber den Konkurrenten durch besondere Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit auszuzeichnen, um den kommerziellen Erfolg zu maximieren. Zum Erreichen dieses Ziels wurden enge Zeitpläne vorgeschrieben und starker Druck auf die angestellten Lokführer aufgebaut, keine Fehler zu machen.
- Ein ATS-System, das Züge aufgrund von Geschwindigkeitsüberschreitungen abbremsst, hätte den Unfall verhindern können. JR West hatte die Installation eines ATS-Systems auf der betroffenen Strecke geplant, allerdings geschah dies nicht rechtzeitig vor dem Unfall.

##### **Keine ständige Verbesserung**

- Ein ATS-System, das den Zug vor der Kurve automatisch abgebremst hätte, wurde bis zum Unglück nicht auf der Strecke installiert.

### **Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung**

- Mit der vorhandenen Infrastruktur und den Schienenfahrzeugen war es nicht möglich, zuverlässig gemäß Fahrplan zu fahren.

### **Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten**

- Die Anforderung an Lokführer, während des Fahrbetriebes händisch Funkdurchsagen zu notieren, begünstigt Unachtsamkeit und daraus resultierende Fehler.

## **2.8 Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005**

Am 14.09.2005 startete der Flug 522 von Helios Airways (HCY522) am Flughafen Larnaka in Zypern mit Ziel Prag. In Athen sollte eine Zwischenlandung stattfinden. Bereits kurz nach dem Start kam es im Flugzeug zu einem Druckabfall, durch den resultierenden Sauerstoffmangel verloren sowohl die Passagiere als auch die Piloten der Maschine das Bewusstsein. Die Maschine wurde vom Autopiloten nach Athen geleitet, wo sie Warteschleifen zu drehen begann. Als der Treibstoff erschöpft war, fielen die Triebwerke aus, woraufhin die Maschine zu sinken begann und schließlich in hügeligem Gelände ca. 33 km nordwestlich des Athener Flughafens bei Grammatiko abstürzte.

## 2.8.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unfallablaufes chronologisch dargestellt.

**Tab. 2.8** Chronologischer Ablauf des Absturzes von Helios Airways Flug 522

Zeitangaben in Ortszeit UTC+3

Zeit	Handlung/Ablauf
13.09.2005, 21:00 Uhr	Die spätere Unglücksmaschine landet, von London-Heathrow kommend, in Larnaka.  Die Besatzung notiert im technischen Bordbuch, dass die Servicetür auf der hinteren Steuerbordseite inspiziert werden muss, da an der Versiegelung während des Fluges Frost auftrat und Schlaggeräusche zu hören waren.
Nach 21:00 Uhr	Die erforderlichen Inspektionen der Maschine werden unmittelbar nach der Landung durch einen Bodeningenieur durchgeführt (er wird dabei durch zwei weitere Ingenieure unterstützt). Die beinhaltet eine visuelle Inspektion der Servicetür sowie einen Drucktest der Kabine. Die Inspektion bleibt ohne Befund.  Anschließend wird die Maschine wieder für den Flugverkehr freigegeben.
14.09.2005, 06:07:13 Uhr	HCY522 startet in Larnaka.
06:11:45 Uhr	HCY522 erhält vom Area Control Center (ACC) Nikosia die Freigabe zum Aufsteigen auf die Flughöhe von 34 000 Fuß (FL340), der Kapitän bestätigt. Hierbei handelt es sich um die letzte aufgezeichnete Kommunikation zwischen Helios Air Flug 522 und dem ACC Nikosia.
06:12:38 Uhr	Auf einer Höhe von etwa 12 040 Fuß ertönt der Alarm der Kabinendruckhöhe.
06:14:11 Uhr	Der Kapitän nimmt per Funk Kontakt zur Einsatzzentrale von Helios Airways auf.  Er meldet: „Take-off configuration warning on“ und „Cooling equipment normal and alternate offline.“ Und wird daraufhin mit dem Bodeningenieur verbunden, der am Vorabend die Inspektion und den Drucktest an der Maschine vorgenommen hatte.  Einer unmittelbar nach dem Unfall verfassten schriftlichen Aussage des Bodeningenieurs zufolge teilt der Kapitän diesem mit, dass die Lampen der Luftkühlung nicht leuchteten („The ventilation cooling fan lights were off.“). Aufgrund der Nähe der Lampen zu denen der Druckarmaturen, die er während der Inspektion nutzte, bittet der Bodeningenieur den Kapitän um Bestätigung, dass das Bedienfeld für den Druckaufbau in der Kabine auf AUTO gestellt ist. Er erhält auf diese Frage keine Antwort

Zeit	Handlung/Ablauf
	<p>(möglicherweise ist die nicht erfolgte Reaktion des Kapitäns auf die Frage bereits auf den Sauerstoffmangel im Flugzeug zurückzuführen).</p> <p>Der Kapitän fragt, wo sich die Schalter des Kühlsystems befinden („Where are my equipment cooling circuit breakers?“). Der Bodeningenieur antwortet, dass diese sich hinter dem Sitz des Kapitäns befinden.</p>
06:14 Uhr	<p>Während der Kommunikation zwischen Kapitän und Einsatzzentrale werden in der Kabine die Sauerstoffmasken ausgelöst (dies passiert bei einer Überschreitung der Kabinendruckhöhe von 14 000 Fuß automatisch). HCY522 befindet sich zu diesem Zeitpunkt auf einer Höhe von etwa 18 000 Fuß.</p>
06:20:21 Uhr	<p>Die Konversation zwischen Kapitän und Bodeningenieur endet, HCY522 befindet sich auf 28 900 Fuß Höhe. Ein kurz darauf unternommener Versuch der Einsatzzentrale, die Piloten erneut zu kontaktieren, bleibt unbeantwortet.</p>
06:23:32 Uhr	<p>HCY522 erreicht ihre Reiseflughöhe von 34 000 Fuß.</p>
Ab 06:29 Uhr	<p>Die Einsatzzentrale bittet ACC Nikosia, HCY522 zu kontaktieren. Versuche durch die ACC Nikosia sowie eine andere in der Luft befindliche Maschine, Kontakt aufzunehmen, scheitern.</p>
06:36:12 Uhr	<p>ACC Nikosia informiert ACC Athen darüber, dass die HCY522 den Luftraum von Athen erreicht und auf Kontaktversuche nicht antwortet.</p>
06:37:27 Uhr	<p>HCY522 tritt in den Luftraum der ACC Athen ein, ohne diese zu kontaktieren.</p>
06:39:30 Uhr	<p>Ein weiterer Kontaktversuch durch ACC Nikosia auf der Notfallfrequenz ist erfolglos.</p> <p>Daraufhin fragt ACC Nikosia an, ob ACC Athen mittlerweile von HCY522 kontaktiert wurde. ACC Athen verneint.</p>
07:12:05 Uhr	<p>ACC Athen kontaktiert HCY522, um die Freigabe zum Sinkflug zu erteilen. Weiterhin kommt keine Antwort zurück.</p>
07:16 Uhr	<p>Nach diversen weiteren vergeblichen Kontaktversuchen informiert ACC Athen den Tower des Athener Flughafens sowie die griechische Luftwaffe über die Situation.</p>
07:20:59 Uhr	<p>Der Autopilot von HCY522 beginnt, über dem Athener Flughafen Warteschleifen zu drehen, weiterhin auf FL340.</p>
07:53:50 Uhr	<p>ACC Athen meldet dem Joint Rescue Coordination Centre (JRCC) in Piräus einen Alarmzustand.</p>
08:23:51 Uhr	<p>Während der sechsten Warteschleife wird HCY522 von zwei F-16-Kampfflugzeugen der griechischen Luftwaffe abgefangen. Die F-16-Piloten haben nahen Sichtkontakt und versuchen mit Hilfe der vorgeschriebenen Funksprüche und Signale, die Crew auf sich aufmerksam zu machen. Die Versuche bleiben ohne Erfolg.</p>

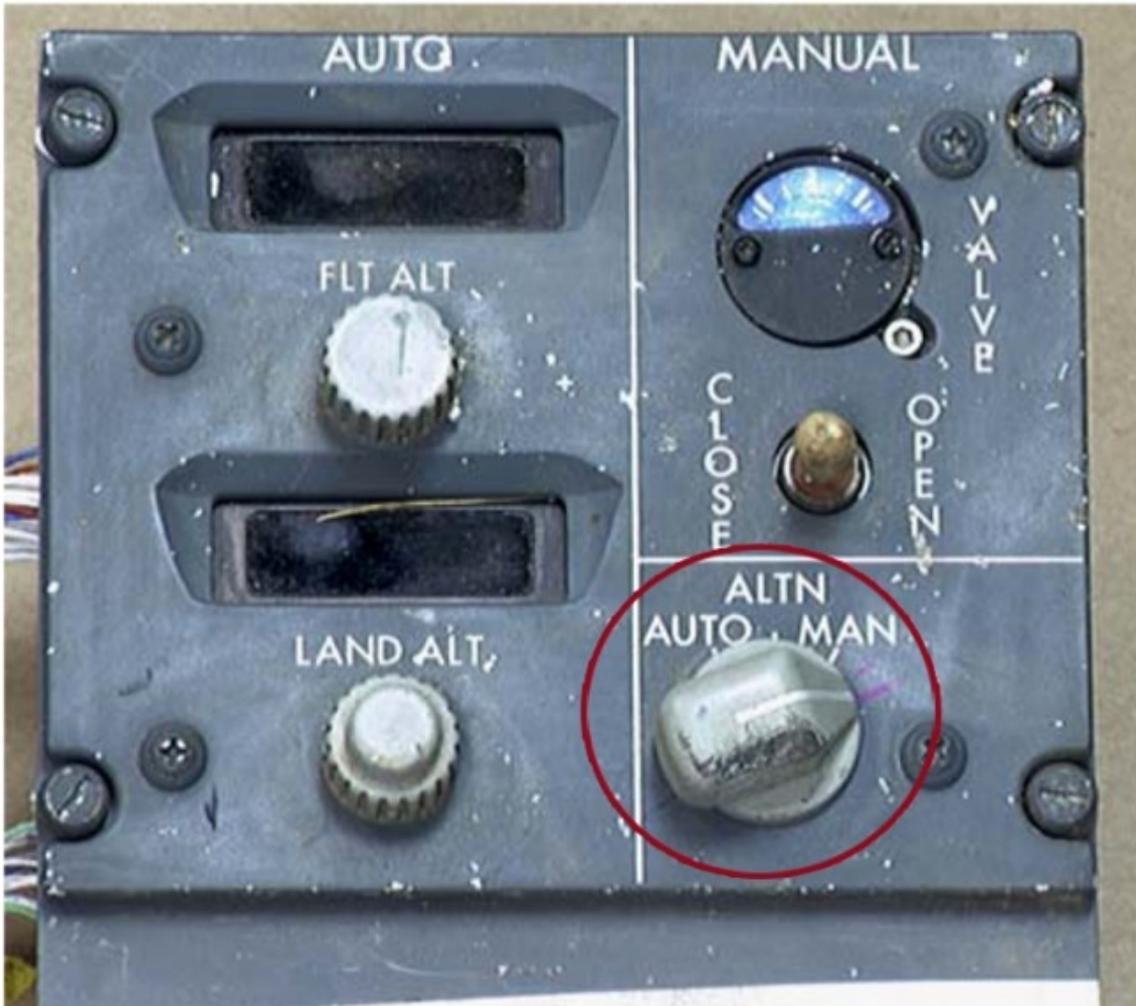
<b>Zeit</b>	<b>Handlung/Ablauf</b>
08:32 Uhr	Einer der F-16-Piloten meldet, dass der Sitz des Kapitäns unbesetzt ist. Auf dem Sitz des Kopiloten befindet sich eine zusammengesunkene Person. Zudem sind Passagiere mit aufgesetzten Sauerstoffmasken zu sehen, die bewegungslos auf ihren Plätzen sitzen.
08:34 Uhr	ACC Athen meldet dem JRCC einen Notfallzustand.
08:49 Uhr	Während der zehnten Warteschleife erkennt ein F-16-Pilot eine Person, die das Cockpit von HCY522 betritt und sich auf den Sitz des Kapitäns setzt.
08:49:50 Uhr	Das linke Triebwerk fällt wegen Treibstoffmangel aus, HCY522 dreht sich dadurch abrupt nach links und fliegt in nördlicher Richtung weiter. Kontaktversuche der F-16-Piloten mit der Person im Cockpit bleiben erfolglos.
08:54:18 Uhr	Die Person im Cockpit setzt einen Notruf ab („Mayday, Mayday, Mayday, Helios Airways Flight 522 Athens ...“). Währenddessen sinkt die Maschine. Auf eine Höhe von 7 000 Fuß bemerkt die Person im Cockpit eines der beiden F-16-Flugzeuge. Der F-16-Pilot deutet per Handsignal an, dass HCY522 ihm in Richtung des Flughafens folgen soll. Die Person im Cockpit weist mit der Hand nach unten, kommt der Aufforderung aber nicht nach.
08:59:47 Uhr	Das zweite Triebwerk der Maschine fällt ebenfalls aus, HCY522 sinkt rapide.
09:03:32 Uhr	HCY522 stürzt in hügeligem Gelände nahe der Ortschaft Grammatiko, ca. 33 Kilometer nordwestlich des Athener Flughafens, ab. Alle 121 Insassen (115 Passagiere, 6 Besatzungsmitglieder) kommen ums Leben.

## **2.8.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Die verwendeten Informationen stammen aus dem offiziellen Untersuchungsbericht des griechischen Ministeriums für Verkehr und Kommunikation /HEL 06/.

### 2.8.2.1 Position des Schalters für den Druckaufbau in der Kabine

Die direkte Ursache für das Unglück war die Tatsache, dass während des Steigfluges nach dem Start kein Druckaufbau in der Kabine stattfand. Der Druckaufbau blieb aus, weil der Bodeningenieur nach dem Drucktest am Vorabend den entsprechenden Schalter (siehe Abbildung 2.5) nicht wieder von MAN (manuell) auf AUTO (automatisch) gestellt hatte und dieser Umstand den Piloten vor, während und nach dem Start nicht auffiel /HEL 06/.



**Abb. 2.5** Foto des Digital Cabin Pressure Control System Panels der Unglücksmaschine

Das Panel wurde aus den Trümmern der abgestürzten Maschine geborgen. Der Schalter für den Modus des Druckaufbaus in der Kabine ist auf manuell („MAN“) gestellt, Foto: griechisches Verkehrsministerium /IND 18/.

Während des Steigfluges löste zwar ein Alarm aus, der den zu niedrigen Kabinendruck anzeigte, allerdings missverstanden die Piloten diesen Alarm und wurden sich der

Problematik nicht bewusst. Die Maschine stieg weiter, womit der Kabinendruck und der Sauerstoffgehalt der Luft im Flugzeug stetig sanken. Durch den zu niedrigen Kabinendruck und daraus resultierenden Sauerstoffmangel verloren die Insassen der Maschine letztlich das Bewusstsein. Das Flugzeug wurde daraufhin vom Autopiloten gesteuert, bis der Treibstoff verbraucht war und stürzte schließlich ab /HEL 06/.

### **2.8.2.2 Verschleppte Wartung des Unglücksflugzeuges**

Die Unglücksmaschine verfügte über einen Non Volatile Memory (NVM). Dabei handelt es sich um einen Speicher, der Datenaufzeichnungen über die durchgeführten Flüge einer Maschine speichert, ohne diese wieder zu löschen (wie es beispielsweise beim Voice Recorder im Cockpit der Fall ist, der nur die Aufnahme der letzten 30 Minuten vor einem Absturz speichert). Aus den Aufzeichnungen des NVM ging hervor, dass während der letzten 74 Flüge vor dem Absturz von HCY522 eine Leckage an der Druckkabine des Flugzeugs vorlag, die bis zuletzt nicht identifiziert werden konnte. Die Wartungsmaßnahmen am Vorabend des Unglücksfluges bildeten schließlich die Grundlage für die fehlerhafte Schalterposition des Systems für den Kabinendruck /HEL 06/.

### **2.8.2.3 Ungenaue Anweisungen des Herstellers zum Wartungsablauf**

Bei der Maschine handelte es sich um eine Boeing 737-300. Im Aeroplane Maintenance Manual (AMM) von Boeing für den Flugzeugtyp waren Anweisungen für die Durchführung von Drucktests vorhanden. Unter dem letzten Arbeitsschritt „Put the Airplane Back to Initial Condition“ waren die folgenden drei Unterarbeitsschritte enthalten /HEL 06/:

- (1) „checking the pitot static system, if necessary.“
- (2) “opening the equipment cooling flow control valve, and”
- (3) “returning the equipment cooling fan switches to NORMAL if previously selected to ALTERNATE.”

Weder in der Beschreibung des letzten Arbeitsschrittes noch in den drei Unterarbeitsschritten wird erwähnt, dass der Schalter für die Art des Druckaufbaus auf AUTO einzustellen ist. Die Anweisungen waren diesbezüglich vage und adressierten das Korrigieren der Schalterstellung nicht. Daher kann es nicht als alleiniger Fehler der Ingenieure bewertet werden, dass sie dies nicht taten /HEL 06/.

Eine explizite Erwähnung im AMM, dass der Schalter wieder in die Position AUTO zu schalten ist, hätte Klarheit geschaffen und das Unglück möglicherweise verhindert /HEL 06/.

#### **2.8.2.4 Identisches Alarmsignal für verschiedene Fehler**

Nachdem die Maschine den Flughafen von Larnaka verlassen hatte, löste während des Steigfluges (auf einer Höhe von ca. 12 000 Fuß) ein akustischer Alarm aus. Dabei handelte es sich um den Alarm für den Kabinendruck, der aufgrund des nicht erfolgten Druckaufbaus mit zunehmender Flughöhe abnahm. Zudem wurden die Sauerstoffmasken in der Kabine und im Cockpit ausgelöst. Als erste Reaktion der Piloten wäre zu erwarten gewesen, dass sie, der Standardprozedur der Fluggesellschaft entsprechend, ihre Sauerstoffmasken aufsetzen, den Autopiloten deaktivieren und den Steigflug bis zur Sicherstellung eines Druckaufbaus in der Kabine unterbrechen. Dies erfolgte jedoch nicht /HEL 06/.

Der akustische Alarm für den Kabinendruck ist identisch mit dem Warnsignal für eine fehlerhafte Startkonfiguration (dies bezieht sich u. a. auf die korrekte Einstellung des Höhenruders, der Landeklappen und der Bremsen, ohne die ein Start der Maschine nicht möglich ist). Daher nimmt die Untersuchungskommission an, dass die Piloten die beiden Alarme verwechselten. Die Niederschrift des Bodeningenieurs bezüglich des Gespräches, dass er kurz nach Auslösen des Warnsignals mit dem Kapitän führte, bestätigt diese Vermutung. Als der Kapitän von HCY522 Kontakt zur Einsatzzentrale von Helios Airways aufnahm, bezog er sich auf das Warnsignal für die Startkonfiguration. Die These wird weiter untermauert durch den Umstand, dass die Piloten der F-16-Militärflugzeuge die Piloten ohne aufgesetzte Sauerstoffmasken im Cockpit sahen. Sie waren sich des Druckabfalls offenbar nicht bewusst und möglicherweise durch den einsetzenden Sauerstoffmangel bereits in ihrer Urteilsfähigkeit beeinträchtigt /HEL 06/.

Bereits in der Vergangenheit traten Fälle auf, in denen die beiden Alarmsignale miteinander verwechselt wurden. Das Signal für die Startkonfiguration kann nur am Boden ertönen und dient der Verhinderung eines Starts mit fehlerhafter Konfiguration. Somit erscheint eine Verwechslung zunächst nicht nachvollziehbar, da die Maschine sich bereits im Steigflug befand. Die Untersuchungskommission schätzt es allerdings als wahrscheinlich ein, dass die überwiegende Mehrheit der Piloten das Signal aus ihrer praktischen Erfahrung ausschließlich im Zusammenhang mit der Startkonfiguration der Maschine kennen. Sie gingen deshalb gewohnheitsmäßig davon aus, dass es sich um das Signal für eine fehlerhafte Startkonfiguration handelte, und waren irritiert, da sie das Signal im Steigflug nicht erwarteten. Der dadurch vermutlich ausgelöste Stress in Kombination mit einsetzendem Sauerstoffmangel beeinflusste die Fähigkeit, die Situation nüchtern zu analysieren, negativ /HEL 06/.

#### **2.8.2.5 Verständigungsschwierigkeiten zwischen Kapitän und Bodeningenieur**

Helios Airways beschäftigte Angestellte verschiedener Nationalitäten. Der Kapitän der Unglücksmaschine war Deutscher, sein Kopilot Zypriot. Der Bodeningenieur, mit dem der Pilot während des Fluges sprach, war Brite. Laut eigener Aussage fiel es dem britischen Bodeningenieur schwer, zu verstehen, welchem Problem sich der Kapitän gegenüber sah. Möglicherweise lag dies daran, dass der Pilot mit deutlichem Akzent englisch sprach, der Bodeningenieur wollte dies nach dem Unglück jedoch nicht bestätigen. Während des Gesprächs mit dem Piloten schlug er allerdings vor, dass der zypriotische Kopilot mit einem anderen, ebenfalls zypriotischen, Bodeningenieur auf Griechisch sprechen solle, um die Kommunikation zu vereinfachen. Diese Verständigungsprobleme erschwerten die Lösungsfindung, während die Maschine weiter stieg /HEL 06/.

Das spätere Auftreten des Alarms MASTER CAUTION überschattete die ursprüngliche Situation schließlich. Dieser zeigt den Ausfall der Instrumentenkühlung im Cockpit an und wurde ausgelöst, weil durch die dünner werdende Luft kein ausreichender Luftstrom mehr gewährleistet war /HEL 06/.

### **2.8.2.6 Mangelnde personelle Ressourcen bei der zypriotischen Aufsichtsbehörde**

Die Safety Regulation Unit (SRU) der zypriotischen Luftfahrtbehörde (Department of Civil Aviation, DCA) litt unter einem chronischen Mangel an qualifiziertem Personal. Für die Zeit ab dem Jahr 1999 ist durch Auditberichte dokumentiert, dass nicht genug Mitarbeiter angestellt waren, wodurch u. a. Führungspositionen unbesetzt blieben und die vorhandenen Angestellten überlastet waren. Zudem waren die Zielsetzungen und Arbeitsweisen der drei Abteilungen der SRU (Operations, Airworthiness und Licensing) nicht offiziell schriftlich festgesetzt, ebenso waren Einstellungskriterien und detaillierte Tätigkeitsbeschreibungen für zu besetzende Stellen in schriftlicher Form nicht vorhanden /HEL 06/.

Aufgrund der mangelnden Ressourcen wurden wichtige Tätigkeiten der Behörde daher ausgelagert. Mit der britischen Civil Aviation Authority (CAA) wurde ein Vertrag abgeschlossen, der vorsah, dass die CAA die DCA bei ihrer Arbeit unterstützen sollte. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die EU-Standards für die zivile Luftfahrt in Zypern eingehalten würden. Dem Vertrag zufolge war für die CAA eine beratende Rolle vorgesehen. Tatsächlich akzeptierte die DCA allerdings jegliche Vorschläge und Einschätzungen ohne Prüfung. Zudem wurden in Fällen, in denen die CAA zum Teil dringenden Handlungsbedarf für die DCA sah, um Fluglinienbetreiber zur Behebung von Mängeln zu bewegen, keine tatsächlichen Maßnahmen durch die DCA ergriffen /HEL 06/.

Des Weiteren übernahm die DCA ungeprüft Handbücher, die von der CAA bereitgestellt wurden, für Verfahrensweisen der SRU. Diese Handbücher wurden weder an die eigenen Prozesse und Bedürfnisse angepasst, noch wurde das Personal der SRU in der Anwendung dieser Handbücher geschult. Erkennbare Maßnahmen zur Verbesserung der Personalsituation bei der SRU wurden in den Jahren zwischen 1999 und 2005 nicht unternommen /HEL 06/.

Die Defizite bei der DCA sowie deren Versäumnisse bezüglich der Durchsetzung europäischer Standards bei Fluggesellschaften hatten wohl keinen direkten Einfluss auf das Unglück am 14.09.2005. Die im Zuge der an das Unglück anschließenden Ermittlungen aufgedeckten Missstände boten jedoch ein erhöhtes Risiko für Nonkonformitäten, die Unfälle begünstigen können /HEL 06/.

### **2.8.2.7 Zusammenfassung der organisatorischen Einflussfaktoren**

Zusammenfassend können die folgenden organisationalen Merkmale identifiziert werden, die die Unglücksentstehung beeinflusst haben oder eine potenzielle Quelle weiterer Unfälle darstellen:

#### **Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen**

- In der Arbeitsanweisung für Drucktests im Handbuch des Flugzeugherstellers Boeing wird nicht darauf eingegangen, dass der Arbeitsschritt „Put the Airplane back into Initial Condition“ das Einstellen des Schalters für den Druckaufbau in der Kabine auf AUTO beinhalten sollte.

#### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

- Die zypriotische Luftfahrtbehörde DCA verfügte nicht über ausreichend qualifiziertes Personal in ausreichender Zahl. Die britische Luftfahrtbehörde CAA sollte sie deshalb beratend unterstützen, tatsächlich übernahm die DCA aber ungeprüft Empfehlungen der CAA, ohne diese an die eigenen Bedürfnisse und Umstände anzupassen. Die Um- und Durchsetzung der europäischen Standards gegenüber den in Zypern aktiven Fluggesellschaften fand praktisch nicht statt. Maßnahmen zur Verbesserung dieses Zustandes waren in den Jahren 1999 bis 2005 nicht zu erkennen.

#### **Fehlende oder unzureichende Schulungen**

- Es fanden keine Schulungen des Personals der zypriotischen Luftfahrtbehörde DCA zum Umgang mit den von der britischen CAA zur Verfügung gestellten Handbücher statt.

#### **Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

- Da der kontaktierte Bodeningenieur Brite war und der deutsche Pilot nur mit starkem Akzent Englisch sprach, bestanden Schwierigkeiten bei der Kommunikation. Unter anderem dadurch konnte die eigentliche Problemlage dem Bodeningenieur nicht vermittelt werden, bevor die Aufmerksamkeit des Kapitäns durch den Alarm MASTER CAUTION auf die Instrumentenkühlung gelenkt wurde.

### **Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen und Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Die zypriotische Luftfahrtbehörde DCA verfügte nicht über ausreichend qualifiziertes Personal in ausreichender Zahl. Die britische Luftfahrtbehörde CAA sollte sie deshalb beratend unterstützen, tatsächlich übernahm die DCA aber ungeprüft Empfehlungen der CAA, ohne diese an die eigenen Bedürfnisse und Umstände anzupassen. Die Um- und Durchsetzung der europäischen Standards gegenüber den in Zypern aktiven Fluggesellschaften fand praktisch nicht statt. Maßnahmen zur Verbesserung dieses Zustandes waren in den Jahren 1999 bis 2005 nicht zu erkennen.

### **Unzureichende Fachkunde**

- Die Piloten reagierten bei Auslösen des Alarms für den zu niedrigen Kabinendruck und der Sauerstoffmasken nicht regelkonform.

## **2.9 Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005**

Bei der Chongqing Yingte Chemical Co., Ltd. handelt es sich um eine Chemiefabrik in der chinesischen regierungsunmittelbaren Stadt Chongqing im Südwesten Chinas. Die Chongqing Yingte Chemical Co., Ltd. ist Teil der Chongqing Hallochem Pharmaceutical Co., Ltd., die sich auf die Produktion von Medikamenten spezialisiert hat.

Am 24.11.2005 ereignete sich in der Chongqing Yingte Chemical Co., Ltd. eine Explosion, die durch das zu schnelle Hinzufügen von Wasserstoffperoxid zu einem mit Benzol gefüllten Reaktor ausgelöst worden war. Bei den anschließenden Löscharbeiten durch die Feuerwehr waren etwa 4 Tonnen unverbranntes Benzol mit dem Löschwasser in den angrenzenden Fluss Guixi getragen worden, die drohten, den 123 km vom Unglücksort entfernt gelegenen Changshou-Stausee zu kontaminieren. Aufgrund eines guten Katastrophenmanagements und effizienter Kommunikation der beteiligten Behörden und Helfer in den folgenden Stunden und Tagen konnte das Benzol durch diverse Notfallmaßnahmen entfernt werden, bevor es den Stausee erreichte, was die Kontamination von Trinkwasser für viele tausend Menschen verhinderte.

### 2.9.1 Chronologischer Ablauf

Aufgrund der limitierten Faktenlage zum Ereignis ist eine Ablaufbeschreibung mit konkreten Zeitangaben nicht möglich. Der Übersichtlichkeit halber wird das Ereignis dennoch tabellarisch dargestellt. Die Informationen zum Ereignis stützen sich auf eine Studie des United Nations Environment Programme zum Berichtswesen über Chemieunfälle in China /UNE 14/.

**Tab. 2.9** Ablauf des Chemieunfalls in Chongqing

Zeitangaben in Ortszeit UTC+8

Zeit	Handlung/Ablauf
25.11.2005, 11:00 Uhr	In der Chongqing Yingte Chemical Co., Ltd. ereignet sich eine Explosion. Die Explosionsursache ist das zu schnelle Hineingießen von Wasserstoffperoxid in einen mit Benzol gefüllten Reaktor, um Verunreinigungen mit Schwefel zu beseitigen. Durch das zu schnelle Hineingießen durch die Arbeiter kommt es zum Durchgehen der chemischen Reaktion, das schließlich zur Explosion führt. Bei der Explosion kommt ein Arbeiter ums Leben, 5 weitere werden verletzt.
	Nach Bekanntwerden des Unfalls evakuieren die örtlichen Behörden mehr als 6 000 Schüler und Anwohner aus den angrenzenden Schulen und Wohngebieten.
	Bei der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr wird mit dem verwendeten Löschwasser unverbranntes Benzol in den angrenzenden Fluss Guixi.  Der Fluss Guixi mündet in den Fluss Caojia, der in den Fluss Gaotan mündet. Der Fluss Gaotan wiederum mündet in den Fluss Longxi, entlang dessen Verlaufs der Changshou-See liegt. Der Changshou-See dient als Trinkwasserreservoir für den Changshou-Bezirk der Stadt Chongqing und liegt 123 km vom Explosionssort entfernt.
	Unmittelbar nach Bekanntwerden der Kontamination des Guixi wendet sich die Stadtregierung von Chongqing an die Regierung des Bezirks Dianjiang mit der Aufforderung, effektive Maßnahmen zur Beseitigung der Verschmutzung und dem Schutz des Trinkwassers.
	Die Verantwortlichen der Stadtregierung von Chongqing besichtigen mit Offiziellen der Bezirksregierung den Unfallort, um Instruktionen für den Umgang mit der Kontamination zu geben.
	Die Umweltschutzabteilungen von Chongqing und Dianjiang reagieren schnell und richten 10 Überwachungspunkte auf einer Länge von etwa 100 km entlang der Flüsse Caojia, Gaotan und Longxi ein, um die Entwicklung der Wasserqualität zu überwachen und die Bewegung des Benzolteppichs nachzuverfolgen.

Zeit	Handlung/Ablauf
	Die Bezirksregierung von Dianjiang richtet einen Krisenstab ein und ergreift Maßnahmen zur Beseitigung der Verschmutzung. Im 24 km langen Caojia werden aus Stroh, Aktivkohle und Holzkohle 9 Dämme gebaut, die die Verunreinigungen daran hindern sollen, weiter flussabwärts zu treiben.
	Teams aus offiziellen Mitarbeitern und Freiwilligen bewachen die Dämme. Sie folgen streng den Vorgaben und Regelungen zum regelmäßigen Austausch des Strohs, mit dem auch das von der Wasseroberfläche gesammelte Benzol entfernt wird. Stroh, Aktivkohle und Holzkohle werden nach dem Einsatz an vorbestimmten Orten gesammelt und verbrannt (Stroh, Kohle) bzw. durch qualifiziertes Personal entsorgt (Aktivkohle). Auf diese Weise konnten zwischen den Messpunkten 3 und 4 75% der Verunreinigungen entfernt werden.
	Nach dem Empfang von Instruktionen durch den Staatsrat schenkt das chinesische Umweltschutzministerium dem Ereignis große Aufmerksamkeit und entsendet Notfall- und Expertenteams nach Dianjiang. Diese geben den Helfern vor Ort Anweisungen zur Entfernung der Verschmutzungen.
	Parallel zu den Reinigungsmaßnahmen informierte die Stadtregierung von Chongqing zeitnah die Öffentlichkeit und gibt Hinweise dazu, wie mit der Situation umzugehen ist und welche Maßnahmen ergriffen werden. Ziel dieser Informationspolitik ist die Verhinderung einer öffentlichen Panik.
29.11.2005	5 Tage nach dem Unfall werden von den ursprünglich in den Guixi gelangten 4 Tonnen Benzol noch etwa 63 kg im Gaotan nachgewiesen (0,01575 % der Ursprungsmenge).
	<p>Weitere ergriffene Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung des Flusses Caojia an der Stelle, an der er in den Distrikt Changshou fließt, sowie Anweisung an die Beobachter, die dortige Lokalregierung bei Registrierung einer erhöhten Benzolkonzentration umgehend zu informieren und Informationen über die Situation der Trinkwasserquelle an die Öffentlichkeit weiterzugeben.</li> <li>• Isolation und sichere Behandlung/Entsorgung der verbliebenen Chemikalien am Unfallort.</li> <li>• Anweisung an lokale Umweltschutzverbände, Konzentrationsänderungen und Bewegungen der Schadstoffe genauestens zu beobachten sowie die Zerstreuung des Benzols auf Basis der hydrologischen Parameter des Flusses zu verfolgen und die Blockade und Adsorption der Schadstoffe entlang des Flusses zu evaluieren.</li> <li>• Schließung der beiden flussaufwärts des Changshou-Sees gelegenen Staudämme Gaoan und Gaodong, um den Wasserzustrom zum See abzuschneiden.</li> </ul>
29.11.2005, 19:00 Uhr	Der Alarm wegen Umweltverschmutzung wird von der Chongqing-Regierung offiziell aufgehoben.

## **2.9.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Die Analyse dieses Ereignisses stützt sich auf einen Bericht des United Nations Environment Programme zum Berichtswesen in China zu Chemieunfällen /UNE 14/. Das vorliegende Ereignis ist eines von 8 im Bericht analysierten Ereignissen.

### **2.9.2.1 Entstehung der Kontamination**

Die unmittelbare Ursache für die Kontamination des Flusswassers war die Tatsache, dass unverbrannte Benzolreste mit dem Löschwasser der Feuerwehr in den Fluss Guixi gespült wurden. Dem UN-Bericht zufolge waren die an den Löscharbeiten beteiligten Feuerwehrleute nicht in Bezug auf umweltschutzrelevantes Wissen geschult, weshalb sie inadäquate Mittel zur Brandbekämpfung einsetzten. Die weiteren Maßnahmen der Behörden zur Minimierung des Schadens durch die Kontamination wären ohne diesen Umstand gar nicht erst erforderlich gewesen. Laut UN-Bericht sind solche sekundären Verschmutzungen als Folge von Feuerwehrarbeiten nach Chemieunfällen in China keine Seltenheit. Dies sei auf eine grundsätzlich nicht ausreichende Ausbildung der chinesischen Feuerwehr in Bezug auf Umweltschutzaspekte und den Umgang mit Chemikalien zurückzuführen. Dies führe zum Teil auch zu Verletzungen oder dem Tod von Feuerwehrmännern. Es handelt sich damit offenbar um ein systemisches Problem innerhalb der chinesischen Feuerwehr, die ihre Mitarbeiter nicht angemessen auf alle potenziell vorkommenden Einsatzsituationen vorbereitet /UNE 14/.

Zur Explosion selbst kann den vorliegenden Informationen zufolge festgestellt werden, dass der unsachgemäße Umgang der Fabrikarbeiter mit dem eingesetzten Wasserstoffperoxid ursächlich war. Wasserstoffperoxid wird in der chemischen Industrie dazu eingesetzt, schwefelhaltige Verunreinigungen in Benzol zu behandeln. Bei der dadurch ablaufenden Reaktion handelt es sich um eine exotherme Reaktion. Die zu schnelle Beigabe des Wasserstoffperoxids führte in diesem Fall zu einem rapiden Temperatur- und Druckanstieg und letztlich zur Explosion. Ob dieser in einem individuellen Fehlverhalten oder ungenügenden Anforderungen bzw. Ausbildungsmaßnahmen begründet liegt, kann aus den vorliegenden Informationen nicht ermittelt werden.

### **2.9.2.2 Beseitigung der Kontamination des Flusswassers**

Zur Beseitigung des auf dem Flusswasser treibenden Benzolteppichs wurden von den verantwortlichen Behörden schnelle und effektive Maßnahmen ergriffen. Die Kontamination sowie die von ihr ausgehende Gefährdung des Trinkwasserreservoirs im Changshou-See wurden zügig erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet. Über die Art und Weise der Erkennung liegen keine Informationen vor.

Die Behörden waren sich der Notwendigkeit schnellen Handelns bewusst, zudem gab es eine klare Aufgabenverteilung und Hierarchie. Von der Stadtregierung von Chongqing wurde die Lokalregierung von Dianjiang aufgefordert, effektive Maßnahmen zur Säuberung des Flusswassers zu ergreifen. Diese richtete einen Krisenstab ein und veranlasste ihre Umweltschutzbeauftragten, zeitnah die entsprechenden Mitarbeiter zu informieren und Überwachungspunkte entlang des Flussverlaufes einzurichten. Zusätzlich wurden zwei Staudämme flussaufwärts des Changhsou-Sees geschlossen und der Wasserstrom zu diesem abgeschnitten. Der Sicherheit des Trinkwasserreservoirs und damit der Anwohner wurde die angemessene hohe Priorität beigemessen, zudem wurde die Öffentlichkeit über die aktuelle Lage informiert und dazu angehalten, weder Flusswasser noch Fische aus dem kontaminierten Bereich zu verspeisen /UNE 14/, /REL 05/.

Zur Säuberung des Wassers wurden 9 Dämme entlang der betroffenen Flüsse errichtet und große Mengen Stroh, Aktivkohle und Holzkohle zur Adsorption des Benzols eingesetzt. Insgesamt waren mehrere hundert Helfer beteiligt, 40 Tonnen Stroh und 5 Tonnen Aktivkohle wurden eingesetzt. Auch durch die Kontamination vergiftete Fische wurden aus den Flüssen entfernt. Bei Austausch und Entsorgung der für die Reinigung eingesetzten Stoffe wurde qualifiziertes Personal eingesetzt und den anzuwendenden Vorgaben und Regelungen Folge geleistet. Zur Überwachung der Effektivität wurden entlang der Flüsse Caojia, Gaotan und Longxi in regelmäßigen Abständen Messpunkte eingerichtet, mit deren Hilfe die Bewegung und Konzentration des Benzols im Flusswasser aufgezeichnet wurde. Nach 5 Tagen wurden von den ursprünglichen 4 Tonnen Benzol, die ins Flusswasser des Guixi gelangt waren, noch ca. 63 kg im Gaotan gemessen. Es wurden damit über 98 % der Verschmutzung entfernt /UNE 14/.

Der nach der bereits erfolgten Kontamination des Flusswassers positive Verlauf des Ereignisses zeigt, dass die Beteiligten, unter Umständen durch in der Vergangenheit gesammelte Erfahrungen, gut vorbereitet und schnell handlungsfähig waren. Durch eine klare Hierarchie wurden Befehle zur Bekämpfung der Verschmutzung rechtzeitig

weitergegeben. Auch waren die notwendigen Mittel zur Entfernung des Benzolteppichs sowohl bekannt als auch vorhanden. Ebenso erfolgte der Umgang mit diesen regelkonform.

### **2.9.2.3 Zusammenfassung**

Für die Entstehung und anschließende Beherrschung des Ereignisses waren die folgenden organisationalen Faktoren ausschlaggebend:

#### **Aufschieben von Entscheidungen**

- Positive Ausprägung des Merkmals:

##### **Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen:**

Nach Bekanntwerden der Kontamination des Flusswassers wurden schnelle Maßnahmen ergriffen. Die Einberufung eines Krisenstabs durch die Lokalregierung von Dianjiang und der Einsatz von Fachpersonal zur Beseitigung des Benzolteppichs ermöglichten eine zeitnahe Beherrschung der Situation.

#### **Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen:**

- Durch eine klare Hierarchie zwischen den Behörden waren die Zuständigkeiten für das Ergreifen von Notfallmaßnahmen schnell geklärt.

#### **Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

- Positive Ausprägung des Merkmals:

##### **Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite:**

Das chinesische Umweltministerium entsandte Notfall- und Expertenteams nach Dianjiang, die den Helfern vor Ort Instruktionen zur Entfernung der Verschmutzung gaben.

- Positive Ausprägung des Merkmals:

##### **Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite:**

Zwischen den für die betroffenen Distrikte verantwortlichen Behörden wurde frühzeitig und deutlich kommuniziert, so dass bei der Beherrschung der Situation keine Zeitverzögerungen entstanden.

### **Unzureichende Anforderungen**

- Die Kontamination des Flusswassers mit Benzol kam durch den unsachgemäßen Umgang der Feuerwehr mit dem Chemikalienbrand zustande, der durch einen ungenügenden Ausbildungsstandards bei der chinesischen Feuerwehr begünstigt wurde.

### **Unzureichende Fachkunde**

- Die mit dem Löschen des Chemikalienbrandes betrauten Feuerwehrleute verfügten nicht über das nötige umweltschutzrelevante Wissen.
- Positive Ausprägung des Merkmales:  
**Gute Fachkunde:**  
Für die Entfernung des Benzolteppichs wurde qualifiziertes Personal eingesetzt, das im Umgang mit derartigen Verschmutzungen vertraut war.

### **Unzureichende Notfallübungen**

- Die chinesische Feuerwehr bereitete ihre Angestellten nicht ausreichend durch Übungen auf alle möglichen Einsatzszenarien vor.

## **2.10 Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006**

Bei dem Schiff Al Salam Boccaccio 98 handelte es sich um eine RoRo-Fähre (von englisch „Roll on Roll off“), die am 2. Februar 2006 auf der Überfahrt von Duba, Saudi-Arabien, nach Safaga, Ägypten, kenterte und sank. Das Schiff wurde im Jahr 1970 in Italien fertiggestellt und unter dem Namen Boccaccio als Fähre im Mittelmeer genutzt, bis es im Jahr 1990 im Hafen von Marseille ausbrannte. Danach wurde die Aufnahmekapazität des Schiffs ausgebaut, renoviert und mit einem höheren Aufbau versehen, sodass es Platz für ca. 1.300 Passagiere bot. Die Fähre wurde 1999 von der ägyptischen El Salam Shipping and Trading gekauft und wurde fortan im Roten Meer eingesetzt. 2005 wurde sie an die ebenfalls ägyptische El Salam Maritime Transport Company weiterverkauft. Seit 1999 fuhr das Schiff dabei unter panamaischer Flagge. Bis zuletzt galten alle Kriterien internationaler Konventionen sowie die Regeln der italienischen Schiffsklassifikationsgesellschaft Registro Italiano Navale, die unter anderem auf technische Zertifizierungen und Risikomanagement spezialisiert ist, offiziellen Dokumenten zufolge als ordnungsgemäß erfüllt /INV 06/.

Am 2. Februar 2006 um 20:51 Uhr ägyptischer Zeit (entspricht 19:51 Uhr MEZ) legte die Al Salam Boccaccio 98 im Hafen von Duba, Saudi-Arabien, ab. Ziel der der Fahrt war der Hafen von Safaga auf der ägyptischen Seite des Roten Meeres. Auf der Fähre befanden sich 1.418 Personen (1.321 Passagiere und 97 Besatzungsmitglieder). Kurz nach Beginn der Überfahrt brach, vermutlich auf dem Fahrzeugdeck des Schiffs, ein Brand aus. Beim Versuch, dieses Feuer zu löschen, wurden sowohl automatische Sprinkleranlagen als auch manuell durch die Besatzung bediente Löschschläuche eingesetzt. Das verwendete Wasser konnte nicht wie vorgesehen durch die im Fahrzeugdeck vorhandenen Speigatten abfließen und staute sich. Aufgrund dessen bekam das Schiff Krängung, die durch den vorherrschenden starken Wind begünstigt wurde und im weiteren Verlauf zunahm. Letztlich brachte dies die Fähre zum Kentern. Von den 1.418 an Bord befindlichen Personen überlebten nur 387. Die übrigen 1.031 Personen wurden tot geborgen oder gelten als vermisst.



**Abb. 2.6** Die ursprünglich „Boccaccio“ getaufte Fähre im Urzustand

Das Bild entstand im Jahr 1982 /SHI 82/.



**Abb. 2.7** Die umgebaute „Al Salam Boccaccio 98“

Das Bild entstand im Jahr 2001 und zeigt die baulichen Veränderungen (Aufbau zur Erhöhung der Aufnahmekapazität) /SHI 01/.

### 2.10.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unglücks der Al Salam Boccaccio 98 dargestellt (Angaben in Lokalzeit UTC +2).

**Tab. 2.10** Ablauf des Untergangs der Al Salam Boccaccio 98

Zeitangaben in Lokalzeit UTC +2

Zeit	Handlung/Ablauf
02.02.2006 - Vor der Abfahrt	Laut Kapitän herrschen bei Abfahrt Windstärken von 6 bis 7 auf der Beaufort-Skala. Der Information des Voyage Data Recorder zufolge wird der Wind während der Fahrt stärker: Windstärke 7 bis 8 mit Windrichtung aus Südosten.
20:51 Uhr	Abfahrt der Fähre aus dem Hafen von Duba, Saudi-Arabien.
21:09 Uhr	Aktivierung des Feualarms auf der Brücke (optisches und akustisches Signal ausschließlich auf der Brücke, die Passagiere erfahren hiervon nichts). Der dritte Offizier informiert den Kapitän, der sich in seiner Kabine befindet.
21:10 Uhr	Ein wachhabender Matrose betritt die Brücke und berichtet dem dritten Offizier von starker Rauchentwicklung auf dem Fahrzeugdeck. Als der Kapitän die Brücke betritt, äußert der Matrose auf Nachfrage die Vermutung, dass das Feuer aus dem Maschinenraum kommt. Der Kapitän versucht Kontakt mit dem Maschinenraum aufzunehmen. Ob ihm dies gelang, ist unklar.
21:11 Uhr	Rauchentwicklung auf dem Fahrzeugdeck wird durch ein Crewmitglied bestätigt.
21:12 Uhr	Der Kapitän ordnet an, dass Löschschläuche zum Fahrzeugdeck gebracht und die dortige Sprinkleranlage aktiviert werden sollen.
21:16 Uhr	Ein Passagier informiert den Kapitän darüber, dass es ein Feuer zu geben scheint. Der Kapitän antwortet: "Stören Sie uns nicht, lassen Sie uns unsere Arbeit machen." Zahlreiche weitere Passagiere klopfen an der Brücke und zeigen sich besorgt über den andauernden Brand (Es gibt keine Hinweise, dass ein allgemeiner Feueralarm ausgelöst wurde).
21:18 Uhr	Der zweite Offizier informiert den Kapitän, dass die Sprinkleranlage bereits seit Registrierung des Feuers automatisch in Betrieb ist.

Zeit	Handlung/Ablauf
21:21 Uhr	<p>Aufgrund des ausbleibenden Kontakts mit dem Maschinenraum herrscht auf der Brücke nach wie vor Verwirrung darüber, ob die Sprinkleranlage auf dem Fahrzeugdeck tatsächlich in Betrieb ist. Der Brandherd kann aufgrund der dichten Rauchentwicklung nicht ausfindig gemacht werden.</p> <p>Der Kapitän ordnet an, die Lichter auf der Brücke abzuschalten, um zu vermeiden, dass Schiffe in der Umgebung die Situation an Bord bemerken.</p>
21:26 Uhr	<p>Rauch breitet sich in Richtung des Kabinenbereichs oberhalb des Fahrzeugdecks aus. Um zu verhindern, dass das Feuer sich ausbreitet, ordnet der Kapitän an, in den entsprechenden Bereichen Löschschläuche einzusetzen.</p>
21:36 Uhr	<p>Der zweite Offizier identifiziert einen mit Gepäck beladenen Anhänger auf dem Fahrzeugdeck als Brandherd.</p> <p>Trotz Einsatz von Sprinklern, Feuerlöschpumpen und Schläuchen dauert der Brand an.</p> <p>Drei Teams werden eingeteilt, die das Feuer bzw. dessen mögliche Ausbreitung bekämpfen sollen. Wo immer Rauch bemerkt wird, interpretiert der Kapitän dies als Feuer und schickt Besatzungsmitglieder, um Wasser zu versprühen.</p>
21:39 Uhr	<p>Es werden Maßnahmen eingeleitet, um das sich im Fahrzeugdeck ansammelnde Löschwasser herauszupumpen. Die Speigatten, durch die das Wasser auslegungsgemäß abfließen sollte, sind offenbar verstopft und somit nicht funktionsfähig.</p> <p>Das Wasser, das sich auf der Steuerbordseite angesammelt hat, wird mit Pumpen nach Backbord gepumpt, fließt aufgrund der bereits jetzt vorhandenen Krängung von etwa 5 bis 7° wieder zurück nach Steuerbord.</p> <p>Währenddessen macht das Schiff, das auf Steuerbefehle zunächst offenbar nicht reagiert, eine Drehung von 358° innerhalb von etwa 10 Minuten, wird letztendlich aber wieder auf Kurs Richtung Safaga gebracht.</p>
21:41 Uhr	<p>Der Erste Ingenieur empfiehlt dem Kapitän, die zwei „Pilotentüren“ (pilot doors) zu öffnen, damit das Wasser aus dem Fahrzeugdeck abfließen kann. Der Kapitän stimmt zu, allerdings rät er davon ab, da durch das Öffnen der Türen das Feuer angefacht werden könnte. Der Kapitän sagt dem ersten Ingenieur daraufhin, wenn er es für notwendig halte, solle er die Türen öffnen. (Anm.: Laut Untersuchungsbericht wurden die Türen wahrscheinlich nie geöffnet.)</p>
21:43 Uhr	<p>Ein Gespräch zwischen Kapitän und erstem Ingenieur lässt darauf schließen, dass sie sich unsicher bezüglich der Position des Schiffs sind, da einige Instrumente nicht ordnungsgemäß funktionieren.</p>
21:43 Uhr	<p>Der Kapitän bekräftigt seinen Befehl, Zonen in der Nähe des Brandes mit Wasser zu kühlen, und weist darauf hin, dass auch die Beseitigung des sich ansammelnden Löschwassers von Bedeutung ist.</p>

<b>Zeit</b>	<b>Handlung/Ablauf</b>
22:06 Uhr	Der dritte Offizier schlägt vor, Schiffe in der Umgebung zu kontaktieren und um Hilfe zu bitten. Der Kapitän geht auf diesen Vorschlag nicht ein.
23:04 Uhr	Der erste Offizier bittet darum, die Löschmaßnahmen einzustellen, da das Schiff mittlerweile eine Krängung von 7° aufweist.
23:41 Uhr bis 00:27 Uhr	Die Krängung des Schiffs steigt auf 11° nach Steuerbord. Währenddessen bekämpfen verschiedene Gruppen von Besatzungsmitgliedern, teils auf eigene Initiative, nach wie vor an verschiedenen Orten das Feuer, das sich ausgebreitet hat. Es herrscht allgemeine Verwirrung unter den Besatzungsmitgliedern.
03.02.2006 - 00:29 Uhr	Kapitän und erster Offizier erörtern die Möglichkeit, Ballasttanks zu leeren bzw. zu befüllen, um die durch das angesammelte Löschwasser verursachte Krängung auszugleichen. Den Befragungen der Überlebenden zufolge wurde davon ausgegangen, dass die Speigatten im Fahrzeugdeck mit Brandrückständen und Abfall verstopft waren und deshalb kein Wasser abfließen konnte.
	Die Krängung des Schiffs beträgt 15° nach Steuerbord.
00:31 Uhr	Der erste Offizier informiert den Kapitän, dass der Maschinenraum nicht auf Kontaktversuche reagiert.
00:40 Uhr	Der dritte Offizier informiert den Kapitän, dass das Schiff sich gedreht hat und nun wieder in Richtung Duba fährt. Aufgrund der Kursänderung bläst der Wind nun von Steuerbord, wodurch die Krängung wieder auf 11° nach Steuerbord abgenommen hat.
00:42 Uhr	Der dritte Offizier fragt den Kapitän, ob er den Kurs wieder ändern will. Der Kapitän ist unschlüssig und fragt den ersten Offizier, was die Lösung für die aktuelle Situation sein könnte.
01:07 Uhr	Der Kapitän befiehlt die Entleerung weiterer Ballasttanks, um die Krängung auszugleichen. Aufgrund der geringen Größe der Tanks kann dies jedoch laut Untersuchungsbericht keinen signifikanten Einfluss auf die Situation gehabt haben.
01:12 Uhr	Der Kapitän realisiert, dass das im Schiffsinnen angesammelte Löschwasser eine größere Gefahr darstellt als das Feuer. Er befiehlt daher einer unbekanntenen Person im Bereich der Kabinen, die Löscharbeiten einzustellen.
01:28 Uhr	Der Kapitän versucht weiterhin, durch Ballastoperationen und Kursänderungen die Krängung auszugleichen. Keine der Maßnahmen zeigt Erfolg, stattdessen erhöht sich die Krängung auf 22° nach Steuerbord.
Wenige Minuten vor dem Sinken	Der dritte Offizier rät dem Kapitän, die Evakuierung des Schiffs einzuleiten. Dieser geht auf den Vorschlag jedoch nicht ein. Die Krängung beträgt nun 25° nach Steuerbord.

<b>Zeit</b>	<b>Handlung/Ablauf</b>
Wenige Minuten vor dem Sinken	Während auf der Brücke Verwirrung herrscht, ergreifen einige Besatzungsmitglieder aus eigener Initiative Maßnahmen zur Evakuierung der Passagiere. Es werden Rettungswesten verteilt und Rettungsinseln (teils unsachgemäß) zu Wasser gelassen. Ein allgemeiner Alarm wird bis zuletzt nicht ausgelöst, weshalb nur ein geringer Teil der Passagiere das Schiff rechtzeitig verlassen kann.
01:30 Uhr	Der Kapitän gibt auf Nachfrage den Befehl, ein May-Day-Signal zu senden.
01:33 Uhr	Die Fähre kentert und sinkt.
Ca. 01:30 Uhr	Das Diensthabende Büro der El Salam Maritime Transport Co. informiert die Hafenbehörde von Safaga über das Ausbleiben des Funkkontakts zur Fähre. Eigene Versuche der Kontaktaufnahme scheitern ebenfalls.
02:37 Uhr	In der algerischen Seerettungsleitstelle trifft das Signal der vom zweiten Offizier der Al Salam Boccaccio 98 eingeschalteten Notfunkbake ein. Das Signal war zuvor über Schottland, Frankreich, die USA und Panama nach Algerien weitergeleitet worden. Von Algerien aus wird das Signal an die ägyptische Seerettungsleitstelle weitergeleitet, wofür insgesamt 17 Nachrichten verschickt werden müssen.
07:14 Uhr	Der Vorsitzende der Hafenbehörde von Safaga wird durch den Vizepräsidenten der El Salam Maritime Transport Co. über das Sinken der Fähre informiert.
Ca. 10:10 Uhr	Die Rettungsmaßnahmen beginnen mit dem Abflug eines Rettungsflugzeuges in Safaga.
Ca. 15:00 Uhr	Das erste Schiff erreicht das Unglücksgebiet.

## **2.10.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Die Diskussion der Unglücksursachen stützt sich im Wesentlichen auf den vorläufigen Untersuchungsbericht der Casualty Investigation Branch des General Directorate of Merchant Marine der Panama Maritime Authority /INV 06/. Da die AI Salam Boccaccio 98 in Panama registriert war, waren die dortigen Behörden zuständig für die Untersuchung des Unglücks.

Die Untersuchung des Unglücks durch die Panama Maritime Authority basiert zum einen auf der Auswertung des VDR, der eine ähnliche Funktion erfüllt wie die Black Box in Flugzeugen, und zum anderen auf Zeugenaussagen der Überlebenden. Laut Untersuchungsbericht überlebte der Kapitän den Untergang der Fähre nicht /INV 06/. Die Diskussion der Unfallursachen ist in mehrere thematische Abschnitte unterteilt. Die in den einzelnen Abschnitten geschilderten Ereignisse fanden zum Teil zeitgleich statt.

### **2.10.2.1 Umbau der Fähre zur Beförderung von mehr Passagieren**

Nachdem die Fähre im zwischen 1970 und 1991 im Fährbetrieb zwischen Italien und Tunesien eingesetzt worden war, wurde im Jahr 1991 die Aufnahmekapazität für Passagiere von 500 auf 1.300 und für Fahrzeuge von 200 auf 300 ausgebaut. Der Kapazitätsausbau wurde durch einen Aufbau auf die bisherige Schiffsstruktur realisiert (siehe Abb. 2.6 und Abb. 2.7). Durch diese Baumaßnahme wurde das Gesamtgewicht der Fähre von 6.450 auf 11.799 Bruttoregistertonnen erhöht und ihr Schwerpunkt nach oben verschoben. Zugleich entstand durch den Aufbau eine größere Angriffsfläche für Wind. Trotz der Erhöhung der Fahrzeugkapazität um 50 % sorgten die vorgenommenen Modifikationen somit für eine geringere statische Stabilität der Fähre. Der Profiterhöhung durch die höhere Zahl von beförderten Passagieren und Fahrzeugen wurde hier eine höhere Priorität beigemessen als der Sicherheit der Fähre (wie es beispielsweise durch eine gleichzeitige Verbreiterung des Rumpfes möglich gewesen wäre).

### **2.10.2.2 Ausbruch und Bekämpfung des Feuers an Bord**

Wenige Minuten nachdem das Feuer im Schiffsinnenen detektiert und auf der Brücke gemeldet wurde, suchten bereits mehrere Passagiere die Brücke auf und äußerten sich alarmiert und besorgt über den Brand und den dadurch erzeugten Rauch. Der Kapitän wies diese jedoch ab und verwies darauf, die Besatzung ihre Arbeit machen zu lassen.

Ein möglicher Grund für dieses Zurückhalten von Informationen ist der Versuch, eine Panik unter den Passagieren zu verhindern. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass dieses Verhalten aus der mangelnden oder mangelhaften Durchführung von Notfallübungen resultierte und der Kapitän mit der Situation überfordert war /INV 06/.

Diese Annahme wird durch das weitere Verhalten von Kapitän und Besatzung während des Unglücksverlaufes gestützt: Kapitän und Besatzung folgten bei der Brandbekämpfung nicht dem International Safety Management (ISM) Code der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO). Der ISM enthält verbindliche Vorgaben zur Unternehmensführung, die zur Gewährleistung größtmöglicher Sicherheit in jedem Schiffahrtsunternehmen und auf jedem Schiff einzuhalten sind. Dies beinhaltet auch klar vorgegebene Vorgehensweisen im Falle von bestimmten Notfällen an Bord eines Schiffes (Emergency Procedures, z. B. bei Evakuierung, Mann über Bord oder Feuer an Bord). In den Emergency Procedures des ISM Codes ist für den Fall eines Feuers an Bord festgelegt, dass der Kapitän als erstes die Aufgabe hat, alle Passagiere und Besatzungsmitglieder durchzuzählen, um sich einen Überblick über evtl. durch das Feuer zu Schaden gekommene Personen zu verschaffen. Nach dem Stopp aller Maschinen im Bereich des Feuers sowie der Inbetriebnahme der Sprinkleranlage und der Feuerpumpe sind durch den Kapitän alle Stationen in Alarmbereitschaft zu versetzen /ISM 13/.

Tatsächlich fand ein Durchzählen der Personen an Bord nicht statt, die erste Handlung des Kapitäns nach dem Ausbruch des Feuers war es, den Einsatz von Löschschläuchen anzuordnen. Erst danach ordnete er an, die Sprinkleranlage einzuschalten und sich über deren Betrieb zu vergewissern. Die Vorbereitung von Löscharbeiten mit Schläuchen ist laut ISM Code allerdings die Aufgabe des Zweiten Offiziers. Auch ist im Untersuchungsbericht nicht erwähnt, dass es zu einer allgemeinen Alarmierung aller Schiffsstationen durch den Kapitän kam. Es gab zwar telefonische Kontaktversuche mit dem Maschinenraum, ob diese erfolgreich waren ist allerdings unklar. Es zeigen sich damit verschiedene Abweichungen von der durch den ISM Code vorgeschriebenen Vorgehensweise durch den Kapitän, die vorgegebene Aufgabenverteilung wurde nicht befolgt. Diese Abweichung von den Vorgaben deutet auf nicht oder zumindest mangelhaft durchgeführte Notfallübungen von Seiten der El Salam Maritime Transport Co. hin /INV 06/.

Der Untersuchungsbericht erwähnt an mehreren Stellen, dass innerhalb der Besatzung Verwirrung darüber herrschte, was zu tun sei, und dass manche Besatzungsmitglieder auf eigene Initiative handelten. Einige Besatzungsmitglieder bereiteten Gruppen von Passagieren auf die Evakuierung vor, indem sie ihnen Rettungswesten aushändigten und einige Rettungsinseln zu Wasser ließen. Über den gesamten Ereignisverlauf hinweg wurde weder ein allgemeiner Feueralarm ausgelöst, noch wurden die Passagiere anderweitig, etwa durch Lautsprecherdurchsagen, über die aktuelle Situation an Bord informiert. Auch fand keine Kontaktaufnahme zu umliegenden Schiffen statt /INV 06/, /CNN 08/.

Der Ursprung des Feuers konnte bis zuletzt nicht eindeutig identifiziert und das Feuer nicht eingedämmt werden. Stattdessen breitete sich der Brand weiter aus. Aus den Aufzeichnungen des VDR geht hervor, dass eine Kommunikation mit dem Maschinenraum, der sich unter dem Fahrzeugdeck befand, offenbar nicht möglich war. Diesem Problem wurde jedoch durch die Besatzung keine größere Aufmerksamkeit gewidmet, obwohl die Vermutung nahe liegt, dass das Feuer im Bereich des Maschinenraums seinen Ursprung gehabt haben könnte /INV 06/.

Die Entscheidung des Kapitäns, überall dort, wo Rauchentwicklung beobachtet wurde, Wasser versprühen zu lassen, trug zu der großen Wassermenge bei, die sich im Laufe des Ereignisses im Fahrzeugdeck ansammelte. Da Rauch nach oben steigt, ist dessen Vorhandensein allerdings kein eindeutiges Zeichen für Feuer an der jeweiligen Stelle. Zudem wurde offenbar die Möglichkeit, dass die Fähre durch große Wasseransammlungen in eine gefährliche Schiefelage gelangen kann, nicht berücksichtigt. Dies kann einerseits darin begründet sein, dass die Mannschaft grundsätzlich davon ausging, dass das Löschwasser durch die jeweils 13 Speigatten auf beiden Seiten des Fahrzeugdecks abfließen kann. Andererseits könnte hierin ein Indiz für die mangelnde Kenntnis der Besatzung über die Fähre gesehen werden.

### **2.10.2.3 Krängung des Schiffes durch angesammeltes Löschwasser**

Auslegungsgemäß hätten die im Fahrzeugdeck vorhandenen 26 Speigatten (13 auf jeder Seite) die durch die Sprinkleranlage versprühte Wassermenge ablaufen lassen müssen. Für den Anstieg des Wasserspiegels auf dem Fahrzeugdeck im Zuge der Löscheversuche kommen die folgenden Ursachen in Frage:

- Die Speigatten waren teilweise oder vollständig verstopft
- Die Speigatten waren von vornherein nicht darauf ausgelegt, einen konstanten Zustrom von Löschwasser aus der Sprinkleranlage abzuführen
- Das durch die Verwendung von Löschschräuchen zusätzlich versprühte Wasser überstieg die Ablaufkapazität der Speigatten

Im vorläufigen panamaischen Untersuchungsbericht wird ein Abschnitt der rechnerischen Bestimmung der Kapazität der Speigatten gewidmet. Die durchgeführten Berechnungen ergaben, dass ein Schiff der Bauart der Al Salam Boccaccio 98 im Falle eines Ausfalls aller 13 Speigatten bei einem konstanten Wasserzustrom durch die Sprinkler innerhalb einer halben Stunde kentern kann. Die Zeit bis zum Kentern erhöht sich den Berechnungen zufolge außerdem nur geringfügig, wenn lediglich ein Teil der Speigatten funktionsfähig ist. Da vom Ausbruch des Brandes auf der Al Salam Boccaccio 98 bis zu ihrem Untergang über 4 Stunden vergingen, kann davon ausgegangen werden, dass die Speigatten wenigstens zu Beginn funktionsfähig waren. Aus Zeugenaussagen geht jedoch hervor, dass die Speigatten durch Plastiktüten und andere durch das Löschwasser fortgespülte Gegenstände verstopft wurden. Nach dem Unglück durchgeführte Tests auf einem Schwesterschiff führten zu der Beobachtung, dass auch unter idealen Bedingungen der Wasserstand auf dem Fahrzeugdeck innerhalb eines Zeitraums von etwa 10 Minuten bereits signifikant ansteigen kann /INV 06/, /DRE 08/. Durch Wasser auf einem nicht unterteilten Deck kann die Stabilität des Schiffes schnell erheblich reduziert werden („Free surface effect“).

Laut panamaischem Untersuchungsbericht war das Schiff zum Unglückszeitpunkt im Besitz aller erforderlichen Zertifikate. Die Feuerlöschsysteme sowie die Speigatten hätten demzufolge ordnungsgemäß funktionieren müssen. In einem Bericht des International Federation's Disaster Relief Emergency Fund wird unter Berufung auf die Ergebnisse des ägyptischen parlamentarischen Untersuchungsausschusses jedoch festgestellt, dass die Speigatten entgegen der Vorschriften nicht durch das Maritime Safety Board

inspiziert worden waren. Zudem seien die CO<sub>2</sub>-Feuerlöscher, die zusätzlich zur Sprinkleranlage installiert waren und zur Bekämpfung des Brandes hätten eingesetzt werden können, nicht funktionsfähig gewesen /INV 06/, /DRE 08/.

In weiteren Pressemeldungen wird berichtet, dass Sicherheitsstandards umgangen wurden bzw. von ägyptischen Institutionen Zertifikate und Erlaubnisse erteilt wurden, die internationalen Sicherheitsstandards widersprachen. So soll beispielsweise ein Mangel an Rettungswesten, funktionsfähigen Rettungsinseln und Winden zum Herablassen der Rettungsinseln bestanden haben. Auch war es dem Schiff von ägyptischer Seite erlaubt bis zu 2.890 Passagiere zu befördern, während es ursprünglich in Italien für 1.187 ausgelegt wurde. Die Aufstockung der Passagierzahl auf mehr als das Doppelte sowie die damit verbundenen Umbaumaßnahmen können sich negativ auf die Stabilität des Schiffs ausgewirkt und das Kentern begünstigt haben. Zudem ist bei einer höheren Passagierzahl mit Schwierigkeiten bei der Organisation einer etwaigen Evakuierung zu rechnen /WSW 06/,/DRE 08/.

#### **2.10.2.4 Maßnahmen zur Evakuierung und Rettung der Passagiere**

Während der gesamten viereinhalb Stunden, die zwischen Bemerkten des Brandes und Sinken der Fähre vergingen, wurden von Kapitän und Mannschaft keine Maßnahmen ergriffen oder Befehle erteilt, um zum Ausgangshafen zurückzukehren oder eine geordnete Evakuierung der Passagiere einzuleiten. Eine Umkehr sowie Maßnahmen zur Evakuierung der Passagiere hätten vielen Menschen das Leben retten können. Auf Vorschläge des dritten Offiziers, Schiffe in der Umgebung um Hilfe zu bitten und später das Schiff zu evakuieren, ging der Kapitän nicht ein. Der Fokus lag bis zuletzt darauf, die Krängung des Schiffes auszugleichen und den Brand zu bekämpfen, obwohl vorbereitende Maßnahmen zur Information und Evakuierung der Passagiere längst angebracht gewesen wären /INV 06/.

Zusätzlich zu den Versäumnissen an Bord der Fähre wurden auch von Seiten der Behörden an Land und Schiffen in der Nähe Entscheidungen getroffen, die der Rettung der Passagiere abträglich waren. Die Autoritäten im Zielhafen von Safaga waren seit etwa 01:30 Uhr von der Betreiberfirma El Salam Maritime Transport Co. über den Verlust des Funkkontaktes zu dem Unglücksschiff informiert worden. Rettungsmaßnahmen wurden jedoch erst etwa 10 Stunden später eingeleitet. Auch auf Maßnahmen der Schiffsverkehrsüberwachung (Vessel Traffic Service, VTS) in Safaga nach dem Verschwinden des Schiffes vom Radar gibt es keine Hinweise /INV 06/.

Der zweite Offizier der Al Salam Boccaccio 98, der sich mit anderen Überlebenden auf eine Rettungsinsel rettete, konnte per Funkgerät Kontakt zu dem sich in der Nähe befindenden Schwesterschiff Saint Catherine (ebenfalls in Panama registriert und vom selben Schifffahrtsunternehmen betrieben) aufnehmen und war zudem in der Lage, den Ort des Sinkens weiterzugeben. Der Kapitän der Saint Catherine hatte daraufhin den Büroleiter in Safaga informiert, der wiederum den Flottenmanager und den Operation Director über die Situation in Kenntnis setzte. Vom Operation Director gelangte die Information um etwa 07:00 Uhr Ortszeit zum Vizepräsidenten der El Salam Maritime Transport Co. Die Rettungsarbeiten begannen mit dem Abflug eines Flugzeuges aus Safaga um etwa 10:10 Uhr.

Das erste Schiff erreichte die Unglücksstelle um ca. 15:00 Uhr. Es ist anzumerken, dass die schlechten Wetterbedingungen sich verzögernd auf die Rettungsmaßnahmen auswirkten. Die Saint Catherine selbst befand sich zum Zeitpunkt der Kontaktaufnahme durch den zweiten Offizier der Al Salam Boccaccio 98 etwa 30 Seemeilen entfernt. Aufgrund der schlechten Wetterbedingungen und der hohen Zahl von Passagieren auf der Saint Catherine hatte ihr Kapitän allerdings die Befürchtung, dass sein Schiff ebenfalls in Seenot geraten könnte und entschied sich dafür, die Fahrt zum Zielhafen in Duba fortzusetzen. Danach nahm die Saint Catherine an den Rettungsmaßnahmen teil und traf etwa um 18:00 Uhr am Unglücksort ein /INV 06/. Die Entscheidung des Kapitäns der Saint Catherine deutet darauf hin, dass die Instabilität der umgebauten Fähren bekannt war.

Der Zweite Offizier der Al Salam Boccaccio 98 berichtete zudem, dass er kurz vor dem Sinken des Schiffs die Notfunkbake aktivieren konnte. Das Signal wurde kurz darauf um 23:58 Uhr UTC (entspricht 01:58 Uhr ägyptischer Zeit) von der Scotland Station Kindloss empfangen und über Frankreich an die USA weitergeleitet. Da das Signal keine Auskunft über die Position des Schiffes ausgab, wurde die Meldung von der zuständigen Behörde in den USA konsequenterweise an den Flaggenstaat Panama weitergegeben. Letztlich gelangte die Meldung über Algerien nach Ägypten. Um die ägyptische Leitstelle für Seerettung zu erreichen, mussten aus Algerien laut Untersuchungsbericht insgesamt 17 Nachrichten versendet werden. Auf die Ursache dafür wird im Bericht nicht weiter eingegangen, jedoch liegt die Annahme nahe, dass dies auf Versäumnisse in der ägyptischen Behörde zurückzuführen sein könnte. In jedem Fall trug die ineffiziente Kommunikation offenbar wesentlich zur Verzögerung der Rettungsmaßnahmen bei /INV 06/.

### **2.10.2.5 Zusammenfassung der organisatorischen Einflussfaktoren**

Anhand des Schiffsunglücks der Al Salam Boccaccio 98 können folgende organisatorische Einflussfaktoren identifiziert werden:

#### **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

- Trotz der sich rapide verschlechternden Situation an Bord hielt der Kapitän an der Fortsetzung der Fahrt Richtung Ägypten fest.

#### **Aufschieben von Entscheidungen**

- Obwohl sich die Lage an Bord durch den Brand und die zu dessen Bekämpfung eingeleiteten Löscharbeiten dramatisch zuspitzte, gab der Kapitän keinen Befehl zur Umkehr nach Duba oder zur Evakuierung der Passagiere.

#### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

- Obwohl die Fähre durch die ägyptische Schifffahrtsbehörde nicht vollständig inspiziert worden war und Sicherheitsmängel zu verzeichnen waren, war sie dennoch vollständig mit den erforderlichen Sicherheitszertifikaten ausgestattet worden.
- Da das Schiff unter panamaischer Flagge fuhr, waren panamaische Behörden dafür verantwortlich, eine jährliche Sicherheitsinspektion durchzuführen. Dies hatte nicht rechtzeitig stattgefunden, dennoch hatte dies keine Konsequenz für den Betrieb der Fähre.

#### **Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite**

- Die Schiffsbesatzung teilte weder Passagieren noch Schiffen in der Umgebung Informationen über die Notlage, die an Bord herrschte, mit. Kanalbezogene Kommunikationsdefizite.

#### **Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

- Langsame und ineffiziente Kommunikation der Institutionen an Land über viele Stationen, durch die die Hafenbehörde in Safaga und die ägyptische Rettungsleitstelle erst Stunden nach dem Untergang der Fähre Rettungsmaßnahmen einleiten konnten.

### **Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

Positive Ausprägung des Merkmals (nicht wirksam):

#### **Äußerung von Sicherheitsbedenken:**

- Besatzungsmitglieder äußerten dem Kapitän gegenüber Bedenken und Vorschläge, u. a. zur Kontaktaufnahme mit anderen Schiffen und der Einleitung der Evakuierung des Schiffes.

### **Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

- Der Kapitän ging auf Bedenken und Vorschläge seiner Crewmitglieder nicht ein.

### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

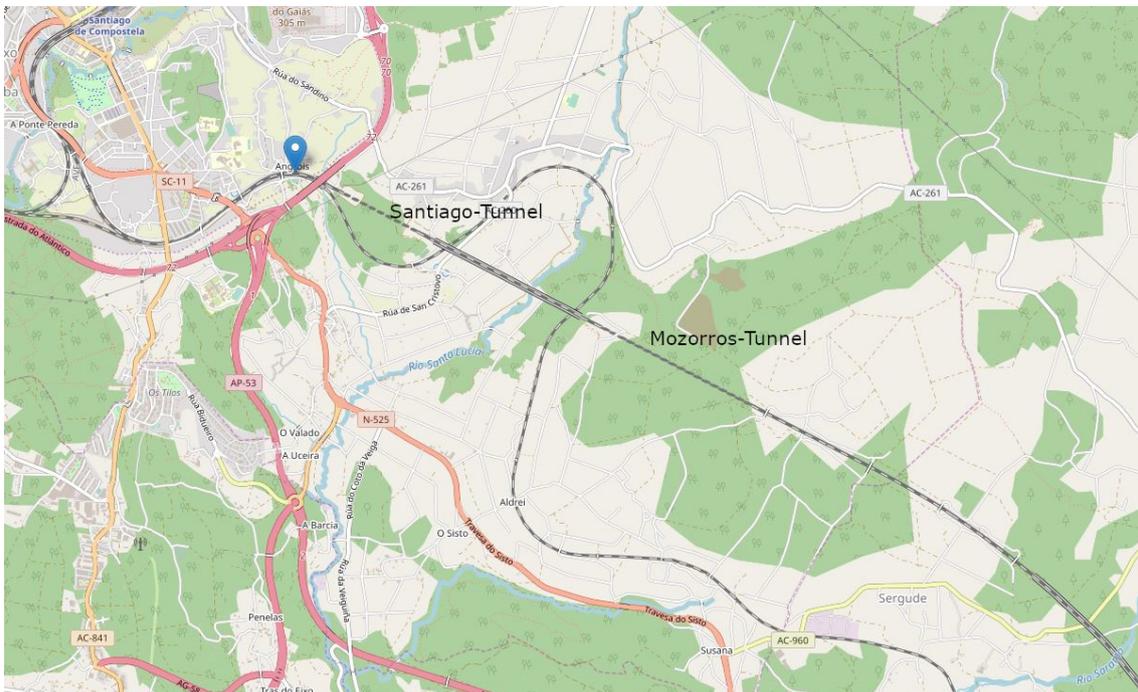
- Beim Umbau der Fähre wurde die Erhöhung der Aufnahmekapazität für Personen und Fahrzeuge priorisiert. Durch den Aufbau und die Erhöhung der Schiffsmasse wurde die Gesamtkonstruktion statisch instabiler.
- Obwohl er über den Brand an Bord der Fähre informiert worden war, gab der Besitzer des Schifffahrtsunternehmens den Befehl, den Fährbetrieb fortzusetzen und die Al Salam Boccaccio 98 auf Kurs Richtung Safaga zu halten.
- Der Kapitän entschied sich dagegen, den näher gelegenen Herkunftshafen anzu- steuern.
- Die RoRo-Fähre wies ungeteilte Decks auf, um das Be- und Entladen zu vereinfachen. Schon bei einem relativ niedrigen Wasserstand auf solchen Decks wird das Schiff instabil.

### **Unzureichende Fachkunde**

- Die Besatzung befolgte nicht die vorgesehenen Prozeduren zum Umgang mit einem Brand an Bord und agierte planlos.

## 2.11 Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013

Am 24.07.2013 entgleiste ein Hochgeschwindigkeitszug der spanischen Eisenbahngesellschaft Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE) der Baureihe 730 aufgrund wesentlich überhöhter Geschwindigkeit in Santiago de Compostela, Spanien, in einer engen Kurve kurz vor der Bahnhofseinfahrt. Sämtliche Antriebsfahrzeuge und Personenwagen entgleisten. Ein Personenwagen wurde fünf Meter aus dem Einschnitt, in dem sich die Strecke befindet, geschleudert. Eine der Generatoreinheiten mit Dieselmotor fing Feuer. In der Folge des Unfalls verstarben 80 Menschen am Unfallort, weitere 139 Insassen wurden teilweise schwer verletzt.



**Abb. 2.8** Karte der Unglücksstelle

Die Unglücksstelle (Markiert durch einen blauen Marker) liegt kurz hinter dem Übergang der Hochgeschwindigkeitsstrecke (gerade Trasse) nach dem Santiago-Tunnel auf die Trasse der konventionellen Strecke (geschwungene Trasse) in einer Linkskurve. Tunnel sind als gestrichelte Linien dargestellt. Quelle der Karte: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)



**Abb. 2.9** Foto der Unglücksstelle

Erkennbar ist, dass der Triebkopf (ganz links) entgleist, aber nicht vollständig umgefallen ist, während die sich dahinter befindlichen Wagen mit Dieselaggregat bzw. mit Passagierplätzen umgefallen sind. ©Contando Estrelas, Vigo, España ([https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Tragedia\\_en\\_Santiago\\_de\\_Compostela\\_\(c\).jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Tragedia_en_Santiago_de_Compostela_(c).jpg)). Das Bild wurde nicht verändert.



**Abb. 2.10** Foto der Unglücksstelle

Die hinteren Wagen sind umgestürzt und teilweise ineinander verkeilt. Der hintere Wagen mit Dieselaggregat wurde durch den hinteren Triebkopf zerstört und ist in Brand geraten. ©Xosema (<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Xosema>). Das Bild wurde nicht verändert.

### 2.11.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unglücks chronologisch dargestellt.

**Tab. 2.11** Chronologischer Ablauf des Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela am 24.07.2013 (Angaben in Lokalzeit MESZ)

Zeitangaben in Ortszeit MESZ=UTC+2

Zeit	Handlung/Ablauf
11:55 Uhr	Dienstbeginn des Lokführers in A Coruña.
14:42 Uhr – 16:46 Uhr	Der Lokführer führt einen Zug von Pontevedra nach Ourense
bis ca. 20:00 Uhr	Der Lokführer führt vorbereitende Arbeiten an einer Lok aus
ca. 20:00 Uhr	Der Lokführer übernimmt den Zug 01455 von Madrid nach Ferrol in Ourense
ca. 20:04 Uhr	Abfahrt des Zuges mit ca. 3 Minuten Verspätung.
kurze Zeit später	Der abgelöste Lokführer, der im Zug 01455 nach Hause fährt, behebt eine Störung einer Klimaanlage in einem Wagen.
	Der abgelöste Lokführer meldet dem Lokführer telefonisch auf dessen dienstlichem Mobiltelefon, dass die Störung behoben sei. Das Führen dienstlicher/sicherheitsrelevanter Gespräche ist auch für einzeln fahrende Lokführer während der Fahrt erlaubt.
20:39:06 Uhr	Der Zugführer ruft den Lokführer auf dem dienstlichen Mobiltelefon an, um ihn daran zu erinnern, dass dieser die lokale Verkehrsleitung bitten sollte, beim Halt in Pontedeume (für 22:15 Uhr vorgesehen) das Gleis am Bahnhofsgebäude zu benutzen, um einer Familie das Aussteigen zu erleichtern.
20:39:15 Uhr	Der Lokführer nimmt das Gespräch an. Die Fahrtgeschwindigkeit ist 199 km/h.
20:39:52 Uhr	Akustische Meldung durch eine Balise <sup>2</sup> , die sich am Südportal des 1.158 m langen Mozorros-Tunnels bei Kilometer 80,33 befindet und übermittelt, dass das nächste Hauptsignal bei Kilometer 84,1 „Freie Fahrt“ zeigt. Laut Fahrplan sollte der Lokführer hier beginnen, stark abzubremesen, um am Ende der Neubau-strecke die dann zulässigen 80 km/h zu erreichen.
20:40:55 Uhr	Ende des Telefongesprächs. Der Zug hat während des 100-sekündigen Gesprächs etwa 5,5 km zurückgelegt. Die Geschwindigkeit beträgt 195 km/h.

<sup>2</sup> Als Balise wird eine technische Einrichtung im Eisenbahngleis bezeichnet, die Informationen an Schienenfahrzeuge übertragen kann, die den Ort der Balise passieren. Diese können z. B. die zulässige Geschwindigkeit, die Stellung eines Signals oder den Ort selbst betreffen.

Zeit	Handlung/Ablauf
20:40:59 Uhr	Akustische Meldung durch eine Balise, die sich im 635 m langen Santiago-Tunnel befindet. Hierdurch wird der Lokführer darauf aufmerksam, wo er sich befindet, und dass seine Geschwindigkeit viel zu hoch ist.
	Der Lokführer betätigt die elektromagnetische Bremse.
	Der Zug erreicht das Ende der Neubaustrecke, die für 350 km/h ausgelegt ist. Die folgende Kurve der konventionellen Strecke ist für 80 km/h ausgelegt. Der Zug hat noch eine Geschwindigkeit von 179 km/h.
	Der erste Wagen des Zuges, der ein Dieselaggregat enthält, entgleist.
20:41:10 Uhr	Der Lokführer betätigt die Notbremse. Der Zug hat eine Geschwindigkeit von 153 km/h.
	Alle Wagen entgleisen.
20:41:16 Uhr	Der Zug kommt zum Stehen.

### 2.11.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren

Ursache des Unglücks war die weit überhöhte Geschwindigkeit des Zuges in der Kurve. Diese hatte mehrere Ursachen. Erstens hat der Lokführer es versäumt, den Zug wie nach Fahrplan vorgesehen abzubremsen. Während der Untersuchungen gab der Lokführer an, dass er desorientiert über den Ort, an dem sich der Zug befindet, gewesen sei und die beiden Tunnel verwechselt habe. Als er seinen Irrtum bemerkte, war es für eine rechtzeitige Bremsung zu spät. Hierzu hat wesentlich beigetragen, dass er mit dem Zugführer ein längeres Gespräch auf dem Diensthandy geführt hat. Es ist aus Untersuchungen insbesondere in Bezug auf den Straßenverkehr bekannt, dass Telefonieren die Konzentration und die Reaktionsfähigkeit eines Fahrzeugführers erheblich negativ beeinflussen kann. In besonderem Maße gilt dies, wenn keine Fernsprecheinrichtung verwendet wird. Trotzdem war das Telefonieren mit Handy während der Fahrt vom Betreiber Renfe Operadora für die Kommunikation zwischen Lokführer und Zugführer vorgesehen. Der Untersuchungsbericht /FOM 14/ bestätigt, dass es keine bindenden Regeln der Eisenbahngesellschaft hierzu gibt. Es existieren allerdings ein Leitfaden und Empfehlungen zur Nutzung des Mobiltelefons an Bord des fahrenden Zuges, in denen auf das Ablenkungspotential eingegangen wird, das Telefonate während der Fahrt mit sich bringen. Es wird empfohlen, die Nutzung des Mobiltelefons auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren und sich vor Beginn des Telefonats zu versichern, dass dadurch keine Risiken entstehen. Telefonate sollen bei Notfällen und zum Abwenden von

Schäden oder Funktionsstörungen dienen. Die limitierte Ressource „Aufmerksamkeit“ soll nicht zugunsten von Aufgaben genutzt werden, die keine unmittelbare Dringlichkeit haben. Die Empfehlungen haben jedoch keinen verpflichtenden Charakter und scheinen auch keine weiteren Angaben zur erlaubten Dauer eines Telefonats o. ä. zu enthalten. Lokführer und Schaffner haben zwar nicht gegen eine konkrete verpflichtende Regel verstoßen; sie haben sich allerdings eindeutig nicht den Empfehlungen entsprechend verhalten. Insbesondere die relativ zum kommunizierten Inhalt sehr lange Gesprächsdauer von 100 s deutet darauf hin, dass das Gespräch nicht auf ein Minimum beschränkt wurde. Weiterhin hätte der Inhalt auch während eines anderen Zeitpunktes, zu dem keine hohe Aufmerksamkeit des Lokführers erforderlich war, kommuniziert werden können. Die vorhandenen Informationen legen nahe, dass auch allgemein die betriebliche Praxis den Empfehlungen nicht entspricht.

Zum menschlichen Versagen beim Abbremsen trug auch bei, dass die Abbremsung vor dem Übergang auf die konventionelle Trasse relativ schnell erfolgen muss. Es sind nur relativ geringe Sicherheitsreserven bei kurzfristiger Unachtsamkeit des Lokführers vorhanden.

Zweite Ursache war die technische Ausrüstung der Strecke. Hier waren keinerlei technische Maßnahmen vorhanden, die das Abbremsen des Zuges überwachten – weder Warnungen noch eine automatische Abbremsung des Zuges. Nach dem Unglück wurde eine technische Überwachung der Abbremsung an der Unglücksstelle innerhalb von 8 Tagen installiert.

Die Hochgeschwindigkeitsstrecke ist teilweise mit dem modernen Zugbeeinflussungssystem „European Train Control System“ (ETCS) ausgestattet. Die Ausrüstung endet jedoch vor dem Übergang auf die konventionelle Trasse. Sie ist nur dort vorhanden, wo sie erforderlich ist, um mit einer hohen Geschwindigkeit fahren zu können. Eine Überwachung der notwendigen Geschwindigkeitsreduktion auf 80 km/h war nicht vorgesehen. Ursprünglich war eine Ausrüstung der gesamten Strecke mit ETCS geplant gewesen, so dass auch die Geschwindigkeitsreduktion am Ende überwacht worden wäre. Die Planung wurde dann aber – wie auch bei anderen Hochgeschwindigkeitsstrecken – geändert /TAB 14/.

Bei in Betrieb befindlichem ETCS wird vor dem Ende der mit ETCS überwachten Strecke eine Warnmeldung ausgegeben, die der Lokführer quittieren muss. Auf diese Weise wird er indirekt auf die notwendige Geschwindigkeitsreduktion hingewiesen. Wegen

Kompatibilitätsproblemen war dieses System seit dem 23.12.2012 für Züge der Baureihe 730 abgeschaltet. Auf den mit ETCS ausgerüsteten Strecken gibt es keine konsistente, bei hoher Geschwindigkeit nachweisbar lesbare Beschilderung mit gültigen und zu erwartenden Geschwindigkeitsbeschränkungen – im Gegensatz zu älteren Hochgeschwindigkeitsstrecken. Zwei Wochen vor dem Unglück hatte ein anderer Lokführer Sicherheitsbedenken bezüglich der fehlenden Beschilderung vor der Kurve geäußert /PUE 14/.

Zu der Entscheidung des Infrastrukturbetreibers ADIF, die Abbremsung des Zuges nicht technisch zu überwachen, hatten Kostensparmaßnahmen beigetragen /BEN 13/.

Ein weiterer Faktor, der die Unfallfolgen beeinflusste, ist die spezielle Konstruktion der Züge der Baureihe 730. Diese Hochgeschwindigkeitszüge wurden eingeführt, um auch vor Fertigstellung der Hochgeschwindigkeitsstrecken direkten Verkehr mit Hochgeschwindigkeitszügen auf nicht elektrifizierten Strecken anbieten zu können /EUR 09/. Sie besitzen anders als die Züge der Baureihe 130, aus denen sie für je 5,2 Millionen Euro umgebaut wurden, zwei so genannte technische Endwagen. Diese beherbergen je eine Dieselmotor-Generator-Einheit und Dieselkraftstoff. Diese Wagen haben wegen des hohen Gewichtes eine andere Konstruktion als die entsprechenden Wagen der Baureihe 130 und weisen ungünstigere fahrdynamische Eigenschaften und einen wesentlich höheren Schwerpunkt auf. Außerdem wiesen diese Wagen gegenüber den Anforderungen der RENFE und der Planung ein höheres Gesamtgewicht auf. Dies wurde aber akzeptiert, da weder die Achslast der vorgesehenen Strecken noch die für einen Schnellverkehr unter 250 km/h zulässige Achslast überschritten wurde /GON 15/. Im Unfallverlauf sind diese Wagen als erstes entgleist und umgefallen – aufgrund der Kopplung der Wagen bei Zügen dieser Bauart (Talگو) wurde dadurch das Umfallen weiterer Wagen eingeleitet. Durch ausgelaufenen Dieselkraftstoff entstand ein Brand. Es wird vermutet, dass es ohne die Modifikation nicht zu einem Umstürzen der Wagen gekommen wäre und die Folgen der Geschwindigkeitsüberschreitung geringer ausgefallen wären /BEN 13/. Gesicherte Erkenntnisse hierzu liegen allerdings nicht vor.

Laut einem Zeitungsbericht hat ein anderer Lokführer behauptet, dass es an dieser Stelle schon bei einer Probefahrt zu einer erheblichen Geschwindigkeitsüberschreitung (150 km/h) gekommen sei, die jedoch nicht zu einem Unfall geführt hat. Es soll sich um den Zug ohne Dieselantrieb (somit Baureihe 130) gehandelt haben /PON 13/.

Eine weitere Information betrifft die vorgesehene Dienstzeit, des Lokführers, die 11 h 35 min betragen sollte /BEN 13/. Dies war zwar selbst nicht relevant für den Unfall, der nach 8 h 45 min erfolgte, ist aber aussagekräftig für die Arbeitsbelastungen der Lokführer.

### **2.11.2.1 Zusammenfassung der organisatorischen Einflussfaktoren**

Bei dem Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013 können folgende relevante organisationale Einflussfaktoren identifiziert werden:

#### **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

- Die Signaltechnik war (wie auch auf anderen spanischen Hochgeschwindigkeitsstrecken) so ausgelegt, dass keine automatische Abbremsung erfolgt, wenn der Lokführer es versäumt, abzubremsen. Lediglich eine Totmanneinrichtung war vorhanden.

#### **Duldung von Nichtkonformitäten**

- Die Empfehlungen des Betreibers zur Beschränkung des Telefonierens wurden in der betrieblichen Praxis nicht vollständig umgesetzt.

#### **Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven**

- Zu diesem Unglück trugen (neben dem wesentlichen Grund der nicht vorhandenen technischen Überwachung der Geschwindigkeit) verschiedene Einzelfaktoren bei, die in Summe das Versagen des Lokführers wesentlich begünstigten, wie
  - geringe mögliche Fehlertoleranz; der Fahrplan sieht ein scharfes Abbremsen am Ende der Schnellfahrstrecke vor.
  - keine konsistente Beschilderung der zulässigen Geschwindigkeit und der zu erwartenden Geschwindigkeitsbeschränkungen auf mit ETCS ausgerüsteten Strecken.

- Nichtverfügbarkeit von ETCS, daher keine Warnmeldung vor Ende des Hochgeschwindigkeitsabschnittes
- zulässige zusätzliche Belastung des Lokführers durch gleichzeitiges Telefonieren, keine konsistente Umsetzung der Empfehlungen zum Beschränken des Telefonierens
- generell mögliche hohe Belastung der Lokführer durch lange Arbeitszeiten

### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Die Strecke war so ausgelegt, dass ETCS nur auf Abschnitten vorhanden ist, wo es erforderlich ist, um eine hohe Geschwindigkeit realisieren zu können. Das notwendige Abbremsen des Zuges am Ende der Hochgeschwindigkeitsabschnitte wurde nicht technisch überwacht. Hierzu trugen Kostenerwägungen bei.
- Der Zug wies durch eine Modifikation geringere Sicherheitsreserven als zuvor auf. Durch ein gegenüber der Planung erhöhtes Gewicht der Wagen mit Dieselgeneratoren wurden diese Reserven noch zusätzlich verringert. Ursache der Modifikation war der politische Wille, vor der Fertigstellung von Hochgeschwindigkeitsstrecken und ohne die sehr teure Elektrifizierung vorhandener Strecken Verkehr mit Hochgeschwindigkeitszügen zu bestimmten Zielen aufzunehmen.

### **Keine ständige Verbesserung**

- Dem Betreiber waren Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit bekannt. Diese wurden nicht implementiert.
- Der Aufsichtsbehörde waren Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit bekannt. Das Regelwerk wurde nicht entsprechend weiterentwickelt.

### **Unzureichende Anforderungen**

- Es gab keine Anforderungen, dass technische Sicherheitseinrichtungen vorzusehen sind, die ein Abbremsen des Zuges auf die erforderliche Geschwindigkeit sicherstellen.
- Es gab keine verpflichtenden Anforderungen an die Nutzung des Mobiltelefons während der Fahrt.

### **Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten**

- Zulässige zusätzliche Belastung des Lokführers durch gleichzeitiges Telefonieren, keine konsistente Umsetzung der Empfehlungen zum Beschränken des Telefonierens.
- Keine konsistente Beschilderung der zulässigen und zu erwartenden Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Strecken, die mit ETCS ausgerüstet sind.

### **Unzureichender Erfahrungsrückfluss**

- Auf ein Precursor-Ereignis wurde nicht adäquat reagiert (Vorbehaltlich, dass die Informationen aus /PON 13/ zutreffend sind.)

## **2.12 Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014**

Bei dem Unglück der Fähre Sewol, das sich am 16. April 2014 ereignete, handelt es sich um eines der schwersten Schiffsunglücke der letzten Jahrzehnte in Südkorea. Die 1994 unter dem Namen Naminoue in Japan gebaute RoRo-Fähre konnte sowohl Passagiere als auch Fahrzeuge transportieren und war nach 18 Jahren unfallfreien Betriebes von der koreanischen Chonghaejin Marine Company (CMC) gekauft und in Sewol-Ho umbenannt worden. Nach dem Kauf wurden durch die CMC umfassende bauliche Veränderungen an der Sewol-Ho vorgenommen, bei denen zusätzliche Kabinen auf dem dritten, vierten und fünften Deck angebracht wurden, die insgesamt 117 zusätzlichen Passagieren Platz bieten sollten. Durch die baulichen Modifikationen stieg das Gewicht der Fähre um 239 Tonnen, wodurch die erlaubte Ladungsmenge auf etwa 987 Tonnen halbiert wurde und mit 1.703 Tonnen Ballastwasser etwa das viereinhalbfache der ursprünglichen Menge zur Stabilisierung in Ballasttanks mitgeführt werden musste. Nach den Umbauarbeiten wurde die Sewol-Ho einem fünfmonatigen behördlichen Testprogramm unterzogen, nach dessen Abschluss der CMC die Lizenz zur kommerziellen Nutzung der Fähre erteilt wurde /KWO 16/.

Die Sewol-Ho begann ihren Betrieb für die CMC am 15.03.2013 und pendelte wöchentlich dreimal zwischen Incheon und der Insel Jeju. Die Strecke zwischen Incheon und Jeju beträgt ca. 250 Seemeilen (entspricht etwa 463 Kilometern), die die Sewol-Ho in 13:30 Stunden zurücklegte. Bis zu dem Unglück am 16.04.2014 hatte die Fähre die Strecke 241-mal zurückgelegt. Ihre letzte Fahrt nahm die Sewol-Ho am 15.04.2014 um etwa 21:00 Uhr auf, nachdem sich die Abfahrt aufgrund von dichtem Nebel um zweieinhalb

Stunden verzögert hatte. Bei der Unglücksfahrt befanden sich an Bord 476 Passagiere (921 Passagiere erlaubt), 761 Tonnen Ballastwasser (1.703 Tonnen gefordert), 124 PKW, 56 LKW und 1.157 Tonnen Ladung (987 Tonnen Ladung insgesamt erlaubt). Da der eigentlich vorgesehene Kapitän nicht verfügbar war, wurde er von einem Kollegen mit über 40 Jahren Erfahrung auf See vertreten /KWO 16/.

### 2.12.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden werden die wesentlichen Ereignisse im Verlauf der letzten Fahrt der Sewol-Ho und ihres Kenterns am 16.04.2014 tabellarisch aufgelistet.

**Tab. 2.12** Chronologischer Ablauf des Unglücks der Sewol-Ho

Zeitangaben in Ortszeit MESZ=UTC+9

Zeit	Handlung/Ablauf
15.04.2014, 18:30 Uhr	Vor Incheon auf dem koreanischen Festland herrscht starker Nebel, weshalb sich die Abfahrt der Sewol-Ho um zweieinhalb Stunden verzögert.
Ca. 21:00 Uhr	Die Sewol-Ho verlässt den Hafen von Incheon. An Bord befinden sich 476 Menschen, davon 34 Besatzungsmitglieder. Bei einer großen Zahl von Passagieren an Bord handelt es sich um Schulkinder.
16.04.2014, morgens	Die vorherrschenden Wetterbedingungen im Unglücksgebiet: Wind von Südwesten mit Geschwindigkeiten zwischen 2 und 3 Knoten. Wellengang zwischen 1 und 2 Fuß. Lufttemperatur 15 °C, Wassertemperatur 12 °C.
07:30 Uhr	Die Dritte Offizierin Han-Gyeol Park tritt ihre vierstündige Schicht auf der Brücke an. Park hat bereits fünf Monate lang Erfahrung auf der Sewol-Ho gesammelt, den Maenggol-Kanal allerdings noch nie von Incheon kommend in Richtung Jeju Island durchfahren. Der zu diesem Zeitpunkt diensthabende Steuermann, Joon-Ki Cho, weist zum Unglückszeitpunkt sechsmonatige Erfahrung auf der Sewol-Ho auf.
08:08 Uhr	Der Kapitän verlässt die Brücke und bleibt dieser die folgenden 30 Minuten fern (Anmerkung: es ist nicht vorgeschrieben, dass der Kapitän durchgehend auf der Brücke anwesend sein muss).
08:37 Uhr – 08:41 Uhr	Der Kapitän kehrt kurzzeitig auf die Brücke zurück, verlässt diese aber wieder.

Zeit	Handlung/Ablauf
08:48 Uhr	Die Sewol-Ho fährt mit einer Geschwindigkeit von 18 Knoten in den Maenggol-Kanal ein, der für seine starken Unterwasserströmungen bekannt ist. Der Kanal hat eine Länge von 3,7 Meilen und eine Breite von 2,8 Meilen. Zur gleichen Zeit wird in der Cafeteria des Schiffs das Frühstück serviert, die meisten Passagiere bleiben jedoch in ihren Kabinen.
08:48 Uhr	Der Dritte Offizier gibt dem Steuermann zwei Befehle zur Kursänderung der Fähre: Zunächst soll das Schiff von 135 auf 140 Grad gedreht werden, dann weiter auf 145 Grad. Aufgrund der starken Unterwasserströmungen im Maenggol-Kanal darf die Sewol-Ho Kursänderungen nur bis maximal 5 Grad ausführen, da ihre Rückstellkraft bekanntermaßen gering ist. Der Steuermann führt die erste Kursänderung um 5 Grad nach Steuerbord aus. Bei der Ausführung der zweiten Kursänderung unterläuft ihm offenbar ein Fehler, sodass der Kurs auf 155 Grad eingestellt wird. Dadurch macht die Fähre schlagartig eine 10-Grad-Drehung und verliert das Gleichgewicht.
08:49 Uhr	Die Sewol-Ho gerät in eine 20-Grad-Schiefelage nach Backbord, wodurch ein Teil der Ladung auf die Backbordseite fällt und das Schiff weiter destabilisiert.
08:49 Uhr	Die Fähre neigt sich weiter bis auf 45 Grad nach Backbord und rotiert für ca. 20 Sekunden um 22 Grad auf der Stelle. Aufgrund der Krängung dringt Wasser durch Bug- und Hecktore der RoRo-Fähre ein.
08:50 Uhr	Die Sewol-Ho hat jetzt eine Krängung von 30 Grad nach Backbord. Der leitende Ingenieur stoppt auf eigene Entscheidung die Maschinen. Der Kapitän kehrt zur Brücke zurück und befiehlt dem zweiten Offizier, die Ballastwasserpumpen in Betrieb zu nehmen und das Schiff wiederaufzurichten. Die Pumpen funktionieren allerdings nicht.
08:52 Uhr	Der leitende Ingenieur ordnet die Evakuierung des Maschinenraums an.
08:52 Uhr	Ein Passagier setzt den ersten Notruf an die Notrufnummer 119 (Korea National Emergency Service Call Number) ab und berichtet, dass die Sewol-Ho kentert. Um 08:54 Uhr wird er mit der Gruppe Mokpo der koreanischen Küstenwache (Republic of Korea Coast Guard, ROKCG) verbunden.
08:52 Uhr	Am Serviceschalter wird damit begonnen, die Passagiere per Durchsage zum Verbleiben in ihren Kabinen aufzufordern. Die Entscheidung hierzu wurde von einem Kommunikationsoffizier selbstständig getroffen, ohne das Operation Management Regulations Document zu konsultieren oder die Zustimmung des Kapitäns einzuholen. Die Durchsagen werden fortgesetzt, bis um 09:52 Uhr Wasser in die Kabinen einzudringen beginnt.

Zeit	Handlung/Ablauf
08:54 Uhr	<p>Nachdem alle Steuermänner und Offiziere zur Brücke gekommen sind, befiehlt der Kapitän dem leitenden Ingenieur, in den Maschinenraum zurückzukehren, gibt jedoch keine konkreten Anweisungen, was dort zu tun sei. Aufgrund der Krängung des Schiffes gelangt der leitende Ingenieur nicht bis in den Maschinenraum, sondern bleibt mit seinen Ingenieuren im Kabinenbereich auf dem 3. Deck.</p> <p>Vom Serviceschalter werden die Passagiere per Durchsage dazu aufgefordert, ihre Rettungswesten anzulegen und in ihren Kabinen auf weitere Instruktionen zu warten. Dieser Durchsage folgen auch die Ingenieure in der Annahme, die Durchsage sei von der Brücke aus getätigt worden.</p>
08:55 Uhr	<p>Der Erste Offizier der Sewol-Ho setzt per Funk einen ersten Notruf an die Station Jeju-VTS ab und berichtet, dass die Fähre sich in Gefahr befindet und kentert. Er ging zu diesem Zeitpunkt davon aus, dass sich die Sewol-Ho bereits in der Nähe von Jeju Island befand, durch die zweieinhalbstündige Verspätung bei der Abfahrt befand sie sich aber tatsächlich in der Nähe der Insel Jindo.</p> <p>Von Jeju-VTS wird der Besatzung geraten, die Passagiere zum Anlegen von Rettungswesten und zusätzlicher Kleidung (wegen der niedrigen Wassertemperatur) aufzufordern.</p>
08:57 Uhr	<p>Der zweite Offizier versucht von der Brücke aus eine Lautsprecherdurchsage per Mikrofon durchzuführen. Er betätigt jedoch den falschen Knopf am Mikrofon, weshalb es ihm nicht gelingt, die Durchsage zu machen. Von diesem Moment an geht die Besatzung auf der Brücke, inklusive des Kapitäns, davon aus, dass die Sendeanlage defekt ist und benutzt diese nicht weiter. Die Kommunikation mit den Besatzungsmitgliedern am Serviceschalter findet nur per Walkie-Talkie statt. Weitere auf der Brücke befindliche Alarm- und Durchsagesysteme werden nicht genutzt.</p>
08:57 Uhr	<p>Vom Kontrollzentrum der Gruppe Mokpo wird das Patrouillenschiff 123, welches sich der Sewol-Ho am nächsten befindet, zum Unglücksort beordert. Zusätzlich werden die drei Helikopter B511, B512 und B513 zur Fähre geschickt.</p>
08:58 Uhr	<p>Die Station Jeju-VTS nimmt Kontakt mit der Küstenwache auf Jeju Island auf, welche wiederum die Gruppe Mokpo kontaktiert. Dabei erfährt die Gruppe der Küstenwache auf Jeju Island, dass Patrouillenschiff 123 sich bereits auf dem Weg zur Sewol-Ho befindet.</p>

Zeit	Handlung/Ablauf
08:58 Uhr	<p>Als sich das Patrouillenschiff 123 der Fähre nähert, versucht die Besatzung zweimal erfolglos, Kontakt mit der Crew der Sewol-Ho aufzunehmen.</p> <p>Daraufhin konzentriert sich die Besatzung darauf, die Rettungsmaßnahmen mit anderen umliegenden Schiffen zu koordinieren. Aufgrund dessen findet kein Funkkontakt mit der Sewol-Ho oder den drei Helikoptern statt. Da das Patrouillenschiff 123 zudem die primäre Mission hat, Menschen aus dem Wasser zu retten, konzentriert sich die Besatzung auf eine Routinerettungsoperation, ohne andere mögliche Szenarien zu diskutieren.</p>
09:04 Uhr	<p>Der Kommunikationsoffizier am Serviceschalter der Sewol-Ho sendet einen Notruf an 122 (Korea National Maritime Distress Service Call Number) und informiert die Gruppe Mokpo über die Anweisung an die Passagiere, in ihren Kabinen zu bleiben. Die Gruppe Mokpo bestätigt ihm dies, gibt die Information aber nicht an andere Einheiten der Küstenwache weiter.</p>
09:06 Uhr	<p>Die Station Jindo-VTS, die sich der Sewol-Ho am nächsten befindet, erfährt durch eine Durchsage der Gruppe Mokpo über das Kentern der Sewol-Ho. Mitarbeitern auf der Station, die Daten des Auto Identification System der Fähre überwachten, war bis dahin deren ungewöhnliche Drehung nicht aufgefallen.</p>
09:07 Uhr	<p>Der Erste Offizier der Sewol-Ho berichtet der Station Jindo-VTS, dass die Fähre kentert und Lautsprecherdurchsagen nicht möglich sind, und bittet um Hilfe. Jindo-VTS alarmiert zwei in der Nähe befindliche Schiffe, von denen eines (DOOLA ACE) Sichtkontakt mit der Sewol-Ho bestätigt.</p>
09:14 Uhr	<p>Einer der Steuerleute der Sewol-Ho informiert Jindo-VTS, dass die Passagiere sich wegen der Krängung der Fähre nicht bewegen können und eine Evakuierung deshalb nicht möglich ist. Währenddessen begeben sich zwei weitere Steuerleute den Vorschriften entsprechend, aber ohne Absprache mit dem Kapitän oder dem Ersten Offizier nach Steuerbord, um dort Rettungsinseln zu Wasser zu lassen. Auch dies stellt sich aufgrund der Krängung von 40 Grad als nicht möglich heraus.</p>
09:16 Uhr	<p>Der Kapitän von Patrouillenschiff 123 wird vom Kontrollzentrum zum Befehlshabenden vor Ort (On-Scene-Commander) ernannt.</p>
09:17 Uhr	<p>Patrouillenschiff 123 teilt dem Kontrollzentrum mit, dass keine Antwort auf Kontaktversuche mit der Fähre erhalten wurde.</p>
09:17 Uhr	<p>Der Erste Offizier der Sewol-Ho ruft das Büro der CMC in Incheon an und berichtet vom Kentern der Fähre. Innerhalb der nächsten 35 Minuten führt er 5 Telefongespräche mit dem Büro in Incheon.</p>

Zeit	Handlung/Ablauf
09:21 Uhr	<p>Ein Auszubildender zum Ersten Offizier wechselt eigenständig den Kommunikationskanal auf der Brücke und nimmt Kontakt mit Jindo-VTS auf, um zu berichten, dass das Schiff eine Krängung von über 50 Grad aufweist. Jindo-VTS teilt ihm mit, dass das Patrouillenschiff 123 in 15 Minuten eintreffen werde und den Passagieren per öffentlicher Durchsage mitzuteilen sei, Rettungswesten anzulegen.</p> <p>Als der Zweite Offizier Jindo-VTS mitteilt, dass Durchsagen aufgrund des (vermeintlichen) Defekts der Anlage nicht möglich sind, wird er angewiesen, die Passagiere persönlich zu informieren. Diesem Befehl kommt er jedoch nicht nach.</p>
09:25 Uhr	<p>Die Gruppe Mokpo gibt per Telekommunikation durch, dass sich 450 Passagiere an Bord der Sewol-Ho befinden und diese eine Krängung von 50 Grad nach Backbord hat. Diese Information erreichte die Helikopter nicht, da diese den Kanal, auf dem die Nachricht gesendet wurde, nicht hörten.</p>
09:27 Uhr	<p>Der Kapitän der Sewol-Ho gibt das Kommando zur Evakuierung. Über Walkie-Talkie werden die Besatzungsmitglieder am Serviceschalter durch den Zweiten Offizier aufgefordert, die Passagiere per Durchsage zu informieren. Er vergewissert sich jedoch nicht, ob seine Aufforderung gehört oder umgesetzt wird. Spätere Zeugenaussagen von Überlebenden deuten darauf hin, dass sie weiterhin aufgefordert wurden, in ihren Kabinen zu bleiben.</p>
09:26 Uhr / 09:28 Uhr	<p>Zweiter Offizier und Steuermann versuchen jeweils, das Patrouillenschiff 123 zu kontaktieren, erhalten jedoch keine Antwort.</p>
09:27 Uhr	<p>Patrouillenschiff 123 und Helikopter B511 erreichen die Sewol-Ho, ohne über eindeutige Informationen über die Zahl der Passagiere und Möglichkeiten, diese zu retten, zu verfügen. Zwei Retter werden vom Helikopter auf das fünfte Deck herabgelassen, von wo sie einige wenige Passagiere retten. Über die Vielzahl an Passagieren, die in ihren Kabinen verharren, weiß die Helikopterbesatzung nichts.</p>
09:30 Uhr	<p>Das Patrouillenschiff 123 erreicht die Fähre und berichtet an das Hauptquartier der Küstenwache, dass keine Passagiere auf den Decks oder im Wasser zu sehen sind. Da die Besatzung der Sewol-Ho über einen anderen Funkkanal kommuniziert hatte als die des Patrouillenschiffs, ist dessen Besatzung die Problematik an Bord der Sewol-Ho nicht bekannt.</p>
09:32 Uhr / 09:45 Uhr	<p>Die beiden Helikopter B513 und B512 erreichen die Sewol-Ho und retten ebenfalls nur einige Passagiere von den Decks.</p>
09:33 Uhr	<p>Jindo-VTS fordert umliegende Schiffe und Fischerboote, die sich als Helfer gemeldet haben, Rettungsinseln zu Wasser zu lassen.</p>
09:37 Uhr	<p>Der Zweite Offizier informiert Jindo-VTS darüber, dass das Schiff nun eine Krängung von 60 - 70 Grad nach Backbord aufweist und die Passagiere aufgefordert wurden, sich zwecks Evakuierung zur Backbordseite zu begeben. Danach bricht der Funkkontakt zur Sewol-Ho ab.</p>

<b>Zeit</b>	<b>Handlung/Ablauf</b>
09:38 Uhr	Der Kapitän des Patrouillenschiffs 123 begibt sich mit einem Schlauchboot zur Fähre und rettet die Schiffsingenieure einschließlich des leitenden Ingenieurs vom dritten Deck. Ein weiteres Besatzungsmitglied der Küstenwache geht an Bord der Fähre und lässt zwei Rettungsinseln zu Wasser. Danach verlässt er die Fähre wieder, ohne Kontakt zu den weiterhin an Bord befindlichen Passagieren aufzunehmen.
09:44 Uhr	Das Patrouillenschiff 123 rettet alle auf der Brücke befindlichen Besatzungsmitglieder sowie den Ersten Offizier und einen Steuermann, die versucht haben, Rettungsinseln zu Wasser zu lassen, und aufgrund der Krängung zur Brückennock (nicht überdachter Teil der Brücke) gerutscht sind.
09:47 Uhr	Die Mitglieder des Patrouillenschiffs 123 bekommen vom Bezirk West der Küstenwache die Anweisung, die Fähre zu betreten. Ein Mitglied begibt sich zur Brücke, findet dort jedoch niemanden vor und begibt sich daraufhin zurück zum Patrouillenschiff.
09:50 Uhr	Das dritte Deck wird überflutet.
09:52 Uhr	Das vierte Deck wird überflutet, der Strom an Bord fällt aus.
09:53 Uhr	Der Serviceschalter mitsamt der Sendeanlage für Durchsagen wird überflutet. Der Kommunikationsoffizier beginnt, die Passagiere durch Rufe zur Evakuierung zu bewegen, woraufhin diese sich zur Backbordseite begeben und von Bord springen. Einige Besatzungsmitglieder vom Serviceschalter sowie Lehrer und andere erwachsene Passagiere helfen Schülern, aus ihren von der Überflutung bedrohten Kabinen zu entkommen.
09:56 Uhr	Von der Gruppe Mokpo erhält das Patrouillenschiff 123 die Order, die Evakuierung der Fähre per Megafon zu verkünden und die Passagiere vom Schiff zu holen. Der Befehl wird nicht ausgeführt.
10:10 Uhr	Die Krängung beträgt nun 77 Grad und das fünfte Deck wird überflutet.
10:12 Uhr	Alle Ausgänge auf der Backbordseite der Fähre sind überflutet.
10:17 Uhr	Die Krängung der Fähre beträgt 107 Grad nach Backbord. Innerhalb der vergangenen 20 Minuten sind etwa 150 bis 160 Passagiere ins Wasser gesprungen.
11:18 Uhr	Bug und Heck der Fähre sind überflutet, womit nun ein Teil der Schiffshülle von etwa 2 Metern Höhe und 30 Metern Länge aus dem Wasser herausragt. Das vollständige Kentern der Sewol-Ho hat somit etwa zweieinhalb Stunden gedauert.
Zeit bis zum 30.04.2014	Umfangreiche und zeitaufwändige Bergungsmaßnahmen finden statt. Bis zum 30.04. sind 212 Leichen aus dem Wrack oder der Umgebung geborgen, 92 Menschen gelten weiterhin als vermisst /NTV 14/.
23.03.2017	Die Sewol-Ho wird knapp 3 Jahre nach ihrem Kentern wieder an die Wasseroberfläche gehoben. Zu diesem Zeitpunkt sind 295 Leichen geborgen, 9 Personen werden weiterhin vermisst. Bei den Rettungsarbeiten waren zudem zwei Taucher ums Leben gekommen /CNN 17/.

## **2.12.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

Bei der Betrachtung der Einflussfaktoren, die zum katastrophalen Verlauf und Ausgang der Überfahrt der Sewol-Ho von Incheon nach Jeju beitrugen, ist zwischen zwei Kategorien zu unterscheiden:

- Faktoren, die zum Kentern der Fähre beitrugen
- Faktoren, die zur Nichtrettung eines großen Teils der an Bord befindlichen Passagiere beitrugen (Von den 476 Personen an Bord überlebten nur 172 – 304 Menschen kamen ums Leben oder gelten als vermisst.)

Die Informationen, auf die sich in diesem Bericht bezogen wird, stammen aus einer Sicherheitsanalyse des Massachusetts Institute of Technology (MIT) /KWO 16/, die sich wiederum auf den Untersuchungsbericht des Korean Maritime Safety Tribunal (KMST) bezieht. Der Untersuchungsbericht selbst ist bis zum Berichtszeitpunkt auf der Homepage des KMST nicht verfügbar gewesen.

### **2.12.2.1 Das Kentern der Sewol-Ho**

Ursächlich für das Kentern der Sewol-Ho war neben dem missglückten Kursänderungsmanöver im Maenggol-Kanal die Tatsache, dass sich das Schiff in einem statisch instabilen Zustand befand. Aufgrund der baulichen Modifikationen an der Fähre hatte sich deren Schwerpunkt nach oben verschoben, weshalb die erlaubte Ladungsmenge vom koreanischen Schiffsregister (Korean Register of Shipping – KR) auf 987 Tonnen gesenkt und die erforderliche Menge an mitgeführtem Ballastwasser auf 1.703 Tonnen erhöht worden war. Durch diese Anforderungen sollten die Stabilität und der sichere Betrieb der Sewol-Ho weiterhin sichergestellt werden /KWO 16/ /UST 14/.

Nachdem das KR die neuen einzuhaltenden Werte für Ladung und Ballastwasser festgelegt hatte, wurden diese lediglich CMC mitgeteilt. Weder die ROKCG noch die Korean Shipping Association (KSA), die Inlandsfahrten von Passagierschiffen in Korea beaufsichtigt, oder die Hafenbehörde von Incheon hatten Kenntnis über die neuen einzuhaltenden Werte. Da das KR nicht zur Information der genannten Institutionen verpflichtet war, geschah dies auch nicht. Lediglich CMC selbst gab Informationen über die Ladekapazität der Sewol-Ho an die KSA weiter. Ein Mitarbeiter der ROKCG bezifferte die von

CMC an die KSA weitergegebene Angabe über die Ladekapazität nach dem Unglück auf 3.963 Tonnen /UST 14/.

Nach dem Umbau unternahm die Fähre knapp 200 Rundfahrten (394 Einzelfahrten) zwischen Incheon und der Insel Jeju. Dokumenten der Hafenbehörde von Incheon zufolge wurde das Ladungslimit von 987 Tonnen bei über 100 Fahrten überschritten. Auf 147 weiteren Fahrten machte CMC keine Angaben über die Ladung, was nicht regelwidrig war. Die Angabe der Ladungsmenge an den Hafentreiber war in Korea für Passagierschiffe nicht verpflichtend, sondern erfolgte freiwillig. Die Angabe diente darüber hinaus lediglich dem Sammeln von Statistiken, nicht jedoch der Kontrolle von Sicherheitsstandards. Da die Hafenbehörde nicht dazu verpflichtet war, die entsprechenden Dokumente mit der KSA oder der ROKCG zu teilen, besaßen diese keine Kenntnis über die systematische Überladung der Fähre /UST 14/ /STE 14/.

Die Sewol-Ho führte auf 136 ihrer Fahrten mehr als 2.000 Tonnen Ladung mit sich, auf 12 Fahrten wurde den Hafendokumenten zufolge die Marke von 3.000 Tonnen überschritten. Ein Vizepräsident der Union Transport Co., die für die Beladung des Schiffes verantwortlich war, gab an, dass die Sewol-Ho auf ihrer Unglücksfahrt mit 3.608 Tonnen mehr Ladung als auf jeder anderen Fahrt zuvor beförderte. Die vom Kapitän dokumentierte Ladung betrug 657 Tonnen Ladung sowie 150 Fahrzeuge, was innerhalb des Limits von 987 Tonnen gelegen hätte. Da die Küstenwache jedoch 180 Fahrzeuge im Wasser geborgen hat, kann davon ausgegangen werden, dass diese Angaben unzutreffend waren. Nach den Angaben eines Ermittlers des Unglücks soll ein Crewmitglied darum gebeten haben, die Überladung zu unterbinden, was von dessen Vorgesetztem aber ignoriert worden sei. CMC hatte in seinem „Operation Management Regulations Document“ alle durch das koreanische Seerecht festgeschriebenen Anforderungen beschrieben, mit zwei Ausnahmen: Die Anforderungen zu Ballastwasser und Gesamtladung waren in diesem Dokument nicht enthalten /CHO 14/ /UST 14/ /CAM 14/.

Offenbar hatten die zuständigen „Operation Officers“ der KSA die Ladung vor der Abfahrt der Fähre nicht inspiziert. Zudem waren weder die zuständigen Besatzungsmitglieder der Sewol-Ho noch die Mitarbeiter der beteiligten Ladeunternehmen in Bezug auf das ordnungsgemäße Sichern der Ladung geschult oder instruiert worden. Ein im Schiff angebrachtes Schaubild zum korrekten Sichern der Ladung wurde nicht beachtet, angemessene Methoden zur Sicherung der Ladung waren den Zuständigen nicht bekannt gewesen. Die Einhaltung der Ladungsstandards wurde ebenfalls weder von Besatzungsmitgliedern oder Ladeunternehmen noch von der KSA überprüft. Lediglich die

Ladelinie des Schiffes, die durch die Summe aus Ladung und Ballastwasser bestimmt ist, wurde von Mitarbeitern der KSA geprüft /KWO 16/.

Als die Fähre im Maenggol-Kanal offenbar durch ein Missverständnis zwischen Drittem Offizier und Steuermann eine Wende von 10 Grad machte, führte dies zum Verrutschen der mangelhaft gesicherten Ladung nach Backbord. Das auf der Backbordseite konzentrierte Gewicht führte dazu, dass die Rückstellkraft der Sewol-Ho nicht mehr ausreichte, um das Schiff im Gleichgewicht zu halten und dieses folglich zu kentern begann. Durch die Krängung, die die Fähre nach der Kursänderung bekam, wurde das Verrutschen der Ladung verstärkt, was zusätzlich zum Kentervorgang beitrug. Sobald ab etwa 9:50 Uhr Wasser in das Schiffsinne einzudringen begann, wurde dies weiter beschleunigt /KWO 16/.

#### **2.12.2.2 Das Versagen von Schiffsbesatzung und Rettungskräften bei der Rettung der Passagiere**

Zusätzlich von den Ursachen für das Kentern der Sewol-Ho sind außerdem die Ursachen dafür zu betrachten, dass lediglich 172 der 476 an Bord befindlichen Personen das Unglück überlebten. Das Kentern der Fähre dauerte insgesamt etwa zweieinhalb Stunden. Damit wäre für die Besatzung ausreichend viel Zeit vorhanden gewesen, um die Passagiere nach draußen zu geleiten, Rettungsinseln zu Wasser zu lassen und auf die Rettungskräfte der Küstenwache zu warten. Aufgrund von Kommunikationsmängeln und individuellen Fehlern gelang dies jedoch nicht. Diese sind zum Teil auf eine ungenügende Vorbereitung der Beteiligten auf Notsituationen zurückzuführen.

Die Analyse des MIT stellt fest, dass der Besatzung der Fähre kein angemessenes Sicherheitstraining zugekommen ist. Mit Berufung auf einen Mitarbeiter der CMC belief sich das für Schulungen vorhandene Budget auf umgerechnet 2 US-Dollar pro Mitarbeiter. Dieses ohnehin äußerst knappe Budget wurde jedoch nicht in Schulungen oder Trainings, sondern lediglich in den Kauf eines Sicherheitszertifikats für die Mitarbeiter investiert. Tatsächliche Trainings fanden nicht statt, wodurch Vorgehensweisen und Abläufe im Notfall nicht einstudiert waren /KWO 16/.

Der entscheidende Faktor, der zum Tod von über 300 Passagieren führte, war die Tatsache, dass diese bis zum Schluss in ihren Kabinen verblieben waren. Die Besatzung der Sewol-Ho hatte die Passagiere bis zuletzt mit Durchsagen dazu aufgefordert, in den Kabinen zu bleiben und dort auf weitere Anweisungen zu warten. Dies wurde der Gruppe Mokpo der ROKCG durch den Kommunikationsverantwortlichen der Sewol-Ho, der sich am Serviceschalter befand, mitgeteilt. Die ROKCG gab ihm die Erlaubnis, diese Durchsage fortzusetzen. Den Einsatzkräften der Küstenwache, die vor dem vollständigen Kentern eintrafen (ein Patrouillenschiff und mehrere Hubschrauber) wurde dies jedoch nicht mitgeteilt. Die Einsatzkräfte der Küstenwache waren sich dadurch der Lage, in der sich die Passagiere befanden, nicht bewusst und retteten nur die Passagiere, die das Schiff rechtzeitig verlassen konnten. Die Crewmitglieder waren dabei unter den ersten, die das sinkende Schiff verließen /KWO 16/.

Durch die Nutzung mehrerer verschiedener Kommunikationskanäle und die offenbar nicht vollständige Kenntnis der Schiffsbesatzung über deren Vorhandensein sowie über den Umgang mit der schiffseigenen Funkanlage wurden wichtige Informationen nicht an alle Akteure kommuniziert /KWO 16/. Eine Fehlbedienung der Kommunikationsanlage auf der Brücke durch den Zweiten Offizier in Kombination mit einer Fehleinschätzung durch die Besatzung führte dazu, dass von einem Ausfall der Anlage ausgegangen wurde und somit keine weiteren Versuche unternommen wurden, die Passagiere von der Brücke aus mit Informationen zu versorgen. Weitere Möglichkeiten zur Auslösung von Alarmen und Durchsagen wurden trotz deren Funktionsfähigkeit nicht genutzt. Dieses Fehlverhalten traf auf die gesamte auf der Brücke anwesende Besatzung inklusive des Kapitäns zu, was auf massive Wissenslücken im Umgang mit der Schiffstechnik hinweist /KWO 16/.

Durchsagen an die Passagiere wurden daher ausschließlich vom Serviceschalter aus vorgenommen, die dort befindlichen Besatzungsmitglieder hatten ihre Befehle per Handfunkgerät vom Kapitän erhalten. Als ein Steuermann die Station Jindo-VTS fragte, ob das Schiff zu evakuieren sei, wurde von der Gegenseite darauf verwiesen, dass man nicht genug Informationen für diese Entscheidung habe und deshalb der Kapitän die Aufgabe habe, diese Entscheidung zu treffen. Als dieser dem Zweiten Offizier den Befehl gab, dass der Serviceschalter die Passagiere zur Evakuierung auffordern solle, gab dieser die Information weiter, ohne eine Bestätigung vom Serviceschalter abzuwarten. Der Station Jindo-VTS wurde daraufhin vom Zweiten Offizier gemeldet, dass die Evakuierung angeordnet wurde. Da die Durchsagen, die vom Serviceschalter aus gemacht

wurden, auf der Brücke nicht hörbar waren, war man sich dort nicht darüber im Klaren, dass der Befehl zur Evakuierung nicht bei den Crewmitgliedern am Serviceschalter angekommen und somit auch nicht den Passagieren mitgeteilt worden war. Überlebende Passagiere sagten später aus, dass sie bis zum Schluss zum Verbleiben in ihren Kabinen aufgefordert wurden /KWO 16/.

Unabhängig von diesem Missverständnis hätten die Einsatzkräfte der Küstenwache sich vergewissern müssen, ob und wie viele Passagiere sich an Bord befanden. Das Versäumnis, dies zu tun, deutet auch hier auf mangelnde Kenntnisse über das Vorgehen in Notfallsituationen hin. Die damalige südkoreanische Präsidentin Park Geun-hye benannte nach dem Unglück strukturelle Probleme als Hauptursache für die misslungene Rettungsaktion. Die Küstenwache sei immer größer geworden, während nicht ausreichend Personal und finanzielle Mittel für die Seeverkehrssicherheit zur Verfügung gestellt wurden. Auch das Training der Einsatzkräfte für Rettungseinsätze sei unzureichend gewesen. Als Konsequenz daraus kündigte sie an, die Aufgaben der Küstenwache an eine neue nationale Notfallorganisation und die Polizei zu übertragen /REU 14/, /BBC 14/.

### **2.12.2.3 Zusammenfassung**

Für das Kentern der Sewol-Ho sowie die nicht erfolgte Rettung der Opfer waren die folgenden organisationalen Einflussfaktoren entscheidend:

#### **Akzeptieren von unsicheren Zuständen**

- Obwohl die Instabilität der Fähre im überladenen Zustand bekannt war, wurde sie weiterhin so betrieben.

#### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

- Die Hafenbehörde von Incheon zeichnete die Ladungsmengen jeder Fahrt der Fähre auf, unternahm allerdings keine Schritte, um eine Einhaltung der erlaubten Menge zu gewährleisten.

#### **Fehlende oder unzureichende Schulungen**

- Statt das Personal sicherheitstechnisch zu schulen, wurde lediglich ein Papierzertifikat gekauft.

### **Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

- Die Crewmitglieder waren nicht in der Lage, die Passagiere von der Brücke aus per Lautsprecherdurchsage zur Evakuierung aufzufordern.
- Die Crewmitglieder auf der Brücke gaben dem Personal am Servicedesk den Befehl, die Passagiere per Lautsprecherdurchsage zur Evakuierung aufzufordern, stellten aber nicht sicher, ob dieser Befehl auch wahrgenommen und ausgeführt wurde.

### **Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen**

- Verantwortliche der zuständigen Behörden (Koreanisches Schiffsregister, Hafenbehörde von Incheon, Koreanische Schifffahrtsvereinigung) behandelten ausschließlich Informationen, die unmittelbar in ihren Zuständigkeitsbereich fielen. Eine Beschaffung von zusätzlichen Informationen oder eine Kommunikation der eigenen Informationen an andere Stellen, die eine Beurteilung der Sicherheit des Fährbetriebs erlaubt hätten, fand nicht statt.

### **Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Äußerung von Sicherheitsbedenken (nicht wirksam):**  
Besatzungsmitglieder baten um ein Beenden des Überladens der Sewol-Ho.

### **Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

- Obwohl von Besatzungsmitgliedern um ein Beenden des Überladens der Sewol-Ho gebeten wurde, wurden diese Einwände ignoriert.

### **Keine Durchführung von Notfallübungen**

- Der Besatzung der Sewol-Ho wurden vom Schifffahrtsunternehmen keine Notfallübungen finanziert. Dadurch kam es im tatsächlichen Notfall zu unorganisiertem Handeln und Missverständnissen, was letztlich entscheidend dazu beitrug, dass die überwiegende Mehrheit der Passagiere bis zum endgültigen Kentern fälschlicherweise zum Verbleib in ihren Kabinen aufgefordert wurde.

### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Die Geschäftsführung der CMC ordnete bewusst an, die Sewol-Ho systematisch zu überladen, um zusätzlichen Gewinn aus dem Betrieb der Fähre zu ziehen. Dass dies die Stabilität gefährlich verschlechterte, war bekannt und sollte durch die Anordnung von geringen Kursänderungen ausgeglichen werden. Dies stellt eine extreme Ausprägung dieses Merkmals dar.
- Für Sicherheitsschulungen des Personals waren nur minimale Ressourcen vorgesehen.

### **Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung**

- Mit der Fähre konnte nicht die Ladungsmenge transportiert werden, ohne eine Instabilität des Schiffes zu verursachen.

### **Unzureichende Anforderungen**

- Die zuständigen Behörden (Koreanisches Schiffsregister, Hafenbehörde von Incheon, Koreanische Schifffahrtsvereinigung) verfügten zusammengenommen über die notwendigen Informationen, um die systematische und vorsätzliche Überladung des Schiffes durch die CMC aufzudecken. Da ein Informationsaustausch zwischen den Behörden nicht gesetzlich vorgeschrieben war, fand dieser auch nicht statt und die Informationen waren praktisch nutzlos.

### **Unzureichende Fachkunde**

- Die Crewmitglieder auf der Brücke waren mit dem Umgang mit der Kommunikationsanlage des Schiffes nicht vertraut und waren deshalb nicht in der Lage, die Passagiere von der Brücke aus per Lautsprecherdurchsage zur Evakuierung aufzufordern.

## **2.13 Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017**

Am 7. Juli 2017 um 23:56 Uhr lokaler Zeit (Pacific Daylight Time, PDT) befand sich der Linienflug 759 von Air Canada (ACA759) von Toronto kommend im Landeanflug auf den San Francisco International Airport (SFO). Dem Flug war die Landeerlaubnis für Landebahn 28R erteilt worden, die der Pilot mit der parallel verlaufenden Rollbahn C verwechselte. Die Maschine vom Typ Airbus A320 flog auf die Rollbahn zu, auf der vier weitere

Maschinen (zwei Boeing 787, eine Boeing 737 und ein Airbus A340) auf die Starterlaubnis warteten. Kurz nach dem Überfliegen der ersten Maschine leitete die Crew von Air Canada 759 das Durchstarten ein, wobei sie eine Mindesthöhe von ca. 60 Fuß (etwa 18 Meter) erreichte und damit die zweite wartende Maschine nur knapp verfehlte /NTS 18a/.

In den fünf involvierten Flugzeugen befanden sich insgesamt rund 1.000 Personen, deren Leben unmittelbar bedroht war. Es handelt sich daher um eines der potenziell verheerendsten Unglücke der Luftfahrtgeschichte /TMN 17/.

### 2.13.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wesentlichen Ereignisse im Verlauf des Beinahe-Crashes von Air Canada 759 am 07.07.2017 aufgeführt /NTS 18a/.

**Tab. 2.13** Chronologischer Ablauf des Beinahe-Crashes von Air Canada Flug 759

Zeitangaben in Ortszeit PDT=UTC-7, Höhenangaben ü. NN

Zeit	Handlung/Ablauf
18:25 Uhr	Air Canada Flug 759 (ACA759) verlässt das Gate am Flughafen Lester B. Pearson International Airport in Toronto, Kanada mit etwa 30 Minuten Verspätung.
18:58 Uhr	Die Maschine hebt mit etwa 49 Minuten Verspätung ab.
21:45 Uhr	Nach dem Durchfliegen einer Gewitterregion etwa auf Mitte der Flugstrecke beginnen die Piloten sich müde zu fühlen.
23:21 Uhr	<p>Vor Beginn des Landeanflugs erhält die Maschine das ATIS-Signal „Quebec“, das die folgenden Informationen enthält:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Quiet Bridge visual approach in use</li> <li>– Landing runway 28R</li> <li>– Notice to Airmen: Runways 28L, 10R closed</li> </ul> <p>Zudem indiziert das Signal „Quebec“, dass die Beleuchtung der Landebahnen 28L und 10R abgeschaltet sind, und enthält Informationen über das Wetter.</p> <p>Der visuelle Anflug auf 28R erfordert, dass Piloten von Maschinen der Typen Airbus A319, A320 und A321 von Hand die Frequenz des Instrument Landing Systems (ILS) am Flight Management Computer einstellen, um eine unterstützende Seitenführung zur Landebahn zu erhalten. Dies ist die einzige Prozedur zum Landeanflug in der Datenbank von Air Canadas Airbus A320, die eine manuelle Einstellung durch die Piloten erfordert.</p>

Zeit	Handlung/Ablauf
	Der Erste Offizier in der Rolle als Pilot Monitoring gibt die ILS-Frequenz nicht wie vorgeschrieben am Multifunction Control and Display ein. In einer Befragung nach dem Ereignis gibt er an, dass er dies versäumt habe („must have missed it“) und sich nicht sicher sei, wie dies passieren konnte. Auch der Kapitän in der Rolle als Pilot Flying verifiziert während des Approach Briefings nicht, ob die Eingabe stattgefunden hat.
23:27 Uhr	Die Maschine beginnt den Sinkflug.
23:38 Uhr	Die horizontale Navigation des Autopiloten wird auf einer Höhe von 10.944 Fuß (3.335 Meter) von „NAV“ auf „HDG (heading)“ umgeschaltet. Dem Ersten Offizier fällt auf, dass der Anflugmodus von einem geführten zu einem offenen Landeanflug geändert wurde. Dieser Umstand bereitet ihm Unbehagen, er kommentiert dies jedoch nicht weiter, da die Prozedur so erlaubt ist.
23:51 Uhr	Der Tower von SFO erteilt der Maschine die Landeerlaubnis.
23:52 Uhr	Das Fahrwerk der Maschine wird ausgefahren.
23:53 Uhr	Der Autopilot wird auf einer Höhe von 10.944 Fuß (3.335 Meter) abgeschaltet. Dies steht in Einklang mit den Anweisungen von Air Canada für visuelle Landeanflüge auf die Landebahn 28R für Maschinen des Typs Airbus A319, A320 und A321.
23:54 Uhr	Die Maschine erreicht den Navigationspunkt F101D auf einer Höhe von 1.100 Fuß (335 Meter), der Kapitän führt die erforderliche Drehung um 14° nach rechts aus, um die Maschine auf die Landebahn 28R auszurichten. Allerdings richtet er die Maschine versehentlich auf die direkt parallel zur Landebahn 28R verlaufende Rollbahn C aus.
Ca. 23:54 Uhr	Der Erste Offizier stellt nach Abschalten des Autopiloten die Fehlanflughöhe und -ausrichtung ein [Anm.: Werden diese Kriterien beim Landeanflug nicht erfüllt, muss die Maschine durchstarten.]. Um die erforderlichen Informationen zu erhalten, sieht der Erste Offizier in der Anflugkarte nach, hat aber Schwierigkeiten die Informationen zur Bugausrichtung zu finden. Daraufhin zieht er die Flughafenkarte zu Rate. Währenddessen nimmt der Kapitän Lichter auf der Rollbahn C wahr, die er für die Landebahn 28R hält. Er bittet den Ersten Offizier daraufhin, herauszufinden, ob die Landebahn 28R frei ist.
23:55:45 Uhr	Die Crew bittet den Fluglotsen im Tower um Bestätigung, dass die Landebahn 28R frei ist. Das Flugzeug befindet sich zu diesem Zeitpunkt auf einer Höhe von 300 Fuß (91 Meter). Der Fluglotse überprüft den Radarbildschirm und den Airport Surface Surveillance Capability Bildschirm. Er sieht, dass sich ACA759 rechts der Mittellinie der Landebahn 28R befindet, was seiner Ansicht nach aber normal für einen visuellen Landeanflug auf die Landebahn ist.

<b>Zeit</b>	<b>Handlung/Ablauf</b>
23:55:52 Uhr	Der Fluglotse bestätigt, dass Landebahn 28R frei für den Landeanflug ist.
23:55:58 Uhr	Die Crew bestätigt, zu diesem Zeitpunkt befindet sich die Maschine etwa 900 Fuß (274 Meter) vom Beginn der Rollbahn entfernt.
23:55:59 Uhr	Der Kapitän des vordersten Flugzeuges auf der Rollbahn (United Airlines Flug 1, UAL 1) meldet sich per Funk mit den Worten „Where is that guy going?“ beim Tower.
23:56:03 Uhr	ACA759 überfliegt UAL1 mit einer Höhe von 100 Fuß (30 Meter). Im selben Moment teilt der Pilot von UAL1 dem Tower mit: „He's on the Taxiway.“ Zeitgleich schaltet die Besatzung des zweiten Flugzeuges auf der Rollbahn (Philippine Airlines Flug 115, PAL115) die Lichter von Fahrwerk und Bug ein, um ACA759 auf sich aufmerksam zu machen.
23:56:05 Uhr	Turbinendrehzal und -schub von ACA759 werden erhöht. Wie aus Aussagen von Kapitän und Erstem Offizier von ACA759 im Rahmen der Befragungen nach dem Ereignis hervorgeht, fühlen beide Unbehagen beim Landeanflug. Der Kapitän sagt aus, er habe die Lichter von Landebahn 28R für die der Landebahn 28L und die der Rollbahn C für die der Landebahn 28R gehalten. Da er sich in der Gesamtsituation unsicher gewesen sei („Things were not adding up.“), beschloss er durchzustarten. Im selben Moment fordert auch der Erste Offizier ihn zum Durchstarten auf. Die Bestätigung des Fluglotsen, dass die Landebahn frei sei, macht ihn misstrauisch („Something was not right.“).
23:56:07 Uhr	ACA759 erreicht die minimale Höhe von 60 Fuß (18 Meter), während er PAL115 überfliegt.
23:56:08 Uhr	Die Triebwerke von ACA759 erreichen ihre volle Leistung zum Durchstarten und die Maschine beginnt zu steigen.
23:56:09 Uhr	Der Fluglotse im Tower erteilt ACA759 die Instruktion zum Durchstarten.
23:56:11 Uhr	Die Besatzung von ACA759 bestätigt das Durchstarten. Währenddessen überfliegt ACA759 die dritte Maschine auf der Rollbahn (United Airlines Flug 863, UAL863) auf einer Höhe von 200 Fuß (61 Meter).
23:56:12 Uhr	ACA759 überfliegt die vierte Maschine auf der Rollbahn (United Airlines Flug 1118, UAL1118) auf einer Höhe von 250 Fuß (76 Meter). Beide Piloten von ACA759 sagen später aus, dass sie auf der Rollbahn C keine Flugzeuge wahrgenommen haben.

Zeit	Handlung/Ablauf
23:56:12 Uhr	Der Fluglotse im Tower informiert die Piloten von ACA759 darüber, dass sie auf Rollbahn C zugeflogen sind, und weist sie an, wieder auf 3.000 Fuß (914 Meter) zu steigen und einen zweiten Landeversuch zu unternehmen. Während des Landeanfluges wird dieses Mal vom Ersten Offizier die Frequenz des ILS korrekt eingestellt, nachdem er sich mit dem Kapitän darüber verständigt hat.
00:11 Uhr	ACA759 landet beim zweiten Anlauf ohne weitere Vorkommnisse.
00:32 Uhr	Kapitän und Erster Offizier von ACA759 beenden ihren Dienst.

## 2.13.2 Zusätzliche Hintergrundinformationen

### 2.13.2.1 Hintergrundinformationen zum Kapitän

Die aktuellste Pilotenlizenz des Kapitäns von ACA759 zum Ereigniszeitpunkt war auf den 2. Oktober 2015 datiert und berechtigte ihn zum Steuern von Flugzeugen des Typs Airbus A320. Diesen Flugzeugtyp hatte er seit 2007 als Kapitän geflogen. Er war ein erfahrener Pilot, der zunächst von 1998 bis 2000 für Canadian Airways und seit 2000 (nachdem Canadian Airways mit Air Canada fusioniert war) für Air Canada geflogen war. In dieser Zeit hatte er über 20.000 Stunden Flugerfahrung gesammelt, davon 7.063 Stunden im A320, von denen er wiederum 4.797 Stunden als „Pilot-in-Command“ flog /NTS 18a/.

Die letzte allgemeine Überprüfung seiner fliegerischen Fähigkeiten und der Einhaltung von Prozeduren („Line Check“) war am 8. März 2017 erfolgt, die letzte Schulung hatte er am 20. Januar 2017 besucht. Es hatte keine Unfälle oder sonstige Vorfälle in seiner bisherigen Laufbahn gegeben. Des Weiteren war er aus medizinischen Gründen verpflichtet im Dienst eine Brille zu tragen, was er laut eigener Aussage befolgte. Weitere medizinische Einschränkungen oder die Einnahme von Medikamenten lagen nicht vor, ebenso wenig habe er Tabak, Alkohol und Drogen konsumiert oder in den letzten 12 Monaten vor dem Zwischenfall gravierende Veränderungen privater, finanzieller oder gesundheitlicher Art erlebt /NTS 18a/.

Der Kapitän gab an, bereits zuvor einige Male den Flughafen SFO angeflogen zu haben, davon ein- oder zweimal in den letzten 4 Monaten vor dem Zwischenfall. Bei seinen bisherigen Anflügen waren immer beide Landebahnen 28L und 28R erleuchtet gewesen. Den Zustand, dass Landebahn 28L dunkel war, hatte er zuvor noch nicht gesehen. Er

flog am Abend des Zwischenfalls zum ersten Mal mit dem Ersten Offizier zusammen /NTS 18a/.

Der Kapitän arbeitete als Reservepilot für Air Canada. Am 6. Juli begann seine Reservendienstzeit um 05:00 Uhr morgens (Eastern Daylight Time, EDT=UTC-4). Zwischen 16:00 und 17:00 Uhr meldete er sich zum Dienst und flog einmal von Toronto nach New York und wieder zurück. Eine Viertelstunde nach der Landung, um 23:13 Uhr, meldete er sich ab und begab sich nach Hause. Aufgrund der späten Heimkehr schlief er in dieser letzten Nacht vor dem Zwischenfall später als sonst ein. Er schätzte sich nach dem Zwischenfall für die letzten drei vorangegangenen Nächte als „relativ ausgeruht“ ein. In den drei Nächten vor dem Zwischenfall hatte der Kapitän folgenden Schlafrhythmus gehabt:

**Tab. 2.14 Schlafzeiten des Kapitäns von ACA759 in den letzten drei Nächten vor dem Zwischenfall**

Zeitangaben in EDT=UTC+4, Quelle: /NTS 18a/

Datum	Einschlafzeit	Aufwachzeit	Schlafdauer
4. auf 5. Juli	Zwischen 00:30 Uhr und 01:00 Uhr	Zwischen 07.00 Uhr und 08:00 Uhr	6 bis 7,5 Stunden
5. auf 6. Juli	00:00 Uhr	08:00 Uhr	8 Stunden
6. auf 7. Juli	Zwischen 02:00 Uhr und 03:00 Uhr	07:45 Uhr	4,75 bis 5,75 Stunden

Es war für ihn normal, um oder nach Mitternacht zu Bett zu gehen, und er sagte aus, sich nach 6 bis 7 Stunden Schlaf ausgeruht zu fühlen. Aufgrund des Reisens sei es allerdings schwer einen Rhythmus zu finden. Zum Zeitpunkt des Zwischenfalls war er seit 19 Stunden wach gewesen. Vor dem Flugantritt habe er sich ausgeruht gefühlt, nach dem Durchfliegen eines Gewittergebietes etwa auf halber Strecke jedoch habe er begonnen sich erschöpft zu fühlen /NTS 18a/.

### 2.13.2.2 Hintergrundinformationen zum Ersten Offizier

Auch der Erste Offizier war im Besitz einer relativ neuen Lizenz für das Fliegen des Airbus A320, datiert auf den 7. Oktober 2015. Er war seit 2007 bei Air Canada eingestellt gewesen und hatte in dieser Zeit etwa 10.000 Stunden Flugenerfahrung gesammelt, davon

2.343 Stunden im A320. Sein letzter Line Check datierte vom 25. April 2017, die letzte Schulung vom 29. Dezember 2016. Auch er hatte keine Vorgeschichte mit Unfällen oder sonstigen Zwischenfällen. Medizinische Einschränkungen oder die Einnahme von Medikamenten lagen nicht vor, ebenso wenig habe er Tabak und Drogen konsumiert oder in den letzten 12 Monaten vor dem Zwischenfall gravierende Veränderungen privater, finanzieller oder gesundheitlicher Art erlebt. Sein letzter Konsum von Alkohol hatte am 3. oder 4. Juli beim Abendessen stattgefunden /NTS 18a/.

Der Erste Offizier gab an, dass er zweimal versucht habe, den Kapitänsstatus für den A320 zu erwerben. Aus den Aufzeichnungen von Air Canada geht hervor, dass er das Training zum Umgang mit der Kommandozeile am 6. und 7. Februar 2017 bestanden, jedoch am 1. und 16. Mai jeweils das Training zur Qualifikation als Kapitän nicht bestanden hatte. Den Ausbildern am Simulator sowie den das Training beaufsichtigenden Piloten zufolge hatte er gelegentlich Schwierigkeiten beim Bewahren des Situationsbewusstseins offenbart und nicht in Übereinstimmung mit den Standards des kanadischen Verkehrsministeriums gehandelt. Daraufhin durchlief er eine erneute Qualifikation zum Ersten Offizier, bei der er laut Air Canadas Leiter des Bereiches Sicherheit und Training überdurchschnittliche Ergebnisse erzielte /NTS 18a/.

Auch der Erste Offizier hatte am Tag vor dem Zwischenfall Dienst gehabt. So war er als Pilot Flying am 6. Juli von San Francisco nach Toronto geflogen und dort um 00:30 Uhr EDT gelandet, woraufhin er von 03:00 Uhr bis 09:00 Uhr geschlafen hatte. Nach einem weiteren Nickerchen am Nachmittag meldete er sich am 7. Juli um 19:10 Uhr zum Dienst für den Flug ACA759 nach San Francisco. Auch er bemerkte, dass sowohl er als auch der Kapitän sich nach dem Durchfliegen des Gewittergebietes sehr müde zu fühlen begonnen hatten. Zum Zeitpunkt des Zwischenfalls war der Erste Offizier seit 12 Stunden wach gewesen /NTS 18a/.

Der Erste Offizier sagte über sich, dass er 8 Stunden Schlaf pro Nacht brauche, um sich ausgeruht zu fühlen und dass er sich typischerweise ab 23:00 Uhr müde zu fühlen beginne. Er mache üblicherweise ein Nickerchen von etwa 90 Minuten am Nachmittag vor Nachtflügen.

**Tab. 2.15 Schlafzeiten des Ersten Offiziers von ACA759 in den letzten drei Nächten vor dem Zwischenfall**

Zeitangaben in EDT=UTC+4, Quelle: /NTS 18a/

Datum	Einschlafzeit	Aufwachzeit	Schlafdauer
4. auf 5. Juli	Unbekannt	Unbekannt	Unbekannt
5. auf 6. Juli	04:00 Uhr	10:00 Uhr	6 Stunden plus 1-Stunden-Nickerchen (7 Stunden)
6. auf 7. Juli	03:00 Uhr	09:00 Uhr	6 Stunden plus 1,5-Stunden-Nickerchen (7,5 Stunden)

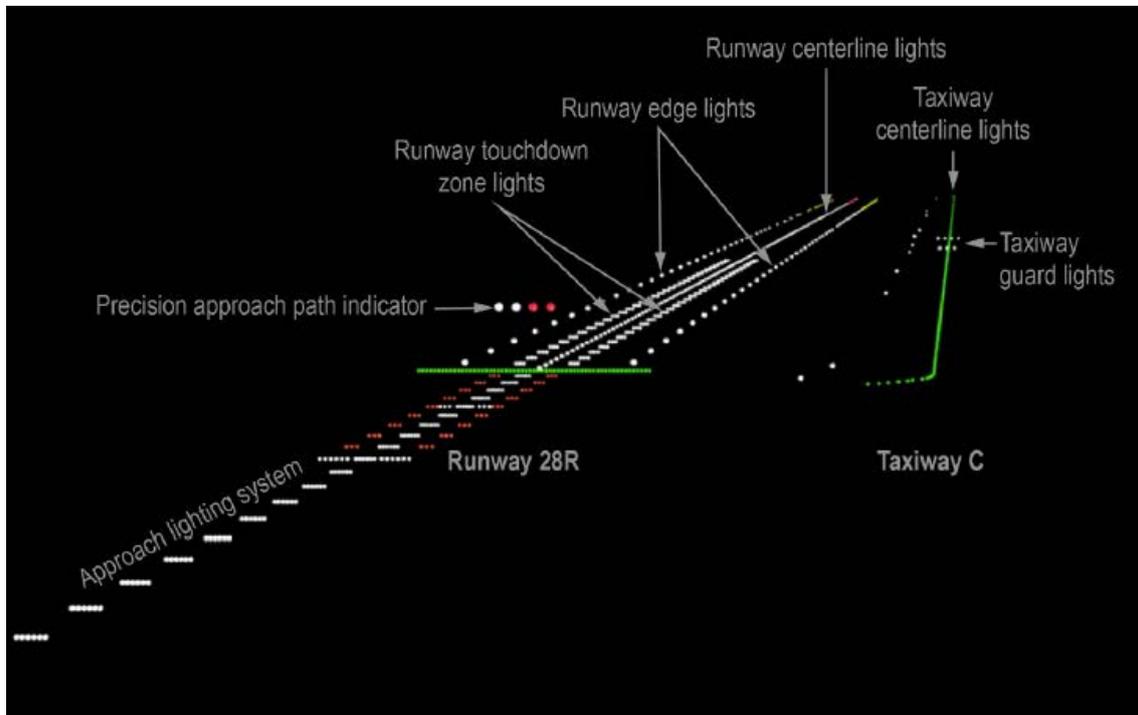
### 2.13.3 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren

#### 2.13.3.1 Präsentation der Information über die Sperrung der Landebahn 28L

Wenige Minuten vor dem Zwischenfall war der Flug 521 von Delta Air Lines (DAL521) auf der Landebahn 28R gelandet. Befragungen der Besatzung von DAL521 nach dem Ereignis ergaben, dass auch diese beim Landeanflug Zweifel hatten, ob sie korrekt auf Landebahn 28R ausgerichtet waren. Der Kapitän von DAL521 gab an, Lichter auf der Rollbahn C gesehen zu haben, die den Eindruck erweckten, dass es sich um eine Landebahn gehandelt haben könnte (siehe Abbildung 2.11). Flugzeuge habe auch er auf der Rollbahn nicht wahrgenommen. Der Erste Offizier von DAL521 sagte aus, er habe für ihn nicht identifizierbare Lichter auf Landebahn 28R sowie Lichter, die an eine Baustelle erinnerten, auf der benachbarten Landebahn 28L gesehen. Sowohl er als auch der Kapitän waren darüber informiert, dass die Landebahn 28L gesperrt war. Die Besatzung war sich nach Überprüfung der aktivierten Seitenführung sicher, die Maschine richtig für die Landung ausgerichtet zu haben. Schließlich wurde die Bemalung der Landebahn mit der Schrift „28R“ sichtbar, was nach Schätzung der Besatzung auf einer Höhe von etwa 300 Fuß (91 Meter) der Fall war /NTS 18a/.

Auf der Landebahn 28L wurden zum Zeitpunkt des Zwischenfalls Bauarbeiten durchgeführt, um deren Befeuerung zu verbessern. Die Bauarbeiten hatten im Februar 2017 begonnen und sollten etwa 10 Monate dauern. Die Landebahn 28L war daher nachts ab 23:00 Uhr und an manchen Wochenenden gesperrt. Um den Bereich der Bauarbeiten

herum waren 28 bewegliche Lampen positioniert, zudem kennzeichnete je ein großes weiß blinkendes „X“ an jedem Ende der Landebahn deren Sperrung. Das „X“ war 20,5 x 20,5 Fuß (6,2 x 6,2 Meter) groß und blinkte in 2,5-Sekunden-Intervallen, was den Standards der US-amerikanischen Luftfahrtbehörde Federal Aviation Administration (FAA) entspricht /NTS 18a/.



**Abb. 2.11** Befehung von Landebahn 28R und Rollbahn C am Flughafen SFO

Quelle: /NTS 18a/

Kapitän und Erster Offizier von ACA759 hatten den Flughafen SFO in der Vergangenheit bereits mehrmals angefliegen, der Erste Offizier war sogar am Abend vor dem Zwischenfall zum letzten Mal dort gewesen. Allerdings waren beide es gewohnt, dass die Landebahn 28L geöffnet und vollständig befehert war. Dies war am Abend des Zwischenfalls nicht der Fall, weshalb sich den beiden ein unbekannter Anblick bot. Zu sehen waren nur die Befehungen der Landebahn 28R und der Rollbahn C. Obwohl diese sich deutlich unterscheiden (siehe Abbildung 2.11), ging der Kapitän offenbar gewohnheitsmäßig davon aus, dass es sich bei der links liegenden Bahn um die Landebahn 28L handeln musste, und richtete das Flugzeug daher auf die Rollbahn aus. Dies geschah, obwohl die Crew vor dem Beginn des Landeanflugs das ATIS-Signal „Quebec“ erhielt, in der unter anderem auf die Sperrung der Landebahn 28L hingewiesen wurde /NTS 18a/.

```

07/08/2017 06:21:11
QU DDLCXA
ATSACKA 080621
DAI
AN C-FXCK
-/ATSACKA.TI2/KSFO ARR ATIS Q
0556Z SFO ATIS INFO Q 0556Z. 31012KT 10SM CLR 17/09 A2993 (TWO NINER NINER THREE)
QUIET BRIDGE VA IN USE. LNDG RWYS 28R. DEPG RWYS 1L. NOTAMS. RWYS 28L, 10R
CLSD. RWYS 1R, 19L CLSD. TWY J CLSD, TWY S1 CLSD. TWY F CLSD BETWEEN TWY L, RWY
1L, TWY F1 CLSD BTWN TWY L, RWY 1L. RY 28L ALS OTS, RY 28L/10R CL LGTS OTS
MULTIPLE CRANES UP TO 275 FEET, WEST AND SOUTH OF SFO AIRPORT. ASSC IN USE AC TVT
TRNSPDR WITH MODE C ON ALL TYS AND RWYS. READBACK OF ALL RWY HOLDING
INSTRUCTIONS IS REQUIRED. ALL ACFT ARE RQRD TO INCL ACFT CLSGN IN ALL RDBKS AND<
ACKMTS. ...ADVS YOU HAVE INFO Q.281B

```

**Abb. 2.12** Das ATIS-Signal, wie es für die Crew von ACA759 sichtbar war

Der gelbe Kasten wurde nachträglich zur Verdeutlichung eingefügt. Quelle: /NTS 18a/

Wie in Abbildung 2.12 zu sehen ist, befand sich die Information über die Sperrung der Landebahn 28L ohne zusätzliche Kennzeichnung in der Textmitte des ATIS-Signals. Die Information war damit recht unscheinbar und enthielt zusätzlich einen Zeilenumbruch. Obwohl die Information zur Sperrung der Landebahn die Piloten zu einem Zeitpunkt erreichte, als deren Arbeitsbelastung eher gering war, konnte sich im Nachgang keiner der beiden daran erinnern, die Meldung gesehen zu haben. Eine klare farbliche Kennzeichnung zur Hervorhebung von Informationen hoher Wichtigkeit in derartigen Meldungen könnte dazu beitragen, dass das Flugpersonal die Information bewusster wahrnimmt. /NTS 18a/

### 2.13.3.2 Mannstärke und ausgeübte Tätigkeiten der Fluglotsen im Tower

Der Kapitän des Fluges UAL863, der sich an dritter Stelle auf der Rollbahn C befunden hatte, bemängelte, dass nur ein Fluglotsen Dienst im Tower hatte und somit für den gesamten Flughafen zuständig war. Dieser hatte die Anweisung zum Durchstarten erst einige Sekunden nach dem Hinweis von UAL1, dass sich ACA759 im Anflug auf die Rollbahn befindet, erteilt. Zu diesem Zeitpunkt hatte ACA759 bereits die ersten beiden Maschinen passiert. Auch der Pilot der vierten Maschine, UAL1118, merkte an, dass der Fluglotsen im Tower zu viele Funktionen auf einmal ausübte (Koordinierung der Flugzeuge am Boden und in der Luft sowie zeitweise der Servicefahrzeuge) /NTS 18a/.

Zur Zeit des Zwischenfalls befanden sich zwei Fluglotsen im Dienst für die Mitternachtschicht von 22:30 Uhr bis 06:30 Uhr, von denen einer während des Anfluges von

ACA759 eine Erholungspause machte. Beide waren als verantwortliche/leitende Fluglotsen (Controller-in-Charge, CIC) qualifiziert, die Besetzung des Towers mit zwei derartig qualifizierten Fluglotsen für die Mitternachtsschicht ist die übliche Praxis in SFO. Aufgrund der Abwesenheit seines Kollegen übte der verbleibende Fluglotse, der CIC war und zunächst nur die Bewegungen am Boden koordiniert hatte, auch dessen Aufgaben aus. Die Entscheidung zu dieser Vorgehensweise hatten die beiden Fluglotsen gemeinsam nach Betrachtung der zu erwartenden Arbeit und des Wetters gefällt. Ab 00:00 Uhr beginnt der Flugverkehr am Flughafen SFO allmählich abzunehmen, bevor er gegen 01:00 Uhr stark nachlässt.

Der während des Zwischenfalls aktive Fluglotse sagte aus, er habe während er allein im Tower war sogenannte Line Up And Wait (LUAW) Prozeduren angewendet. Laut der Order JO 7110.65W der FAA, die die Prozeduren der Flugverkehrskontrolle für die USA vorschreibt, sind LUAW-Prozeduren anzuwenden, um Flugzeuge für den direkt bevorstehenden Abflug zu positionieren, wenn aufgrund des Verkehrsaufkommens noch keine direkte Starterlaubnis erteilt werden kann /FAA 15a/.

In der Order JO 7210.3Z wiederum wird darauf hingewiesen, dass für den Fall der Anwendung von LUAW-Prozeduren die Tätigkeit des CIC mit keiner anderen Tätigkeit kombiniert werden soll. Explizit wird genannt: „For example, local control must not be consolidated/combined the front-line manager/controller-in-charge (CIC) position, clearance delivery, flight data, ground control, cab coordinator, etc.“ /FAA 15b/. Auch der leitende Flugverkehrsmanager des Flughafens SFO gab in einer Befragung nach dem Zwischenfall an, dass, wenn LUAW-Prozeduren angewendet werden müssten, das Verkehrsaufkommen eindeutig zu groß sei, um verschiedene Lotsentätigkeiten zu kombinieren. Außerdem sagte er aus, dass nach dem Zwischenfall festgelegt wurde, dass eine solche gleichzeitige Ausübung mehrerer Tätigkeiten am Flughafen SFO nicht vor 00:15 Uhr stattfinden darf und dass die korrekte Anwendung der LUAW-Prozeduren durch das Management erneut hervorgehoben wurde /NTS 18a/.

Dem CIC blieb in der geschilderten Situation keine andere Möglichkeit, als sämtliche Tätigkeiten auf sich zu vereinen, da sein Kollege sich ausruhte und nicht im Dienstbereich anwesend war. Auch in anderen Situationen, beispielsweise bei plötzlichen gesundheitlichen Problemen eines der Lotsen, bietet die Besetzung des Towers mit nur zwei Fluglotsen während der Mitternachtsschicht das Potenzial für eine Überforderung des einen verbliebenen dienstfähigen Lotsen. Es kann daher festgestellt werden, dass die übliche Praxis, den Tower von SFO nachts mit nur zwei Fluglotsen zu besetzen, nicht

die sichere Koordination des Flugverkehrs als oberstes Ziel in den Vordergrund stellte. Dieser Umstand hatte keine tatsächlichen Auswirkungen auf das Ereignis, bietet aber das Potential für das Übersehen von sicherheitsrelevanten Informationen bei stärkerer Arbeitslast.

### **2.13.3.3 Ermüdungszustand der Piloten**

Der Zwischenfall ereignete sich um 23:56 Uhr PDT, was 02:56 Uhr EDT entspricht. Die EDT stellt die Uhrzeit dar, an die der zirkadiane Rhythmus der Piloten gewöhnt war. Wie in Kapitel 2.13.2 dargestellt, fand der Landeversuch in San Francisco damit zu einer Zeit statt, zu der sowohl Kapitän als auch Erster Offizier normalerweise bereits schlafen. Zudem liegt die Uhrzeit am Beginn eines Zeitbereiches, der laut den Informationen von Air Canada zu Ermüdung einen Tiefpunkt im menschlichen zirkadianen Rhythmus bildet. In dieser Phase sind Menschen unabhängig von der Menge an Schlaf in den vorherigen Nächten anfälliger für ermüdungsbedingte Leistungseinbußen. /NTS 18a/

Der Erste Offizier war zu diesem Zeitpunkt seit 12 Stunden wach, der Kapitän sogar schon seit 19 Stunden. Hinzu kam die Beschäftigung mit Gewittern während der ersten und die Vorbereitung der Landung während der zweiten Hälfte des Fluges, die das Einlegen von Ruhepausen verhinderten. Das National Transportation Safety Board stellte in einer Studie aus dem Jahr 1994, in der Flugzeugunglücke in den USA zwischen 1978 und 1990 betrachtet wurden, fest, dass Piloten, die länger als 11 Stunden wach waren, deutlich anfälliger für prozedurale Fehler und Fehlentscheidungen waren. /NTS 18a/, /NTS 94/

Den kanadischen Regelungen zur Dienstzeit von Piloten (Canadian Aviation Regulations 700.16) zufolge dürfen Piloten bis zu 14 Stunden zuzüglich 3 weiterer Stunden im Falle von unvorhergesehenen betrieblichen Umständen im Dienst sein. Die Dienstzeit, die die beiden Piloten im Rahmen des Fluges absolvierten, dauerte von 19:10 Uhr bzw. 19:40 Uhr EDT am 7. Juli bis 03:32 Uhr EDT am 8. Juli. Damit belief sich die Dienstzeit auf 08:22 Stunden für den Ersten Offizier und 07:52 Stunden für den Kapitän, was der kanadischen Regelung entsprach. Die Piloten von ACA759 hätten sich damit noch bis ca. 12:40 EDT bzw. 09:40 PDT am 8. Juli im Dienst befinden dürfen. /JLW 18/

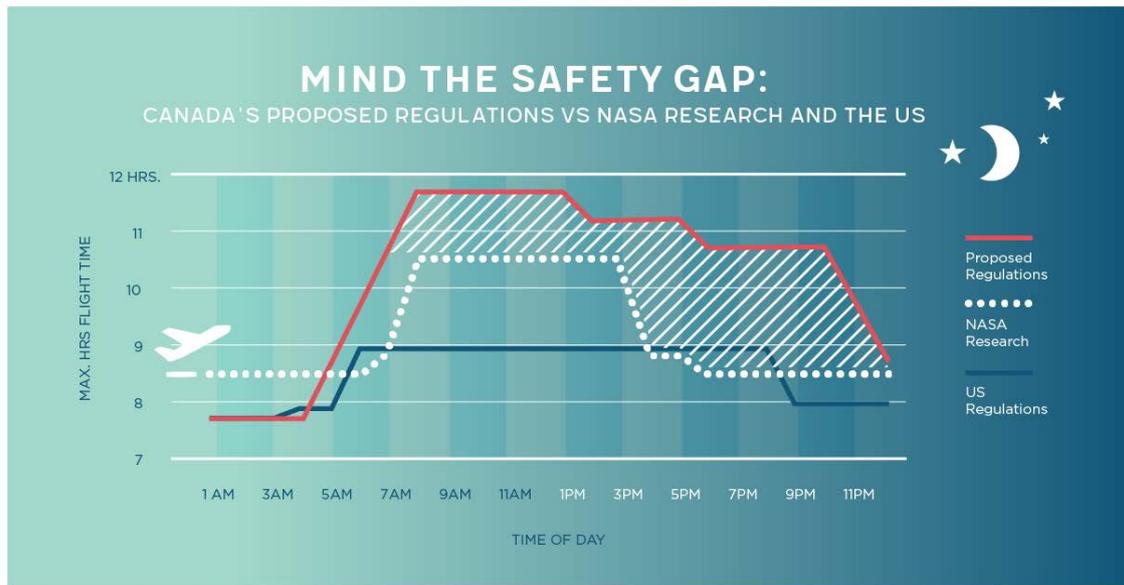
Ein Vergleich mit den US-amerikanischen Regelungen zur Dienstzeit von Piloten (14 CFR Part 117) zeigt, dass zwar der Erste Offizier diese Regelungen eingehalten hätte, der Kapitän als Reservepilot allerdings nicht. In den USA wird zwischen kurzfristig

verfügbaren und langfristig verfügbaren Reservepiloten unterschieden. Für kurzfristig verfügbare Reservepiloten darf die Zeit zwischen Beginn der Verfügbarkeit für den Dienst und Dienstende nicht mehr als 16 Stunden betragen. Der Kapitän von ACA759 war ab 08:13 Uhr EDT verfügbar, womit sein Dienst bis 03:13 Uhr EDT bzw. 00:13 Uhr PDT hätte dauern dürfen. Durch die Verspätung von 49 Minuten, mit der die Maschine in Toronto abhob, wäre die 16-Stunden-Frist um 19 Minuten überschritten worden. Für langfristig verfügbare Reservepiloten gilt in den USA, dass diese mindestens 12 Stunden vor Flugbeginn über ihre Zuteilung informiert werden müssen, damit sie sich im Vorfeld angemessen ausruhen können. Der Kapitän von ACA759 wurde 7:51 Stunden vor seinem Flugantritt informiert, womit diese Frist deutlich unterschritten worden wäre /NTS 18a/, /LII 12/.

Es zeigt sich, dass die US-amerikanischen Regelungen für Ruhe- und Dienstzeiten von Piloten komplexer und strenger sind, als dies in Kanada der Fall ist. Nach Aussage des kanadischen Verkehrsministeriums sind die zitierten Regelungen seit 1996 gültig. Bereits seit längerer Zeit drängen kanadische Pilotenvereinigungen wie die Air Canada Pilots Association und Safer Skies darauf, dass die kanadische Regierung strengere Auflagen zu Dienst- und Ruhezeiten im Luftverkehr implementiert, die dem aktuellen Stand der Wissenschaft Rechnung tragen./ACP 18/, /SAF 18/

In den Jahren von 2010 bis 2017 erarbeitete das kanadische Verkehrsministerium in mehreren Schritten neue Regelungen, die das Problem der Ermüdung von Reservepiloten, die Abendflüge im Zeitraum ihres zirkadianen Tiefs ausführen, besser und auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse adressieren sollen. Im Mai 2018 wurden die beabsichtigten Änderungen veröffentlicht. Die geplanten Änderungen sind strenger als die bisherigen Regelungen und berücksichtigen bei der zulässigen Dienstzeit die Tageszeit, zu der ein Flug startet, sowie die Zahl der Starts und Landungen innerhalb eines Dienstzyklus. Sie stießen bei kanadischen Pilotenvereinigungen jedoch auf Kritik und Enttäuschung: Die Vereinigung Safer Skies äußert auf ihrer Webseite, dass die Verwendung der neuen Regelungen bei biomathematischen Berechnungen für bestehende Flugrouten Beeinträchtigungen der Piloten durch Ermüdung ergebe, die einem Blutalkoholpegel von bis zu 1,17 ‰. Vergleiche man dies mit dem in Kanada geltenden Autofahrverbot ab 0,5 bis 0,8 ‰, seien diese Ergebnisse alarmierend. Im Vergleich zu Forschungsergebnissen des Ames Research Center der US-amerikanischen National Aeronautics and Space Administration (NASA) und den geltenden US-Regeln erlauben

auch die geplanten Regelungen deutlich längere Dienstzeiten für kanadische Piloten (siehe Abbildung 2.13). /CBC 18/ /NTS 18a/ /SAF 18/



**Abb. 2.13** Vergleich der geplanten kanadischen Regelungen mit Forschungsergebnissen der NASA und US-Regelungen

Quelle: /SAF 18/

### 2.13.3.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend können folgende organisationale Einflussfaktoren identifiziert werden, die an der Entstehung des Beinahe-Unglücks beteiligt waren:

#### **Aufgabenbedingte hohe Belastung der Mitarbeiter**

- Durch die ungünstigen Dienstzeiten und die Notwendigkeit, auch im ermüdeten Zustand zu fliegen, waren die Piloten hoch belastet.

#### **Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

- Die Information über die Sperrung der Landebahn 28L befand sich ohne zusätzliche Kennzeichnung in der Textmitte des ATIS-Signals. Zudem enthielt sie einen Zeilenumbruch. Obwohl die Information zur Sperrung der Landebahn die Piloten zu einem Zeitpunkt erreichte, als deren Arbeitsbelastung eher gering war, konnte sich im Nachgang keiner der beiden daran erinnern, die Meldung gesehen zu haben.

### **Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

Positive Ausprägung des Merkmals (nicht wirksam):

#### **Äußerung von Sicherheitsbedenken:**

- Die Pilotenvereinigungen äußerte mehrfach öffentlich Sicherheitsbedenken bezüglich der Dienst- und Ruhezeiten. Diese führten jedoch zu keiner Veränderung.

### **Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

- Trotz der über einen langen Zeitraum öffentlichkeitswirksam geäußerten Bedenken von Pilotenvereinigungen bezüglich der Dienst- und Ruhezeiten sah man an verantwortlicher Stelle keine Veranlassung, der Forderung nach strengeren Regeln nachzukommen.

### **Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken**

- Bei der langjährigen Ausarbeitung neuer Anforderungen an die Ruhezeiten von Piloten orientierte sich das kanadische Verkehrsministerium nicht an der etablierten Praxis der USA.

### **Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Positive Ausprägung des Merkmals:

#### **Qualitativ angemessene personelle Ressourcen:**

Es wurden Piloten eingesetzt, die über die erforderliche Erfahrung verfügten, um trotz ihres Ermüdungszustandes und der im Vorhinein begangenen Fehler beim Landeanflug intuitiv zu erkennen, dass sie den Landeanflug nicht korrekt ausgeführt hatten. Sie trafen eigenständig die Entscheidung zum Durchstarten, bevor der Tower ihnen (zu spät) den Befehl erteilte.

### **Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen (nicht wirksam)**

- Im Tower des Flughafens waren nicht ausreichend viele Fluglotsen tätig, um alle Aufgaben mit der erforderlichen Zuverlässigkeit bearbeiten zu können. Eine Warnung des Fluglotsen an die Piloten erfolgte so spät, dass sie den Unfall nicht hätte verhindern können. Das Merkmal wurde aber nicht wirksam, da die Gefährdung aus anderen Gründen bereits vorüber war.

### **Unzureichende Anforderungen**

- Trotz langjähriger Forderungen durch Pilotenvereinigungen nach strengeren Regeln zu Dienst- und Ruhezeiten von Piloten und der tatsächlichen Ausarbeitung neuer Regeln durch das kanadische Verkehrsministerium lassen diese weiterhin deutlich stärkere Belastungen für Piloten zu, als es beispielsweise in den USA der Fall ist.

### **Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten**

- Die Versäumnisse von Kapitän und Erstem Offizier beim Abarbeiten der Checkliste vor der Landung und beim Erkennen der Landebahn wurden durch deren Ermüdungszustand begünstigt. Die Kombination aus langer Wachheit und Dienst im zirkadianen Tief war in diesem Zusammenhang nachteilig.
- Der schnell erkennbaren Darstellung von wichtigen Informationen, wie der Information über die Sperrung der Landebahn 28L, wurde keine ausreichende Aufmerksamkeit gewidmet. Dadurch war diese leicht zu übersehen.

#### **2.14 Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018**

Am 11.03.2018 fiel bei einem touristischen Rundflug eines Helikopters mit offenen Türen um Manhattan das Triebwerk aus. Die Ursache des Triebwerksausfalls war eine unbeabsichtigte Betätigung der Treibstoffnotabspernung durch einen Passagier. Der Pilot nahm eine Notlandung im East River vor, da er nicht rechtzeitig die Treibstoffzufuhr wiederherstellen konnte und andere Flächen nicht geeignet erschienen. Einer der beiden aufblasbaren Schwimmkörper, die bei einer Notwasserung ein Sinken des Helikopters verhindern sollten, versagte. Deshalb drehte sich der Helikopter nach der Landung stark zur Seite und Wasser drang schnell ein. Den Passagieren gelang es nicht, sich aus den Spezialgeschirren zu befreien, die ein Abstürzen der Passagiere aus dem Helikopter hatten verhindern sollen. Zwei der fünf Passagiere verstarben unmittelbar, drei weitere in der Folge im Krankenhaus. Einzig der Pilot überlebte; er wurde leicht verletzt.



**Abb. 2.14** Bergung des Helikopters aus dem East River

Erkennbar sind die rechts nicht vollständig aufgeblasenen Schwimmkörper. Quelle:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:NTSB\\_DSC\\_0211\\_\(26100857927\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:NTSB_DSC_0211_(26100857927).jpg)

### 2.14.1 Chronologischer Ablauf

Im Folgenden sind die wichtigsten Ereignisse des Unglücks /NTS 18/ chronologisch dargestellt (Angaben in Lokalzeit EDT).

**Tab. 2.16** Chronologischer Ablauf des Absturzes eines Sightseeing-Hubschraubers in New York am 11.03.2018

Zeitangaben in Ortszeit EDT = UTC-4

Zeit	Handlung/Ablauf
ca. 11:00 Uhr	Der Pilot beginnt mit der Durchführung von 15- bis 30-minütigen touristischen Flügen über Manhattan mit dem Hubschrauber N350LH, Typ Eurocopter AS350 Écureuil, des Betreibers Liberty Helicopters für den Veranstalter FlyNYON vom Helo Kearny Heliport, New Jersey.
ca. 19:00 Uhr	Die Passagiere des Unglücksfluges kommen am Hubschrauber an. Der Pilot überprüft die handelsüblichen Absturzsicherungen aus Nylon, die von FlyNYON bereitgestellt werden und die die Passagiere bereits tragen, und legt ihnen Schwimmwesten an. Nachdem sich die Passagiere gesetzt haben, befestigt er die Sicherungsseile der Absturzsicherungen mit Karabinern an den vorgesehenen Stellen des Hubschraubers. Er gibt die Sicherheitshinweise und weist insbesondere auf die Schneidwerkzeuge hin, die an der Absturzsicherung befestigt sind und im Notfall verwendet werden sollen, um die Sicherungsseile zu durchtrennen. Der Pilot startet den Rundflug.
kurz nach 19:00 Uhr	Der Pilot fliegt in ca. 90 - 150 m Höhe über Freiheitsstatue und Brooklyn Bridge zum Central Park. Nach Erlaubnis durch die Flugsicherung von LaGuardia Airport beginnt er auf ca. 600 m zu steigen. Der Passagier im Sitz vorne links löst seinen Sicherheitsgurt, um Fotos zu schießen. Der Pilot weist ihn an, diesen wieder anzulegen.
	Alarmer aufgrund Unterdrehzahl des Rotors und niedrigem Treibstoffdruck
19:08 Uhr	Die Turbine arbeitet nicht. Der Pilot fliegt den Helikopter im Gleitflug (Autorotation). Er erwägt eine Notlandung in Central Park, sieht aber wegen der vielen dort anwesenden Personen davon ab und entschließt sich, den East River für eine eventuelle Notwasserung anzusteuern.
	Der Pilot verifiziert, dass der Treibstoff-Steuerhebel in normaler Position ist. Er versucht zweimal erfolglos, den Motor neu zu starten

Zeit	Handlung/Ablauf
	Nachdem er erkannt hat, dass er die sich auf dem Weg zum East River befindlichen Gebäude wird überfliegen können, aktiviert der Pilot auf 240 m Höhe die an den Kufen montierten aufblasbaren Schwimmkörper für Notwasserungen. Nur die Schwimmkörper an der linken Kufe blasen sich vollständig auf.
	Als Vorbereitung auf die Notlandung will der Pilot die Treibstoff-Notabspernung betätigen und entdeckt, dass diese bereits geschlossen ist. Sicherungsseile eines Passagiers befinden sich unterhalb des Hebels.
	Der Pilot öffnet die Treibstoff-Notabspernung und startet erfolgreich das Triebwerk. Die Flughöhe beträgt weniger als 90 m.
ca. 19:14 Uhr	Der Pilot erkennt, dass das Triebwerk nicht schnell genug Drehzahl aufnehmen kann, um eine Berührung des Wassers zu vermeiden. Er schließt die Treibstoff-Notabspernung wieder. Im Gleitflug setzt er auf dem East River auf. Nach einer Analyse von Videoaufnahmen ist davon auszugehen, dass der Aufschlag selbst nicht tödlich für die Passagiere war. Aufgrund des nicht vollständig aufgeblasenen Schwimmkörpers und der fehlenden Türen füllt sich die Kabine schnell mit Wasser.
	Der Pilot beginnt, die Karabiner zu lösen, mit denen die Absturzsicherung des Passagiers links vorne am Helikopter befestigt ist, muss diesen Versuch aufgrund der Überflutung allerdings abbrechen, bevor ein einziger Karabiner gelöst ist. Er öffnet seinen Sicherheitsgurt und verlässt den Hubschrauber.
	Keiner der Passagiere befreit sich durch Öffnen der Karabiner oder Durchschneiden der Seile der Absturzsicherungen.
	Ein Hafenschlepper erreicht den Helikopter und nimmt den Piloten auf. Das weitere Absinken des Hubschraubers wird verhindert, indem er am Schlepper festgebunden wird.
ca. 9 Minuten später	Rettungstaucher erreichen den Helikopter und befreien die Passagiere. Dies dauert insgesamt etwa 45 Minuten. Zwei Passagiere werden tot geborgen, drei weitere versterben im Krankenhaus.

### **2.14.2 Diskussion der Ursachen zur Identifikation der organisatorischen Einflussfaktoren**

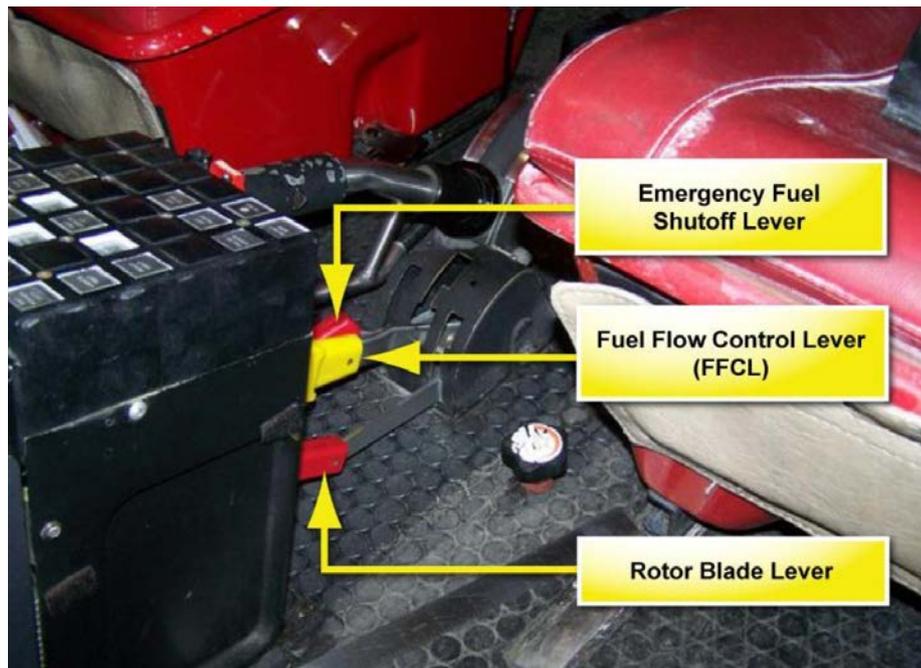
Eine wesentliche Ursache des Unglücks war, dass sich die Passagiere nicht aus ihren Absturzsicherungen befreien konnten. Diese waren handelsübliche für Bautätigkeiten vorgesehene Absturzsicherungen. Es war sehr schwierig für die Passagiere, sich im Notfall aus diesen zu befreien, da die Karabiner, mit denen sie am Hubschrauber befestigt waren, schwer zugänglich waren und das Schneidewerkzeug, mit denen die Befestigungsseile im Notfall durchgeschnitten werden sollten, hierzu nicht gut geeignet war. Dies war bei dem Veranstalter der Rundflüge FlyNYON bekannt gewesen. Piloten von FlyNYON und von Liberty hatten zwei Monate zuvor Sicherheitsbedenken diesbezüglich geäußert. Sie hatten die Verwendung einer anderen, teureren Absturzsicherung angeregt. Dies wurde vom Management von FlyNYON abgelehnt. Der Chef von FlyNYON legte fest, dass dies keine sicherheitsbezogene Fragestellung sei und Piloten sich diesbezüglich nicht an ihn wenden dürften. Weiterhin war bekannt, dass die vorhandenen Schneidewerkzeuge nicht gut geeignet waren, um die Seile zu durchtrennen. Versuche durch Angestellte im Beisein des Managements im November 2017 hatten dies gezeigt /NYT 18/. Es war ebenfalls bei FlyNYON bekannt, dass bessere Schneidewerkzeuge zur Verfügung standen. Es wurde vom Management diskutiert, ob neue Schneidewerkzeuge und Seile beschafft werden sollten, so dass ein leichteres Durchtrennen möglich wäre /VER 18a/. Bis zum Unglückszeitpunkt wurde keine Entscheidung über die Beschaffung getroffen. Dies zeigt, dass unsichere Praktiken im Betrieb akzeptiert wurden. Es gab keine angemessene Priorisierung von Sicherheit. Eine Ermunterung der Äußerung von Sicherheitsbedenken fand nicht statt – im Gegenteil wurden die Äußerung von Sicherheitsbedenken sogar durch das Management verhindert. Notwendige Entscheidungen zur Verbesserung der Sicherheit wurden nicht getroffen. Im Nachgang der Ereignisse suchten mehrere Piloten von Liberty und FlyNYON juristischen Rat einer auf Whistleblower spezialisierten Juristin, da sie bei wahrheitsgetreuen Aussagen vor den Untersuchungsbehörden Vergeltungsmaßnahmen ihrer Arbeitgeber sowie möglicher anderer Arbeitgeber dieser Industrie befürchteten. Hieraus ist zu entnehmen, dass – zumindest nach Wahrnehmung der Piloten – die Äußerung von Sicherheitsbedenken an externe Stellen nicht befördert, sondern behindert wurde /NYT 18/. Für diesen organisationalen Aspekt ist die Wahrnehmung der Beteiligten entscheidend, da hierdurch das Handeln der Personen bestimmt wird. Vor dem Unglück hatte keiner der Piloten seine Sicherheitsbedenken extern mitgeteilt.

Die Federal Aviation Administration hatte zu dem Unglückszeitpunkt keine speziellen Regeln für Hubschrauberflüge ohne Türen und insbesondere keine Anforderungen an Absturzsicherungen<sup>3</sup>, obwohl touristischen Flüge mit Helikoptern ohne Türen an mehreren Orten regelmäßig durchgeführt wurden und ihre Anzahl über die vergangenen Jahre stark zugenommen hatte. Die Absturzsicherungen wurden im Rahmen von Inspektionen nicht überprüft /NYT 18/. Den Inspektoren der FAA war die Existenz und Beschaffenheit der Absturzsicherungen allerdings bekannt. Es gab auch keine anwendbaren allgemeinen Regeln über Sicherungseinrichtungen für Flugpassagiere, die in Ermangelung konkreter Regelungen einer Überprüfung und Bewertung der Absturzsicherungen hätten zugrunde gelegt werden können. Somit lagen nur unzureichende Anforderungen für die Sicherung von Flugpassagieren und für den Betrieb von Helikoptern mit offenen Türen vor. Spezielle Anforderungen für den Betrieb von Helikoptern mit offenen Türen und für Absturzsicherungen wurden in der Folge des Unglücks von der FAA entwickelt.

Weiterhin wesentlich für das Unglück war die unbeabsichtigte Betätigung der Treibstoffnotabspernung durch den Passagier. Dafür waren einerseits die ungünstigen Absturzsicherungen, andererseits das Design und die ungünstige Platzierung im möglichen Bewegungsbereich des Passagiers vorne links entscheidend (siehe Abbildung 2.15). Die möglichen Sicherheitsprobleme dieses Designs waren auch beim Hersteller bekannt. Das National Transportation Safety Board (NTSB) hatte zuvor nach mehreren Vorläufereignissen eine Überprüfung von Anordnung und Design der Hebel und die Forderung entsprechender Modifikationen durch die FAA empfohlen. Der Hersteller hatte das Design für Nachfolgemodelle so verändert, dass eine versehentliche Betätigung nicht mehr zu befürchten war. Er hatte auch eine Umrüstung für das betroffene Modell angeboten. Diese war allerdings nicht obligatorisch. Die Einschätzung, dass eine Umrüstung nicht zwingend erforderlich war, war bei der FAA bestätigt worden. Der Betreiber des Hubschraubers, Liberty, verzichtete auf eine freiwillige Umrüstung. Hier wurde somit bei den beteiligten Organisationen außer dem NTSB die Sicherheit nicht priorisiert.

---

<sup>3</sup> Nur für „Personnel Carrying Device Systems“, mit denen Personen außerhalb des Hubschraubers gehalten werden, z. B. beim Abseilen, waren Regeln vorhanden.



**Abb. 2.15** Anordnung von Treibstoffregelungshebel (Fuel Flow Control Lever) und Treibstoffnotabspernung (Emergency Fuel Shutoff Lever)

Das Bild wurde /NTS 10/ entnommen.

Eine weitere wesentliche Ursache des Ereignisses waren die sich nicht aufblasenden Schwimmkörper einer Kufe /VER 18/. Ursache war den Untersuchungen nach wahrscheinlich ein technischer Einzelfehler. Hieraus ergeben sich keine Erkenntnisse über organisationale Faktoren.

Bemerkenswert an diesem Ereignis ist, dass unter den Angestellten wichtige Elemente einer guten Sicherheitskultur vorhanden waren. Sicherheitsdefizite wurden erkannt und Sicherheitsbedenken wiederholt geäußert. Dies ging so weit, dass sogar eine Demonstration der Schwierigkeit, sich im Notfall aus der Absturzsicherung befreien zu können, mit dem verantwortlichen Management veranstaltet wurde. Diese positiven organisatorischen Eigenschaften konnten jedoch nicht wirksam werden, da die verantwortliche Unternehmensleitung keine Verbesserung der Sicherheit vornahm.

### **2.14.2.1 Zusammenfassung der organisatorischen Einflussfaktoren**

Bei dem Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018 können folgende relevante organisationale Einflussfaktoren identifiziert werden:

#### **Akzeptieren von unsicheren Zuständen**

- Obwohl bekannt war, dass sich die Passagiere aus den Absturzsicherungen im Notfall nur sehr schwer befreien konnten, wurden die Rundflüge so weiter betrieben.
- Obwohl die Gefahr einer ungewollten Betätigung der Treibstoffnotabspernung bekannt war, führte der Rundflugbetreiber keine freiwillige Umrüstung durch und betrieb die Rundflüge so weiter.

#### **Aufschieben von Entscheidungen**

- Bis zum Unglückszeitpunkt wurde keine Entscheidung über die Beschaffung von Absturzsicherungen, die eine leichtere Evakuierung der Passagiere im Notfall ermöglichen, getroffen.

#### **Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

- Der FAA waren die zunehmenden touristischen Flüge mit Hubschraubern mit offenen Türen und die verwendeten Absturzsicherungen bekannt. Vor dem Unfall wurden jedoch keine Regeln hierfür entwickelt.

#### **Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

Positive Ausprägung des Merkmals (nicht wirksam):

#### **Äußerung von Sicherheitsbedenken:**

- Die Mitarbeiter haben Sicherheitsdefizite erkannt und Sicherheitsbedenken wiederholt geäußert und sich um Verbesserungen der Sicherheit bemüht.

#### **Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

- Sicherheitsbedenken der Mitarbeiter bezüglich der Absturzsicherungen wurden vom Management nicht aufgenommen.

### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Obwohl bekannt war, dass sich die Passagiere aus den Absturzsicherungen im Notfall nur sehr schwer befreien konnten, wurden die Rundflüge so weiter betrieben und die sichereren, aber teureren, alternativen Absturzsicherungen nicht beschafft.
- Obwohl die Gefahr einer ungewollten Betätigung der Treibstoffnotabspernung bekannt war, wurde keine Modifikation vorgenommen und von der Aufsichtsbehörde auch nicht verlangt.

### **Keine ständige Verbesserung**

- Dem Betreiber waren einfache Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit bekannt. Diese wurden nicht implementiert.
- Von den Angestellten von FlyNYON und Liberty wurden Möglichkeiten der Verbesserung aufgezeigt. Dies wurde aber wegen Entscheidungen des Managements nicht wirksam.
- Der FAA waren die zunehmenden touristischen Flüge mit Hubschraubern mit offenen Türen und die verwendeten Absturzsicherungen bekannt. Vor dem Unfall wurden jedoch keine Initiativen ergriffen, das Regelwerk diesbezüglich hierfür weiterzuentwickeln.

### **Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken (nicht wirksam)**

- Die Äußerung von Sicherheitsbedenken durch die Mitarbeiter wurde nicht unterstützt, sondern die Mitarbeiter entmutigt. Die Äußerung von Sicherheitsbedenken an das Management bzgl. der Absturzsicherungen wurde sogar explizit untersagt. Trotzdem haben Mitarbeiter intern Sicherheitsbedenken geäußert. Dieses Merkmal war somit in Bezug auf die interne Äußerung von Sicherheitsbedenken nicht für die Entstehung der Katastrophe wirksam.
- Unter Mitarbeitern bestand die Befürchtung, bei Äußerung von Sicherheitsbedenken bei externen Stellen die berufliche Zukunft zu gefährden. Mehrere Mitarbeiter nahmen vor einer Anhörung zum Unglück diesbezüglich eine Rechtsberatung in Anspruch. Mitarbeiter hatten vor dem Unglück keine Sicherheitsbedenken bei externen Stellen geäußert. Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass eine solche Äußerung zur Vermeidung der Katastrophe geführt hätte, da die Flüge in Übereinstimmung mit den geltenden Regeln durchgeführt wurden.

Somit war dieses Merkmal zwar in der Organisation vorhanden, aber nicht für die Entstehung der Katastrophe wirksam.

#### **Pro-aktive Suche nach Sicherheitsdefiziten (nicht wirksam)**

- Bei den Angestellten von FlyNYON und Liberty wurden pro-aktiv die Sicherheitsdefizite identifiziert. Dies wurde aber wegen Entscheidungen des Managements nicht wirksam.

#### **Unzureichende Anforderungen**

- Es gab keine speziellen Anforderungen für den Betrieb von Helikoptern mit offenen Türen und für Absturzsicherungen für Passagiere bei solchen Flügen.
- Es gab auch keine anwendbaren allgemeinen Regeln über Sicherungseinrichtungen für Flugpassagiere, die in Ermangelung konkreter Regelungen einer Überprüfung und Bewertung der Absturzsicherungen hätten zugrunde gelegt werden können.

### **2.15 Organisatorische Merkmale der in der Vorstudie untersuchten Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012**

In einer Vorstudie /FOR 17/ wurden drei Ereignisse in Bezug auf organisatorische Merkmale untersucht, die zur Entstehung der Katastrophen beitrugen. Es waren dies:

- Nuklearkatastrophe von Fukushima am 11.03.2011
- Explosion der Bohrplattform Deepwater Horizon am 20.04.2010
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia am 13.01.2012

Von diesen Ereignissen wurde für die Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia die relevanten organisatorischen Merkmale in einer der jetzigen Untersuchung vergleichbaren Tiefe und insbesondere Vollständigkeit ermittelt. Die Untersuchung der beiden anderen Ereignisse diente dazu, die Möglichkeit der Beschaffung der erforderlichen Informationen an weiteren Ereignissen zu validieren und die gefundenen Merkmale zu bestätigen sowie neue Merkmale zu identifizieren. Eine Vollständigkeit der gefundenen Merkmale in Bezug auf die grundsätzlich zugänglichen Informationsquellen wurde hier nicht angestrebt. Deshalb werden im Folgenden nur die Merkmale der Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia in die quantitativen Untersuchungen einbezogen.

Da die Bezeichnungen und Charakterisierungen der Merkmale im Laufe der Untersuchungen weiterentwickelt wurden, wurde das Ereignis in Bezug auf die aktuellen Merkmale erneut ausgewertet. Im Folgenden sind die so identifizierten organisatorischen Merkmale der Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia aufgeführt:

#### **Aufschieben von Entscheidungen**

- Die Entscheidung zum Evakuieren des Schiffes wurde nicht rechtzeitig getroffen.

#### **Autoritäre Führung**

- Der Kapitän hatte einen autoritären Führungsstil.

#### **Duldung von Nichtkonformitäten**

- Das regelmäßige Navigieren unzulässig nahe der Küste wurde von der Reederei geduldet.

#### **Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen**

- Es wurde von dem geplanten Kurs abgewichen. Hierfür existierte keine beschriebene Vorgehensweise.

#### **Fehlende oder unzureichende interne Überwachung**

- Die Einhaltung der Vorschriften wurde von der Reederei nicht systematisch überwacht.

#### **Hierarchische Organisation (nicht wirksam)**

- Die vorhandene hierarchische Organisation innerhalb der Organisation hatte sich bei Notfallübungen als prinzipiell geeignet erwiesen. Trotzdem kam es im Ernstfall zu schwerwiegenden Fehlern.

#### **Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

- Der Verlauf der Evakuierung wurde aufgrund von Kommunikationsdefiziten, u. a. aufgrund der unterschiedlich ausgeprägten Fähigkeiten in Bezug auf Sprach- bzw. Fremdsprachenkenntnisse der Mannschaftsmitglieder, negativ beeinflusst.

- Kommunikationsprobleme zwischen Kapitän und Steuermann haben zur Entstehung des Unglücks beigetragen, indem sie zu einer falschen bzw. verzögerten Ausführung von Anweisungen führten.
- Es ist ebenfalls davon auszugehen, dass die Wahl von Italienisch als die Sprache, in der von der Leitung der Reederei Costa Crociere die sicherheitsrelevante Dokumentation verfasst wurde, die Kommunikation ihrer Inhalte aufgrund der unterschiedlichen Sprachkenntnisse der Mannschaft negativ beeinflusst hat. Italienisch war gewählt worden, weil die Erstellung der notwendigen Dokumentation so einfacher war.

#### **Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

- Offiziere haben keine Sicherheitsbedenken in Bezug auf das regelmäßige Navigieren unzulässig nahe der Küste geäußert.
- Der zuständige Offizier hat keine Sicherheitsbedenken geäußert in Bezug auf das Fehlen detaillierter Karten für die Planung des küstennahen Kurses.

#### **Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Bei der regelmäßigen Fahrt nahe der Küste wurde Sicherheit anderen Aspekten untergeordnet.

#### **Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken**

- Die Äußerung von Sicherheitsbedenken wurde nicht gefördert. Da zahlreiche unzulässige Verhaltensweisen und Sicherheitsdefizite in Vorfeld bzw. im Verlauf des Unglücks auftraten und einer größeren Anzahl von Personen bekannt waren, jedoch keine Sicherheitsbedenken geäußert wurden, wird davon ausgegangen, dass dieses Merkmal wirksam wurde.

#### **Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Der Kapitän erwies sich als für seine Aufgabe nicht geeignet – sowohl im Vorfeld des Ereignisses als auch insbesondere nach Eintritt des Unfalls. Die persönlichen Eigenschaften und das Führungsverhalten des Kapitäns waren bei der Reederei bekannt gewesen.

### **Unzureichende Notfallplanungen**

- Positive Ausprägung des Merkmals:

#### **Angemessene Notfallplanungen (nicht wirksam):**

Wie mehrere erfolgreich durchgeführten Notfallübungen zeigen, waren die Notfallplanungen angemessen. Trotzdem kam es im Ernstfall zu schwerwiegenden Fehlern.

### **Unzureichende Durchführung von Notfallübungen**

- Positive Ausprägung des Merkmals:

#### **Durchführung von Notfallübungen (nicht wirksam):**

Notfallübungen, die auch die erforderliche Maßnahme, die Evakuierung des Schiffs, umfassten, wurden mehrmals erfolgreich durchgeführt. Trotzdem kam es im Ernstfall zu schwerwiegenden Fehlern.

### **3 Bildung von Merkmalen für die Bewertung kerntechnischer Anlagen**

Im Folgenden werden die Merkmale zusammengestellt, bewertet und diskutiert mit dem Ziel, eine Menge von erfassbaren Merkmalen für deutsche kerntechnische Anlagen zu ermitteln.

#### **3.1 Zusammenfassende Darstellung der identifizierten wirksamen Merkmale**

Im Folgenden sind die organisatorischen Einflussfaktoren aufgeführt, die bei den untersuchten Ereignissen wirksam geworden sind. Es werden die entsprechenden Ereignisse genannt und angegeben, auf welche Weise sie gewirkt haben. Die Merkmale sind jeweils als Katastrophenursachen (negative Merkmale) aufgeführt. Bei positiver Ausprägung der Merkmale, die zur Beherrschung bzw. Mitigation beigetragen hat, ist darauf speziell hingewiesen.

##### **3.1.1 Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Obwohl das Fehlschließen des Erdungstrenners einen Erdschluss in einer 6 kV-Verteilung auslösen konnte, löste der Obermonteur zu Schulungszwecken mittels eines nicht zugelassenen Hilfsmittels (Flachzange) die Verriegelung des Erdungstrenners.
- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Die Anlage war so ausgelegt, dass ein Einzelfehler in einem Schalter dazu führen konnte, dass ein Erdschluss nicht beherrscht wird.
- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
In der Kabeltrasse lagen sowohl Stromversorgungs- als auch Leittechnikabel. Eine Redundanztrennung war nicht gegeben.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Obwohl das mit der Einführung von Rädern neuen Typs ohne längere Betriebsbewährung und ohne Dauererprobung verknüpfte Risiko bekannt war, wurden diese trotzdem umfassend eingeführt.

- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001:  
Obwohl die bei Umschulungsversuchen zutage getretenen mangelhaften Fähigkeiten des Kapitäns seit längerer Zeit bekannt gewesen waren, entschied sich die Airline, diesen weiterhin zu beschäftigen.
- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
Berichte über technische Mängel an eingesetzten Zügen durch das Zugpersonal wurden bei JR West zwar zur Kenntnis genommen, Maßnahmen zur Behebung der Mängel wurden allerdings nicht ergriffen.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Trotz der sich rapide verschlechternden Situation an Bord hielt der Kapitän an der Fortsetzung der Fahrt Richtung Ägypten fest.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Die Signaltechnik war (wie auch auf anderen spanischen Hochgeschwindigkeitsstrecken) so ausgelegt, dass keine automatische Abbremsung erfolgt, wenn der Lokführer es versäumt abzubremsen. Lediglich eine Totmanneinrichtung war vorhanden.

### **3.1.2 Akzeptieren von unsicheren Zuständen**

- Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977:  
Trotz auffälligen Verhaltens wurde der Pilot von der Crew nicht davon abgehalten, das Flugzeug zu fliegen.
- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Bereits im Vorfeld der Katastrophe hatte es kleinere Unfälle mit Toten und Verletzten gegeben, die die wachsende Unsicherheit der Anlage offenbarten. Daraus wurden jedoch weder von der Union Carbide India Limited noch von der Union Carbide Corporation Konsequenzen in Form von verstärkten Sicherheitsmaßnahmen gezogen.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Obwohl die Instabilität der Fähre im überladenen Zustand bekannt war, wurde sie weiterhin so betrieben.

- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Obwohl bekannt war, dass sich die Passagiere aus den Absturzsicherungen im Notfall nur sehr schwer befreien konnten, wurden die Rundflüge so weiter betrieben. Darüber hinaus akzeptierte der Rundflugbetreiber ein zusätzliches Sicherheitsdefizit, indem er, obwohl die Gefahr einer ungewollten Betätigung der Treibstoffnotabspernung bekannt war, keine freiwillige Umrüstung durchführte.

### 3.1.3 Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter

- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
JR West fügte der betroffenen Bahnlinie eine zusätzliche Haltestelle hinzu, ohne den Zeitplan entsprechend anzupassen. Dies erschwerte es den Lokführern, den Fahrplan einzuhalten.
- Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017:  
Durch die ungünstigen Dienstzeiten und die Notwendigkeit, auch im ermüdeten Zustand zu fliegen, waren die Piloten hoch belastet.

### 3.1.4 Aufschieben von Entscheidungen

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Eine Entscheidung zur Inbetriebnahme der geplanten redundanten Schutzeinrichtung wurde bis zum Störfall nicht getroffen.
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen:**  
Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Die Rettungsarbeiten wurden unmittelbar nach dem Unfall in die Wege geleitet. Da das Ausmaß sehr schnell erkannt wurde, wurden umfangreiche Ressourcen mobilisiert, so dass es zu keinen Engpässen bei der Bergung und der Versorgung der Überlebenden kam.

- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen:**  
Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Nach Bekanntwerden der Kontamination des Flusswassers wurden schnelle Maßnahmen ergriffen. Die Einberufung eines Krisenstabs durch die Lokalregierung von Dianjiang und der Einsatz von Fachpersonal zur Beseitigung des Benzolteppichs ermöglichten eine zeitnahe Beherrschung der Situation.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Obwohl sich die Lage an Bord durch den Brand und die zu dessen Bekämpfung eingeleiteten Löscharbeiten dramatisch zuspitzte, gab der Kapitän keinen Befehl zur Umkehr nach Duba oder zur Evakuierung der Passagiere.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Bis zum Unglückszeitpunkt wurde keine Entscheidung über die Beschaffung von Absturzsicherungen, die eine leichtere Evakuierung der Passagiere im Notfall ermöglichen, getroffen.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Die Entscheidung zum Evakuieren des Schiffes wurde nicht rechtzeitig getroffen.

### 3.1.5 **Autoritäre Führung**

- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Der Kapitän hatte einen autoritären Führungsstil.

### 3.1.6 **Bestrafungskultur**

- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
Zwischenfälle, die sich während des Fahrbetriebes ereignen, müssen gemeldet werden. Die Lokführer werden jedoch sowohl bei Meldung als auch bei Nichtmeldung von Fehlhandlungen bestraft, was zu starkem Stress führt und die Fehleranfälligkeit erhöht.

### **3.1.7 Dienstausbübung unter Drogeneinfluss**

- Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977:  
Durch starken Alkoholkonsum war der Pilot unfähig, die Maschine zu fliegen.

### **3.1.8 Duldung von Nichtkonformitäten**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Erforderliche Anlagendokumentation war vielfach nicht vorhanden.
- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Es wurde eine Schulung an einem Schalter mit Betätigung ohne notwendigen Arbeitsauftrag durchgeführt. Hierzu wurde ein unzulässiges Werkzeug benutzt.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Vorfallsberichte wurden nicht gemäß den im Managementsystem festgelegten Anforderungen angefertigt.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Vorgeschriebene Parameter der Radreifen wurden regelmäßig nicht eingehalten.
- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001:  
Obwohl die Nebentätigkeit des Kapitäns als Fluglehrer bekannt war, wurde weder von Crossair noch von der Flugschule Horizon Swiss Flight Academy eine Koordination der Ruhezeiten seiner Haupt- und Nebentätigkeit vorgenommen, wie es eigentlich vorgeschrieben war.
- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001:  
Die Wartung der Maschine sowie die Überprüfung der Einhaltung von Sicherheitsstandards durch das Bundesamt für Zivilluffahrt erfolgten nicht den Regularien entsprechend. Eine direkte Auswirkung auf den Absturz der Maschine hatte dies offenbar nicht.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Das regelmäßige Navigieren unzulässig nahe der Küste wurde von der Reederei geduldet.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Die Empfehlungen des Betreibers zur Beschränkung des Telefonierens wurden in der betrieblichen Praxis nicht vollständig umgesetzt.

### **3.1.9 Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung**

- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001:  
Es existierte innerhalb der Airline kein Prozess, der die bei Schulungsmaßnahmen gesammelten Informationen über die Fähigkeiten von Piloten einbezog, um deren Eignung für die (Weiter-)Beschäftigung kontinuierlich zu prüfen.

### **3.1.10 Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen**

- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Es wurde nicht systematisch ermittelt und kommuniziert, welche Mängel und Grenzwerte sicherheitsrelevant sind, so dass das Prüfpersonal die bei Prüfungen aufgenommenen Werte zur Unrundheit der Räder nicht korrekt einordnen konnte.
- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf, Schweiz 2001:  
In der von der Flugzeugbesatzung verwendeten Anflugkarte waren 2 Flughindernisse nicht eingezeichnet. Mit einem dieser Hindernisse kollidierte die Maschine schließlich.

### **3.1.11 Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen**

- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Es wurde von dem geplanten Kurs abgewichen. Hierfür existierte keine beschriebene Vorgehensweise.

### **3.1.12 Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen**

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Esso hatte dem Bedienpersonal und deren Vorgesetzten keine Arbeitsanweisungen zur Verfügung gestellt, die das Vorgehen in der dem Unglück vorausgehenden Situation (Stillstand der Leichtölpföhrerpumpen und daraus resultierende starke Abkühlung von Rohrleitungen, Behältern und Armaturen) vorgaben.
- Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005:  
In der Arbeitsanweisung für Drucktests im Handbuch des Flugzeugherstellers Boeing wird nicht darauf eingegangen, dass der Arbeitsschritt „Put the Airplane back into its Initial Condition“ das Einstellen des Schalters für den Druckaufbau in der Kabine auf AUTO beinhalten sollte.

### 3.1.13 Fehlende oder unzureichende Aufsicht

- **Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:**  
Es war die Aufgabe der lokalen Behörden von Madhya Pradesh, bei der Genehmigung der Errichtung der Chemiefabrik am vorgesehenen Standort die Sicherheit der Bewohner der Stadt Bhopal sowie umliegenden Slums sicherzustellen. Gleichzeitig führten die direkte Beteiligung der indischen Regierung an der UCIL und enge Kontakte zwischen hochrangigen Offiziellen der Lokalregierung und von der UCC dazu, dass die Erfüllung der Kriterien für die Baugenehmigung nicht unvoreingenommen überprüft wurden.
- **Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:**  
Die Behörden im Bundesstaat Victoria haben die Anfertigung eines Sicherheitsberichtes, der die potenzielle Gefährdungssituationen der Anlage identifiziert und die erforderlichen sicherheitstechnischen Vorkehrungen und Maßnahmen darlegt, nicht frühzeitig von Esso eingefordert.
- **Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:**  
Die zuständige Aufsichtsbehörde war organisatorisch nicht von der Bahn getrennt. Hiermit bestand eine direkte Einwirkungsmöglichkeit des Bahnvorstandes auf Zulassungsentscheidungen.
- **Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005:**  
Die zyprische Luftfahrtbehörde DCA verfügte nicht über ausreichend qualifiziertes Personal in ausreichender Zahl. Die britische Luftfahrtbehörde CAA sollte sie deshalb beratend unterstützen, tatsächlich übernahm die DCA aber ungeprüft Empfehlungen der CAA, ohne diese an die eigenen Bedürfnisse und Umstände anzupassen. Die Um- und Durchsetzung der europäischen Standards gegenüber den in Zypern aktiven Fluggesellschaften fand praktisch nicht statt. Maßnahmen zur Verbesserung dieses Zustandes waren in den Jahren 1999 bis 2005 nicht zu erkennen.
- **Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:**  
Obwohl die Fähre durch die ägyptische Schifffahrtsbehörde nicht vollständig inspiziert worden war und Sicherheitsmängel zu verzeichnen waren, war sie dennoch vollständig mit den erforderlichen Sicherheitszertifikaten ausgestattet worden.

- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Da das Schiff unter panamaischer Flagge fuhr, waren panamaische Behörden dafür verantwortlich, eine jährliche Sicherheitsinspektion durchzuführen. Dies hatte nicht rechtzeitig stattgefunden, dennoch hatte dies keine Konsequenz für den Betrieb der Fähre.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Die Hafenbehörde von Incheon zeichnete die Ladungsmengen jeder Fahrt der Fähre auf, unternahm allerdings keine Schritte, um eine Einhaltung der erlaubten Menge zu gewährleisten.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Der Federal Aviation Administration FAA waren die zunehmenden touristischen Flüge mit Hubschraubern mit offenen Türen und die verwendeten Absturzsicherungen bekannt. Vor dem Unfall wurden keine Regeln hierfür entwickelt.

#### **3.1.14 Fehlende oder unzureichende interne Überwachung**

- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Die Überwachung der Einhaltung der Sicherheitsstandards durch die UCC fand nur formal statt. Zwar wurden im Jahr 1982 amerikanische Ingenieure mit dem Auftrag der Inspektion der Anlage nach Bhopal entsandt, dieser Besuch diente jedoch lediglich dem Zweck, UCC zu bestätigen, dass die Anlage einwandfrei funktioniert und instandgehalten wird. Der Bericht über die tatsächlich vorliegenden zahlreichen und teils gravierenden Mängel hatte keine Konsequenzen.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Logbuch-Einträge wurden weder von der Anlagenleitung noch vom Management in Melbourne kontrolliert.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Ein vor dem Unfall durchgeführtes Audit des Managementsystems ergab, dass dieses erfolgreich implementiert wurde. Dieses Urteil hielt einer Prüfung nach dem Unfall nicht stand.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Die Einhaltung der Vorschriften wurde von der Reederei nicht systematisch überwacht.

### **3.1.15 Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse**

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Eine geplante HAZOP wurde nicht durchgeführt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gefahren, die zum Unfall beigetragen haben, identifiziert hätten. Die Gründe für die Nicht-Durchführung konnten nicht abschließend geklärt werden.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Eine Risikoanalyse wurde nur unzureichend durchgeführt. Es wurde kein Szenario untersucht, welches Prozessstörungen betrachtete, die zu dem Unfall geführt haben. Die zuletzt durchgeführte Risikoanalyse aus dem Jahr 1994 hatte nur einen verringerten Umfang aufgrund der geplanten aber nicht durchgeführten anstehenden Gefahrenanalyse HAZOP. Eine geplante Risikoanalyse für das Jahr 1997 wurde von einem Exekutivausschuss des Esso-Vorstands zudem verschoben.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Die Analyse der durch die neue Bauart der Räder folgenden Risikoänderung war nicht ausreichend, insbesondere in Bezug auf die nun anderen wichtigen Ausfallmechanismen und die notwendigen Änderungen der Inspektionen.

### **3.1.16 Fehlende oder unzureichende Schulungen**

- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Aufgrund von Sparmaßnahmen wurden die Sicherheitstrainings des Anlagenpersonals stark verkürzt.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Esso hatte das Personal nicht ausreichend geschult, um das Wissen zu vermitteln, das für eine angemessene eigenständige Evaluierung des vor der Explosion herrschenden Anlagenzustandes notwendig gewesen wäre.
- Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005  
Es fanden keine Schulungen des Personals der zypriotischen Luftfahrtbehörde DCA zum Umgang mit den von der britischen CAA zur Verfügung gestellten Handbücher statt.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Statt das Personal sicherheitstechnisch zu schulen, wurde lediglich ein Papierzertifikat gekauft.

### **3.1.17 Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem**

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Das Managementsystem wurde in der Praxis nur unzureichend umgesetzt bzw. implementiert. Hier ist insbesondere die mangelhafte Implementierung eines adäquaten Erfahrungsrückflusses, wie im Managementsystem vorgesehen, zu nennen.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Das Managementsystem war zusammen mit den unterstützenden Handbüchern komplex. Zudem war die Dokumentation repetitiv, zirkulär und enthielt unnötige Querverweise. Teilweise war die Darstellung schwer verständlich.

### **3.1.18 Frustration der Mitarbeiter**

- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Aufgrund der aus den massiven Einsparungen resultierenden kontinuierlichen Verschlechterung der Sicherheit der Anlage machten sich bei den verbliebenen Angestellten Unzufriedenheit und Ärger über die Umstände breit.

### **3.1.19 Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen**

Dieses Merkmal wirkte positiv auf die Mitigation eines Ereignisses:

- Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Durch eine klare Hierarchie zwischen den Behörden waren die Zuständigkeiten für das Ergreifen von Notfallmaßnahmen schnell geklärt.

### **3.1.20 Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite**

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Bei den Schichtübergaben wurde kein großer Aufwand betrieben, Prozessprobleme und Log-Einträge zu diskutieren. Die Diskussionen betrafen hauptsächlich auf die Produktion bezogene Themen wie zum Beispiel die Gasnachfrage. So wurde während der Schichtübergabe vor der Explosion nicht der für das Unfallgeschehen wesentliche hohe Füllstand des Absorber B erwähnt.

- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Es wurde nicht systematisch kommuniziert, welche Mängel und Grenzwerte sicherheitsrelevant sind, so dass das Prüfpersonal die bei Prüfungen aufgenommenen Werte zur Unrundheit der Räder nicht korrekt einordnen konnte.
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Keine inhaltsbezogenen Kommunikationsdefizite:**  
Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Nach Eintritt des Notfalls wurden die erforderlichen Maßnahmen schnell und effektiv kommuniziert.
- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001:  
Dem Cheffluglehrer bei Crossair waren die vorherigen gescheiterten Versuche des Unglückskapitäns zur Qualifikation für andere Flugzeugtypen nicht bekannt.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Die Schiffsbesatzung teilte weder Passagieren noch Schiffen in der Umgebung Informationen über die Notlage, die an Bord herrschte, mit.

### 3.1.21 Kanalbezogene Kommunikationsdefizite

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Es kam zu Schwierigkeit bei der Kommunikation zwischen den Ingenieuren in Melbourne und den Mitarbeitern auf der Anlage in Longford. Gegenseitige Anrufversuche vor der Explosion scheiterten zunächst. Bei einem späteren Telefonat zwischen einem Ingenieur und dem Schichtleiter auf der Anlage konnten nicht alle wichtigen Informationen ausgetauscht werden.
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite:**  
Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Nach Eintritt des Notfalls wurden die erforderlichen Maßnahmen schnell und effektiv kommuniziert.

- Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005:  
Da der kontaktierte Bodeningenieur Brite war und der deutsche Pilot nur mit starkem Akzent Englisch sprach, bestanden Schwierigkeiten bei der Kommunikation. Unter anderem dadurch konnte die eigentliche Problemlage dem Bodeningenieur nicht vermittelt werden, bevor die Aufmerksamkeit des Kapitäns durch den Alarm MASTER CAUTION auf die Instrumentenkühlung gelenkt wurde.
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite:**  
Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Das chinesische Umweltministerium entsandte Notfall- und Expertenteams nach Dianjiang, die den Helfern vor Ort Instruktionen zur Entfernung der Verschmutzung gaben.
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite:**  
Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Zwischen den für die betroffenen Distrikte verantwortlichen Behörden wurde frühzeitig und deutlich kommuniziert, so dass bei der Beherrschung der Situation keine Zeitverzögerungen entstanden.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Langsame und ineffiziente Kommunikation der Institutionen an Land über viele Stationen, durch die die Hafenbehörde in Safaga und die ägyptische Rettungsleitstelle erst Stunden nach dem Untergang der Fähre Rettungsmaßnahmen einleiten konnten.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Die Crewmitglieder auf der Brücke gaben dem Personal am Servicedesk den Befehl, die Passagiere per Lautsprecherdurchsage zur Evakuierung aufzufordern, stellten aber nicht sicher, ob dieser Befehl auch wahrgenommen und ausgeführt wurde.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Die Crewmitglieder waren nicht in der Lage, die Passagiere von der Brücke aus per Lautsprecherdurchsage zur Evakuierung aufzufordern.

- Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017:  
Die Information über die Sperrung der Landebahn 28L befand sich ohne zusätzliche Kennzeichnung in der Textmitte des ATIS-Signals. Zudem enthielt sie einen Zeilenumbruch. Obwohl die Information zur Sperrung der Landebahn die Piloten zu einem Zeitpunkt erreichte, als deren Arbeitsbelastung eher gering war, konnte sich im Nachgang keiner der beiden daran erinnern, die Meldung gesehen zu haben.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Der Verlauf der Evakuierung wurde aufgrund von Kommunikationsdefiziten, u. a. aufgrund der unterschiedlich ausgeprägten Fähigkeiten in Bezug auf Sprach- bzw. Fremdsprachenkenntnisse der Mannschaftsmitglieder, negativ beeinflusst.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Kommunikationsprobleme zwischen Kapitän und Steuermann haben zur Entstehung des Unglücks beigetragen, indem sie zu einer falschen bzw. verzögerten Ausführung von Anweisungen führten.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Es ist ebenfalls davon auszugehen, dass die Wahl von Italienisch als die Sprache, in der von der Leitung der Reederei Costa Crociere die sicherheitsrelevante Dokumentation verfasst wurde, die Kommunikation ihrer Inhalte aufgrund der unterschiedlichen Sprachkenntnisse der Mannschaft negativ beeinflusst hat. Italienisch war gewählt worden, weil die Erstellung der notwendigen Dokumentation so einfacher war.

### **3.1.22 Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen**

- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Es war in der Organisation nicht klar, welche Grenzwerte sicherheitsrelevant waren.  
Es existierte keine systematische Kennzeichnung sicherheitsrelevanter Kriterien.

### **3.1.23 Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen**

- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Verantwortliche der zuständigen Behörden (Koreanisches Schiffsregister, Hafenbehörde von Incheon, Koreanische Schifffahrtsvereinigung) behandelten ausschließlich Informationen, die unmittelbar in ihren Zuständigkeitsbereich fielen. Eine Beschaffung von zusätzlichen Informationen oder eine Kommunikation der eigenen Informationen an andere Stellen, die eine Beurteilung der Sicherheit des Fährbetriebs erlaubt hätten, fand nicht statt.

### **3.1.24 Kein systematisches Management der Sicherheit**

- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Es wurde nicht systematisch ermittelt und kommuniziert, welche Mängel und Grenzwerte sicherheitsrelevant sind.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Die Voraussetzung der Entscheidung, nicht betriebsbewährte Räder neuen Typs umfänglich einzusetzen, eine effektive Überwachung, wurde tatsächlich nicht implementiert und die Prozesse und Einrichtungen der Radsatzinspektion wurden nicht angepasst.

### **3.1.25 Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven**

- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Zu diesem Unglück trugen verschiedene Einzelfaktoren bei, die in Summe das Versagen des Lokführers wesentlich begünstigten:
  - geringe mögliche Fehlertoleranz; der Fahrplan sieht ein scharfes Abbremsen am Ende der Schnellfahrstrecke vor.
  - keine konsistente Beschilderung der zulässigen Geschwindigkeit und der zu erwartenden Geschwindigkeitsbeschränkungen auf mit ETCS ausgerüsteten Strecken.
  - Nichtverfügbarkeit von ETCS, daher keine Warnmeldung vor Ende des Hochgeschwindigkeitsabschnittes
  - zulässige zusätzliche Belastung des Lokführers durch gleichzeitiges Telefonieren, keine konsistente Umsetzung der Empfehlungen zum Beschränken des Telefonierens
  - generell mögliche hohe Belastung der Lokführer durch lange Arbeitszeiten

### **3.1.26 Keine ausreichende Qualitätssicherung**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Die zahlreichen Ausfälle von sicherheitsrelevanten technischen Einrichtungen und Mängeln an der Dokumentation sowie das Fehlen von wirksamen Prüfungen (insbesondere Inbetriebsetzungsprüfungen) und das Fehlen von entsprechender Dokumentation zeigen, dass keine ausreichende Qualitätssicherung vorhanden war.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Die Prüfungen waren nicht geeignet, sicherheitsrelevante Fehler rechtzeitig zu erkennen.

### **3.1.27 Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Offiziere haben keine Sicherheitsbedenken in Bezug auf das regelmäßige Navigieren unzulässig nahe der Küste geäußert.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Der zuständige Offizier hat keine Sicherheitsbedenken geäußert in Bezug auf das Fehlen detaillierter Karten für die Planung des küstennahen Kurses.

### **3.1.28 Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

- Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977:  
Trotz Hinweises des Taxiunternehmens, mit dem der Pilot zum Flughafen befördert wurde, wurden von JAL keine Schritte unternommen, die Flugtauglichkeit des Piloten zu überprüfen.
- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Bereits bei der Planung und Errichtung der Anlage im Jahr 1969 wurden Sicherheitsbedenken geäußert, die sich auf den Standort sowie die Lagerung großer Mengen von MIC bezogen. Diese Faktoren erwiesen sich später als entscheidend für den Katastrophenverlauf. Den Sicherheitsbedenken wurde keine weitere Beachtung geschenkt.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Der Kapitän ging auf Bedenken und Vorschläge seiner Crewmitglieder nicht ein.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Obwohl von Besatzungsmitgliedern um ein Beenden des Überladens der Sewol-Ho gebeten wurde, wurden diese Einwände ignoriert.
- Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017:  
Trotz der über einen langen Zeitraum öffentlichkeitswirksam geäußerten Bedenken von Pilotenvereinigungen bezüglich der Dienst- und Ruhezeiten sah man an verantwortlicher Stelle keine Veranlassung, der Forderung nach strengeren Regeln nachzukommen.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Sicherheitsbedenken der Mitarbeiter bezüglich der Absturzsicherungen wurden vom Management nicht aufgenommen.

### **3.1.29 Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken**

- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Langjährig übliche Praktiken anderer Industrien wie Vier-Augen-Prinzip und Kennzeichnung sicherheitsrelevanter unbedingt einzuhaltender Kriterien waren nicht etabliert. Best Practices wurden nicht ermittelt.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Die Fenster des ICE 1 bestanden aus Panzerglas und erschwerten den Einsatzkräften die Rettung von Personen im Inneren des Zuges. Sollbruchstellen und Rettungshammer waren noch nicht vorhanden.
- Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017:  
Bei der langjährigen Ausarbeitung neuer Anforderungen an die Ruhezeiten von Piloten orientierte sich das kanadische Verkehrsministerium nicht an der etablierten Praxis der USA.

### **3.1.30 Keine Durchführung von Notfallübungen**

- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Der Besatzung der Sewol-Ho wurden vom Schifffahrtsunternehmen keine Notfallübungen finanziert. Dadurch kam es im tatsächlichen Notfall zu unorganisiertem Handeln und Missverständnissen, was letztlich entscheidend dazu beitrug, dass die überwiegende Mehrheit der Passagiere bis zum endgültigen Kentern fälschlicherweise zum Verbleib in ihren Kabinen aufgefordert wurde.

### **3.1.31 Keine Priorisierung von Sicherheit**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Aus Kostengründen waren viele sicherheitstechnisch erforderliche Maßnahmen nicht automatisiert, obwohl dies möglich gewesen wäre, sondern Handmaßnahmen waren nötig.
- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Es wurde eine Schulung an einem Schalter ohne Berücksichtigung der Sicherheitsrisiken durchgeführt.
- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Erkannte notwendige Verbesserungsmaßnahmen wurden nicht durchgeführt.

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
In der Kabeltrasse lagen sowohl Stromversorgungs- als auch Leittechnikabel. Eine Redundanztrennung war nicht gegeben.
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Priorisierung von Sicherheit:**  
Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Die Auslegung der Anlage Typ WWER-440MW/W-230 weist Sicherheitsreserven auf, die eine relativ lange Zeit für eine notfallmäßige Wiederherstellung der Bespeisung der Dampferzeuger zulassen.
- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
In Indien herrschte zur Zeit des Baus der Chemiefabrik (Ende der 1970er- bzw. Anfang der 1980er-Jahre) der Druck zur Industrialisierung. Dies hatte zur Folge, dass die indische Regierung der Ansiedelung von Industriebetrieben wie UCIL eine höhere Priorität einräumte als möglichen negativen Folgen für die Anwohner. Der Wille, möglichst vielen indischen Arbeitskräften eine Beschäftigung zu verschaffen, führte dazu, dass man von der Automatisierung von Sicherheitsfunktionen absah und die entsprechenden Aufgaben durch manuelle Arbeit erfüllt wurden.
- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Da die Chemiefabrik nie ihr Produktionspotenzial ausschöpfen konnte, entwickelte sich ihr Betrieb schnell zum Verlustgeschäft. Vom amerikanischen Mutterkonzern UCC wurde deshalb angeordnet, dass UCIL Kosten sparen sollte. Dies wurde vor Ort in Form von Entlassungen, verkürzten Sicherheitstrainings und dem Abschalten von Sicherheitssystemen umgesetzt.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Bei der Notbremse sind deutliche Hinweise angebracht, die eine ungerechtfertigte Betätigung abschrecken, indem auf die Strafbarkeit des Missbrauches hingewiesen wird. Konkrete Hinweise, wann die Betätigung angezeigt ist, fehlen. Hiermit wird die störungsfreie Betriebsabwicklung gegenüber der Sicherheit priorisiert.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
In der Entscheidung, die neuartigen Räder trotz nicht vorhandener Betriebsbewährung umfänglich zu verwenden, wurde der Passagierkomfort und mittelbar finanzielle Aspekte gegenüber der Sicherheit priorisiert.

- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
In der Auslegung des ICE 1 sind Sicherheitseigenschaften weniger stark berücksichtigt als in vergleichbaren Hochgeschwindigkeitszügen. Ein gestaffeltes Sicherheitskonzept ist kaum ausgeprägt.
- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
Die Eisenbahngesellschaft JR West war bestrebt, sich gegenüber den Konkurrenten durch besondere Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit auszuzeichnen, um den kommerziellen Erfolg zu maximieren. Zum Erreichen dieses Ziels wurden enge Zeitpläne vorgeschrieben und starker Druck auf die angestellten Lokführer aufgebaut, keine Fehler zu machen.
- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
Ein ATS-System, das Züge aufgrund von Geschwindigkeitsüberschreitungen abbremsst, hätte den Unfall verhindern können. JR West hatte die Installation eines ATS-Systems auf der betroffenen Strecke geplant, allerdings geschah dies nicht rechtzeitig vor dem Unfall.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Beim Umbau der Fähre wurde die Erhöhung der Aufnahmekapazität für Personen und Fahrzeuge priorisiert. Durch den Aufbau und die Erhöhung der Schiffsmasse wurde die Gesamtkonstruktion statisch instabiler.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Obwohl er über den Brand an Bord der Fähre informiert worden war, gab der Besitzer des Schifffahrtsunternehmens den Befehl, den Fährbetrieb fortzusetzen und die Al Salam Boccaccio 98 auf Kurs Richtung Safaga zu halten.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Der Kapitän entschied sich dagegen, den näher gelegenen Herkunftshafen anzu- steuern.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Die RoRo-Fähre wies ungeteilte Decks auf, um das Be- und Entladen zu vereinfachen. Schon bei einem relativ niedrigen Wasserstand auf solchen Decks wird das Schiff instabil.
- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Bei der regelmäßigen Fahrt nahe der Küste wurde Sicherheit anderen Aspekten untergeordnet.

- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Die Strecke war so ausgelegt, dass ETCS nur auf Abschnitten vorhanden ist, wo es erforderlich ist, um eine hohe Geschwindigkeit realisieren zu können. Das notwendige Abbremsen des Zuges am Ende der Hochgeschwindigkeitsabschnitte wurde nicht technisch überwacht. Hierzu trugen Kostenerwägungen bei.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Der Zug wies durch eine Modifikation geringere Sicherheitsreserven als zuvor auf. Durch ein gegenüber der Planung erhöhtes Gewicht der Wagen mit Dieselgeneratoren wurden diese Reserven noch zusätzlich verringert. Ursache der Modifikation war der politische Wille, vor der Fertigstellung von Hochgeschwindigkeitsstrecken und ohne die sehr teure Elektrifizierung vorhandener Strecken Verkehr mit Hochgeschwindigkeitszügen zu bestimmten Zielen aufzunehmen.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Die Geschäftsführung der CMC ordnete bewusst an, die Sewol-Ho systematisch zu überladen, um zusätzlichen Gewinn aus dem Betrieb der Fähre zu ziehen. Dass dies die Stabilität gefährlich verschlechterte, war bekannt und sollte durch die Anordnung von geringen Kursänderungen ausgeglichen werden. Dies stellt eine extreme Ausprägung dieses Merkmals dar.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Für Sicherheitsschulungen des Personals waren nur minimale Ressourcen vorgesehen.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Obwohl bekannt war, dass sich die Passagiere aus den Absturzsicherungen im Notfall nur sehr schwer befreien konnten, wurden die Rundflüge so weiter betrieben und die sichereren, aber teureren, alternativen Absturzsicherungen nicht beschafft.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Obwohl die Gefahr einer ungewollten Betätigung der Treibstoffnotabspernung bekannt war, wurde keine Modifikation vorgenommen und von der Aufsichtsbehörde auch nicht verlangt.

### **3.1.32 Keine ständige Verbesserung**

- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
Ein ATS-System, das den Zug vor der Kurve automatisch abgebremst hätte, wurde bis zum Unglück nicht auf der Strecke installiert.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Dem Betreiber waren Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit bekannt. Diese wurden nicht implementiert.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Der Aufsichtsbehörde waren Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit bekannt. Das Regelwerk wurde nicht entsprechend weiterentwickelt.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Dem Betreiber waren einfache Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit bekannt. Diese wurden nicht implementiert.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Von den Angestellten von FlyNYON und Liberty wurden Möglichkeiten der Verbesserung aufgezeigt. Dies wurde aber wegen Entscheidungen des Managements nicht wirksam.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Der Federal Aviation Administration FAA waren die zunehmenden touristischen Flüge mit Hubschraubern mit offenen Türen und die verwendeten Absturzsicherungen bekannt. Vor dem Unfall wurden jedoch keine Initiativen ergriffen, das Regelwerk diesbezüglich hierfür weiterzuentwickeln.

### **3.1.33 Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Im Verlaufe des Störfalls traten zahlreiche menschliche Fehlhandlungen und Ausfälle von sicherheitsrelevanten technischen Einrichtungen auf. Mängel an der Dokumentation und den Notfallübungen wurden erkennbar. Hieraus lässt sich auf ein systematisches Versagen der Organisation im Sicherstellen der erforderlichen hohen Qualität von sicherheitsrelevanten Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten schließen.
- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Da Kostenersparnis die oberste Zielsetzung des Managements war, litt die Qualität der Einrichtungen und Prozesse in der Anlage ab 1980 stark. Dies wurde bei einem Besuch durch amerikanische Ingenieure im Jahr 1982 festgestellt
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Züge des Typs ICE 1 wiesen zum Ereigniszeitpunkt eine unzureichende Qualität auf. Mängel konnten regelmäßig von der Instandhaltung nicht rechtzeitig abgearbeitet werden. Deshalb wurden insbesondere in Bezug auf die Radsätze unzulässige Grenzwertüberschreitungen geduldet.

### **3.1.34 Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten**

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Eine geplante HAZOP wurde nicht durchgeführt.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Die im Vorstandsbeschluss vorgesehene Überwachung der Räder wurde nicht implementiert.

### **3.1.35 Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken**

- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Die Äußerung von Sicherheitsbedenken wurde nicht gefördert. Da zahlreiche unzulässige Verhaltensweisen und Sicherheitsdefizite in Vorfeld bzw. im Verlauf des Unglücks auftraten und einer größeren Anzahl von Personen bekannt waren, jedoch keine Sicherheitsbedenken geäußert wurden, wird davon ausgegangen, dass dieses Merkmal wirksam wurde.

### **3.1.36 Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung**

- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Bei der vorliegenden Auslegung und dem technischen Zustand der ICE-Züge war es mit den zur Verfügung stehenden Instandhaltungskapazitäten nicht möglich, den gewünschten Fahrkomfort bei der erforderlichen Verfügbarkeit zu erreichen.
- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
Mit der vorhandenen Infrastruktur und den Schienenfahrzeugen war es nicht möglich, zuverlässig gemäß Fahrplan zu fahren.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Mit der Fähre konnte nicht die Ladungsmenge transportiert werden, ohne eine Instabilität des Schiffes zu verursachen

### **3.1.37 Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen**

- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Die Abwanderung von Personal hatte zur Folge, dass weniger qualifiziertes und im Umgang mit der Anlage erfahrenes Personal verfügbar war.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Durch die Versetzung von Ingenieuren, deren Aufgabe zuvor die Überwachung der anlageninternen Prozesse war, ging auf der Anlage Fachwissen verloren, wodurch dem Personal die korrekte Einschätzung des Anlagenzustandes erschwert war.
- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf, Schweiz 2001:  
Die Fähigkeiten des Personals reichten nicht aus, um den Flug sicher durchzuführen.
- Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005:  
Die zypriotische Luftfahrtbehörde DCA verfügte nicht über ausreichend qualifiziertes Personal in ausreichender Zahl. Die britische Luftfahrtbehörde CAA sollte sie deshalb beratend unterstützen, tatsächlich übernahm die DCA aber ungeprüft Empfehlungen der CAA, ohne diese an die eigenen Bedürfnisse und Umstände anzupassen. Die Um- und Durchsetzung der europäischen Standards gegenüber den in Zypern aktiven Fluggesellschaften fand praktisch nicht statt. Maßnahmen zur Verbesserung dieses Zustandes waren in den Jahren 1999 bis 2005 nicht zu erkennen:

- Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia 2012:  
Der Kapitän erwies sich als für seine Aufgabe nicht geeignet – sowohl im Vorfeld des Ereignisses als auch insbesondere nach Eintritt des Unfalls. Die persönlichen Eigenschaften und das Führungsverhalten des Kapitäns waren bei der Reederei bekannt gewesen.
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Qualitativ angemessene personelle Ressourcen:**  
Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco:  
Es wurden Piloten eingesetzt, die über die erforderliche Erfahrung verfügten, um trotz ihres Ermüdungszustandes und der im Vorhinein begangenen Fehler beim Landeanflug intuitiv zu erkennen, dass sie den Landeanflug nicht korrekt ausgeführt hatten. Sie trafen eigenständig die Entscheidung zum Durchstarten, bevor der Tower ihnen (zu spät) den Befehl erteilte.

### 3.1.38 Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Die Personalstärke reichte nicht aus, um die erforderlichen Aufgaben zu bewältigen. Hierzu trug bei, dass für zahlreiche Funktionen, die automatisierbar waren (z. B. Auslösung der Löscheinrichtung), menschliche Handlungen vorgesehen waren.
- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Die aufgrund von Sparmaßnahmen durchgeführten Entlassungen von Personal führten zu einer geringeren Personalstärke.
- Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005:  
Die zyprische Luftfahrtbehörde DCA verfügte nicht über ausreichend qualifiziertes Personal in ausreichender Zahl. Die britische Luftfahrtbehörde CAA sollte sie deshalb beratend unterstützen, tatsächlich übernahm die DCA aber ungeprüft Empfehlungen der CAA, ohne diese an die eigenen Bedürfnisse und Umstände anzupassen. Die Um- und Durchsetzung der europäischen Standards gegenüber den in Zypern aktiven Fluggesellschaften fand praktisch nicht statt. Maßnahmen zur Verbesserung dieses Zustandes waren in den Jahren 1999 bis 2005 nicht zu erkennen.

### 3.1.39 Unzureichende Anforderungen

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Es gab keine Anforderungen für eine redundante Schutzeinrichtung bei Erdschluss.

Der Auslegung war eine nichtnukleare Regel zugrunde gelegt worden. Die in der Kerntechnik erforderliche höhere Zuverlässigkeit war nicht berücksichtigt worden.

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Die Anforderungen an die Prüfung waren ungeeignet, Ausfälle zu erkennen.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Zwar war durch einen nationalen Standard in Australien gefordert, dass Betreiber von hochgefährlichen Anlagen (Major Hazard Facility, MHF) den lokalen Behörden einen umfassenden Sicherheitsbericht zukommen lassen, in dem potentielle Gefährdungssituationen der Anlage identifiziert und die erforderlichen sicherheitstechnischen Vorkehrungen und Maßnahmen dargelegt werden. Die Behörden im Bundesstaat Victoria besaßen jedoch nicht die notwendige rechtliche Grundlage, um die Anfertigung eines solchen Berichts vor dem Unfall von Esso verbindlich und frühzeitig einzufordern.
- Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Es gab keine konkreten bindenden Anforderungen an den Nachweis der Betriebssicherheit der Radsätze neuer Konstruktion.
- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001:  
Die Tatsache, dass der Kapitän während seiner beruflichen Laufbahn mehrfach Tests zur Qualifikation für andere Flugzeugtypen nicht bestanden hatte und ihm dabei grundlegende Defizite attestiert wurden, führte nicht dazu, dass seine grundsätzliche Eignung als Verkehrspilot bei Crossair infrage gestellt wurde. Dies deutet darauf hin, dass die Anforderungen, um bei Crossair als Pilot zu arbeiten, nicht angemessen hoch waren, um Sicherheitsdefizite ausschließen zu können.
- Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001:  
Aus dem Untersuchungsbericht geht hervor, dass Kapitän und Kopilot sich in ihren Persönlichkeitseigenschaften nicht hinreichend ergänzten, um einen sicheren Betrieb der Maschine zu garantieren. Zudem war der Kapitän nicht sehr erfahren im Umgang mit Flugzeugen vom Typ der Absturzmaschine, der Kopilot besaß insgesamt noch keine große Flugerfahrung. Crossair hatte demnach keine umfassenden Anforderungen an die Profile von Besatzungsmitgliedern gestellt, um eine gute Ergänzung ihrer Fähigkeiten sicherzustellen.

- Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Die Kontamination des Flusswassers mit Benzol kam durch den unsachgemäßen Umgang der Feuerwehr mit dem Chemikalienbrand zustande, der durch einen ungenügenden Ausbildungsstandards bei der chinesischen Feuerwehr begünstigt wurde.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Es gab keine Anforderungen, dass technische Sicherheitseinrichtungen vorzusehen sind, die ein Abbremsen des Zuges auf die erforderliche Geschwindigkeit sicherstellen.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Es gab keine verpflichtenden Anforderungen an die Nutzung des Mobiltelefons während der Fahrt.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Die zuständigen Behörden (Koreanisches Schiffsregister, Hafenbehörde von Incheon, Koreanische Schifffahrtsvereinigung) verfügten zusammengenommen über die notwendigen Informationen, um die systematische und vorsätzliche Überladung des Schiffes durch die CMC aufzudecken. Da ein Informationsaustausch zwischen den Behörden nicht gesetzlich vorgeschrieben war, fand dieser auch nicht statt und die Informationen waren praktisch nutzlos.
- Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017:  
Trotz langjähriger Forderungen durch Pilotenvereinigungen nach strengeren Regeln zu Dienst- und Ruhezeiten von Piloten und der tatsächlichen Ausarbeitung neuer Regeln durch das kanadische Verkehrsministerium lassen diese weiterhin deutlich stärkere Belastungen für Piloten zu, als es beispielsweise in den USA der Fall ist.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Es gab keine speziellen Anforderungen für den Betrieb von Helikoptern mit offenen Türen und für Absturzsicherungen für Passagiere bei solchen Flügen.
- Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018:  
Es gab auch keine anwendbaren allgemeinen Regeln über Sicherheitseinrichtungen für Flugpassagiere, die in Ermangelung konkreter Regelungen einer Überprüfung und Bewertung der Absturzsicherungen hätten zugrunde gelegt werden können.

### 3.1.40 Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Häufige sich wiederholende Alarm- und Warnsignale (ohne eine angemessene Priorisierung) hatten dazu geführt, dass Mitarbeiter gegenüber möglichen gefährlichen Warnsignalen, ausgelöst durch eine gefährliche Situation, desensibilisiert wurden bzw. waren.
- Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005:  
Die Anforderung an Lokführer, während des Fahrbetriebes händisch Funkdurchsagen zu notieren, begünstigt Unachtsamkeit und daraus resultierende Fehler.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Zulässige zusätzliche Belastung des Lokführers durch gleichzeitiges Telefonieren, keine konsistente Umsetzung der Empfehlungen zum Beschränken des Telefonierens.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Keine konsistente Beschilderung der zulässigen und zu erwartenden Geschwindigkeitsbeschränkungen auf mit ETCS ausgerüsteten Strecken.
- Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017:  
Die Versäumnisse von Kapitän und Erstem Offizier beim Abarbeiten der Checkliste vor der Landung und beim Erkennen der Landebahn wurden durch deren Ermüdungszustand begünstigt. Die Kombination aus langer Wachheit und Dienst im zirkadianen Tief war in diesem Zusammenhang nachteilig.
- Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017:  
Der schnell erkennbaren Darstellung von wichtigen Informationen, wie der Information über die Sperrung der Landebahn 28L, wurde keine ausreichende Aufmerksamkeit gewidmet. Dadurch war diese leicht zu übersehen.

### 3.1.41 Unzureichende Fachkunde

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Trotz Schulungen verfügte das Anlagenpersonal nicht über die nötige Fachkunde, um den Störfall frühzeitig unter Kontrolle zu bringen.
- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Obwohl das Fehlschließen des Erdungstrenners einen Erdschluss in einer 6 kV-Verteilung auslösen konnte, löste der Obermonteur zu Schulungszwecken mittels eines nicht zugelassenen Hilfsmittels (Flachzange) die Verriegelung des Erdungstrenners.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Das Anlagenpersonal war nicht in der Lage, den Anlagenzustand vor der Explosion korrekt einzuschätzen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.
- Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko 2005:  
Die Piloten reagierten bei Auslösen des Alarms für den zu niedrigen Kabinendruck und der Sauerstoffmasken nicht regelkonform.
- Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Die mit dem Löschen des Chemikalienbrandes betrauten Feuerwehrleute verfügten nicht über das nötige umweltschutzrelevante Wissen
- Positive Ausprägung des Merkmals:  
**Gute Fachkunde:**  
Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Für die Entfernung des Benzolteppichs wurde qualifiziertes Personal eingesetzt, das im Umgang mit derartigen Verschmutzungen vertraut war.
- Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006:  
Die Besatzung befolgte nicht die vorgesehenen Prozeduren zum Umgang mit einem Brand an Bord und agierte planlos.
- Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014:  
Die Crewmitglieder auf der Brücke waren mit dem Umgang mit der Kommunikationsanlage des Schiffes nicht vertraut und waren deshalb nicht in der Lage, die Passagiere von der Brücke aus per Lautsprecherdurchsage zur Evakuierung aufzufordern.

#### **3.1.42 Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Der Betreiber hatte keine ausreichenden wirtschaftlichen Ressourcen, um erkannte Schwachstellen zu beseitigen und die Anlage ständig zu verbessern.
- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Das Chemiewerk in Bhopal konnte keinen Gewinn erwirtschaften und blieb ein Verlustgeschäft. Vom Mutterkonzern wurden UCIL nicht die erforderlichen Mittel bereitgestellt, um die Anlage mit der erforderlichen Zahl angemessen geschulter Angestellter sicher zu betreiben.

#### **3.1.43 Unzureichende Mitarbeiterbindung**

- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Durch die angewendeten Sparmaßnahmen vor Ort (Personalkürzungen, massive Einsparungen bei Sicherheitstrainings) kam es zu einer größeren Arbeitsbelastung für das verbliebene Personal sowie zur schleichenden Vernachlässigung der Wartung der Anlage. Als der Produktionsbetrieb der Anlage eingestellt und die Sicherheitssysteme zur weiteren Einsparung von Betriebskosten abgeschaltet wurden, sorgte dies für zunehmende Besorgnis und Unzufriedenheit der Angestellten. Ein erheblicher Teil der Belegschaft verließ die Anlage aus Sorge um die eigene Sicherheit. Bis 1983 sollen die Hälfte bis zwei Drittel der Mitarbeiter, die seit dem Beginn der Errichtung der Fabrik an ihrem Betrieb beteiligt gewesen waren, abgewandert sein.

#### **3.1.44 Unzureichende Notfallplanungen**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Es gab keine Planungen für Störfälle, die dem aufgetretenen Störfall entsprachen.

#### **3.1.45 Unzureichende Notfallübungen**

- Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975:  
Es gab keine Übungen für Störfälle, die dem aufgetretenen Störfall entsprachen.
- Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Die chinesische Feuerwehr bereitete ihre Angestellten nicht ausreichend durch Übungen auf alle möglichen Einsatzszenarien vor.

### **3.1.46 Unzureichender Erfahrungsrückfluss**

- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Aus Precursor-Ereignissen wurden weder von der Union Carbide India Limited noch von der Union Carbide Corporation Konsequenzen in Form von verstärkten Sicherheitsmaßnahmen gezogen.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Prozessstörungen waren selten, wenn überhaupt, Gegenstand eines Vorfallsberichts, es sei denn, sie wurden von Personen- oder Sachschäden begleitet. So wurde ein dem Unfall ähnliches Precursor-Ereignis, das sich am 28. August 2018 ereignete, nicht gemeldet.
- Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013:  
Auf ein Precursor-Ereignis wurde nicht adäquat reagiert (Vorbehaltlich, dass die Informationen aus /PON 13/ zutreffend sind.).

### **3.1.47 Unzureichendes Veränderungsmanagement**

- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Nach der Versetzung von Ingenieuren, deren Aufgabe zuvor die Überwachung der anlageninternen Prozesse war, wurde die Überwachung dem Bedienpersonal übertragen, das einen anderen Fokus bei der Ausübung seiner Aufgaben hatte. Gleichzeitig ging auf der Anlage Fachwissen verloren, wodurch dem Personal die korrekte Einschätzung des Anlagenzustandes erschwert war.
- Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998:  
Im Managementsystem wurde der Umfang und der Rahmen einer Risikoanalyse, die bei einer Änderung durchzuführen ist, nicht definiert.

### **3.1.48 Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht**

- Chemiekatastrophe von Bhopal 1984:  
Es war die Aufgabe der lokalen Behörden von Madhya Pradesh, bei der Genehmigung der Errichtung der Chemiefabrik am vorgesehenen Standort die Sicherheit der Bewohner der Stadt Bhopal sowie umliegenden Slums sicherzustellen. Gleichzeitig führten die direkte Beteiligung der indischen Regierung an UCIL und enge Kontakte zwischen hochrangigen Offiziellen der Lokalregierung und von UCC dazu, dass die Erfüllung der Kriterien für die Baugenehmigung nicht unvoreingenommen überprüft wurden.

## **3.2 Zusammenfassung und Diskussion**

Im Folgenden werden die oben detailliert dargestellten Ergebnisse zusammenfassend quantitativ dargestellt und diskutiert. Dabei werden zunächst die Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen bzw. sich negativ auf Beherrschung und mitigative Maßnahmen auswirkten, und dann die Merkmale, die einer Entstehung von Katastrophen entgegenwirkten bzw. zu ihrer Beherrschung oder zu mitigativen Maßnahmen beitragen, diskutiert.

### **3.2.1 Katastrophen begünstigende und ihre Beherrschung negativ beeinflussende Merkmale**

In Bezug auf die Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen bzw. sich negativ auf Beherrschung und mitigative Maßnahmen auswirkten, ergibt sich zusammenfassend folgendes Bild:

Bei den 15 analysierten Ereignissen wurden insgesamt 134 Merkmale identifiziert, die Katastrophen begünstigten und ihre Beherrschung negativ beeinflussten; 47 verschiedene Merkmale wurden gefunden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die gefundenen elementaren Merkmale teilweise einen unterschiedlichen Detaillierungsgrad aufweisen; dieser resultiert aus dem verschiedenen Detaillierungsgrad der zu den Ereignissen zur Verfügung stehenden Informationen. Zum Beispiel ist „Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven“ ein Spezialfall von „Kein systematisches Management der Sicherheit“. Die Merkmale und die Anzahlen der Ereignisse, in der sie auftraten, sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

**Tab. 3.1** Elementare Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten

Die Merkmale sind geordnet nach der Anzahl der Ereignisse, an deren Entstehung sie beteiligt waren.

Merkmals	Anzahl Ereignisse
Keine Priorisierung von Sicherheit	9
Unzureichende Anforderungen	9
Fehlende oder unzureichende Aufsicht	7
Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten	6
Unzureichende Fachkunde	6
Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken	6
Kanalbezogene Kommunikationsdefizite	6
Duldung von Nichtkonformitäten	6
Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen	5
Akzeptieren von unsicheren Zuständen	4
Aufschieben von Entscheidungen	4
Fehlende oder unzureichende Schulungen	4
Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten	4
Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite	4
Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung	3
Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten	3
Unzureichender Erfahrungsrückfluss	3
Keine ständige Verbesserung	3
Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen	3
Fehlende oder unzureichende interne Überwachung	3
Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen	2
Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse	2
Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten	2
Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen	2
Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen	2
Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter	2
Keine ausreichende Qualitätssicherung	2
Unzureichende Notfallübungen	2
Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken	2

Merkmal	Anzahl Ereignisse
Dienstausübung unter Drogeneinfluss	1
Frustration der Mitarbeiter	1
Autoritäre Führung	1
Bestrafungskultur	1
Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen	1
Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven	1
Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken	1
Keine Durchführung von Notfallübungen	1
Unzureichende Notfallplanungen	1
Unzureichende Mitarbeiterbindung	1
Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung	1
Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen	1
Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem	1
Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen	1
Kein systematisches Management der Sicherheit	1
Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken	1
Unzureichendes Veränderungsmanagement	1
Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht	1

Bei der Interpretation der in Tabelle 3.1 dargestellten Ereignisanzahlen ist zu berücksichtigen, dass nur eine begrenzte Anzahl von 15 Ereignissen hierfür ausgewertet wurde. Aufgrund dieser relativ geringen Zahl ist von erheblichen Zufallseinflüssen auszugehen, insbesondere bei Merkmalen, die nur wenige Male oder einmal beitrugen. Dies lässt sich am Beispiel des Merkmals „Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht“ illustrieren, das nur einmal in den analysierten Ereignissen identifiziert wurde. Die Relevanz dieses Merkmals für die Entstehung von Katastrophen ist aus anderen Ereignissen, wie der Explosion der Deep Water Horizon oder dem Reaktorunglück von Fukushima, bekannt.

Bei der Interpretation der in Tabelle 3.1 dargestellten Ereignisanzahlen ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass wie oben dargestellt nur Merkmale berücksichtigt wurden, die einen Einfluss auf die Emergenz der Katastrophe hatten. Wenn ein Merkmal in der Organisation vorhanden war, aber dies keine Auswirkungen hatte, wurde es nicht

berücksichtigt. Zum Beispiel wurde die Äußerung von Sicherheitsbedenken in mehreren Organisationen nicht ermutigt, teilweise sogar unterdrückt. In allen bis auf einen Fall, wo Sicherheitsbedenken nicht ermutigt bzw. unterdrückt wurden, wurden aber trotzdem von Mitarbeitern relevante Sicherheitsbedenken geäußert, so dass in diesen Fällen dieses organisatorische Merkmal keinen nachweisbaren Einfluss auf den Verlauf des Ereignisses hatte und entsprechend in diesen Fällen nicht berücksichtigt wurde.

### **3.2.2 Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern und ihre Beherrschung begünstigen**

Insgesamt wurden 9 Merkmale gefunden, die die Beherrschung des Ereignisses bzw. die Mitigation begünstigten. Diese 7 verschiedenen Merkmale sind im Folgenden noch einmal aufgeführt:

- **Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen** (positive Ausprägung des Merkmals „Aufschieben von Entscheidungen“):  
Dieses Merkmal wurde bei zwei Ereignissen wirksam:
  - Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Sehr schnell wurden die für den Einsatz der Rettungskräfte notwendigen Entscheidungen getroffen.
  - Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Nach Bekanntwerden der Kontamination des Flusswassers wurden schnelle Maßnahmen ergriffen. Die Einberufung eines Krisenstabs durch die Lokalregierung von Dianjiang und der Einsatz von Fachpersonal zur Beseitigung des Benzolteppichs ermöglichten eine zeitnahe Beherrschung der Situation.
- **Priorisierung von Sicherheit** (positive Ausprägung des Merkmals „Keine Priorisierung von Sicherheit“):  
Dieses Merkmal wurde bei dem Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975 wirksam:  
Die Anlage wurde so ausgelegt, dass sie durch einen großen Wasservorrat im Primärkreis erhebliche Sicherheitsreserven aufwies, so dass genügend Zeit für die Implementation von Notfallmaßnahmen vorhanden war

- **Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite** (positive Ausprägung des Merkmales „Kanalbezogene Kommunikationsdefizite“):  
Dieses Merkmal wurde bei zwei Ereignissen wirksam:
  - Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998:  
Die verfügbaren Kommunikationsmittel erwiesen sich als geeignet, die Notfallmaßnahmen zu organisieren.
  - Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005:  
Das chinesische Umweltministerium entsandte Notfall- und Expertenteams nach Dianjiang, die den Helfern vor Ort Instruktionen zur Entfernung der Verschmutzung gaben.  
Zwischen den für die betroffenen Distrikte verantwortlichen Behörden wurde frühzeitig und deutlich kommuniziert, so dass bei der Beherrschung der Situation keine Zeitverzögerungen entstanden.
- **Keine inhaltsbezogenen Kommunikationsdefizite** (positive Ausprägung des Merkmales „Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite“):  
Dieses Merkmal wurde bei der Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998 wirksam:  
Die zur Organisation der Notfallmaßnahmen erforderlichen Informationen wurden schnell kommuniziert.
- **Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen:**  
Dieses Merkmal wurde bei der Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005 wirksam:  
Hier waren durch eine klare Hierarchie zwischen den Behörden die Zuständigkeiten für das Ergreifen von Notfallmaßnahmen schnell geklärt.
- **Erfahrenes Personal** (positive Ausprägung des Merkmales „Unerfahrenes Personal“):  
Dieses Merkmal wurde beim Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017 wirksam. Piloten waren eingesetzt, die über die erforderliche Erfahrung verfügten, um trotz ihres Ermüdungszustandes und der im Vorhinein begangenen Fehler beim Landeanflug intuitiv zu erkennen, dass sie den Landeanflug nicht korrekt ausgeführt hatten.
- **Gute Fachkunde** (positive Ausprägung des Merkmales „Unzureichende Fachkunde“). Dieses Merkmal wurde bei der Kontamination eines Flusses und Gefähr-

derung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005 wirksam:

Für die Entfernung des Benzolteppichs wurde qualifiziertes Personal eingesetzt, das im Umgang mit derartigen Verschmutzungen vertraut war.

Die Anzahlen des Auftretens der jeweiligen Merkmale sind in Tabelle 3.2 dargestellt.

**Tab. 3.2** Elementare Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhinderten oder sich positiv auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten

Die Merkmale sind geordnet nach der Anzahl der Ereignisse, an deren Entstehung sie beteiligt waren.

Merkmals	Anzahl
Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen	2
Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite	2
Qualitativ zureichendes Personal	1
Priorisierung von Sicherheit	1
Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen	1
Keine Inhaltsbezogenen Kommunikationsdefizite	1
Gute Fachkunde	1

### 3.2.2.1 Merkmale, die am Ende nicht wirksam waren, die Entstehung von Katastrophen zu verhindern

In der Untersuchung wurden auch in den Ereignisabläufen positive Merkmale identifiziert, die zwar den Ablauf des Ereignisses beeinflussten, aber am Ende nicht zur Vermeidung der Katastrophe führten. Es sind dies:

- Äußerung von Sicherheitsbedenken**  
Bei 6 Ereignissen wurden Sicherheitsbedenken vom Personal geäußert, aber diese wurden nicht beachtet; Maßnahmen, die zu einer Vermeidung der Katastrophe führten, wurden von den Verantwortlichen nicht ergriffen.
- Pro-aktive Suche nach Sicherheitsdefiziten**  
In einem der Fälle führten Angestellte pro-aktiv eine Suche nach Sicherheitsdefiziten und entsprechenden Verbesserungsmöglichkeiten durch. Die daraus resultierenden Sicherheitsbedenken wurden dem Management zusammen mit möglichen

Abhilfemaßnahmen kommuniziert. Dies führte allerdings zu keiner rechtzeitigen Verbesserung.

- **Hierarchische Organisation**

Bei der Havarie der Costa Concordia erwies sich die hierarchische Organisation innerhalb der Organisation als nicht geeignet zur Durchführung der mitigativen Maßnahmen (Evakuierung des Schiffes), obwohl sie bei Übungen einwandfrei funktioniert hatte.

- **Durchführung von Notfallübungen**

Bei der Havarie der Costa Concordia erwies sich ebenfalls die regelmäßige Durchführung von Notfallübungen als nicht nachweislich wirksam; bei der Evakuierung des Schiffes kam es zu schwerwiegenden Fehlern, die zum Verlust von Menschenleben führten, obwohl die Übungen stets einwandfrei durchgeführt worden waren. In drei anderen Ereignissen führten Defizite in Bezug auf Notfallübungen (unvollständige oder fehlende Notfallübungen) allerdings zur Behinderung der mitigativen Maßnahmen.

- **Angemessene Notfallplanungen**

Ebenfalls bei der Havarie der Costa Concordia erwies sich die angemessenen Notfallplanungen nicht als nachweislich wirksam; bei der Evakuierung des Schiffes kam es zu schwerwiegenden Fehlern, die zum Verlust von Menschenleben führten, obwohl sich die Notfallplanungen bei Übungen wiederholt als geeignet erwiesen hatten. Demgegenüber ist in einem anderen Ereignis nachgewiesen, dass fehlende Notfallplanungen die Beherrschung erschwerten.

### **3.2.2.2 Diskussion**

Die Anzahl der gefundenen Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern und ihre Beherrschung begünstigen, ist im Vergleich zu den Merkmalen, die zur Entstehung von Katastrophen beitragen oder ihre Beherrschung behinderten, deutlich geringer.

Dieses ist einerseits dadurch verursacht, dass hier Katastrophen und Beinahe-Katastrophen untersucht werden. In diesen ist meist eine Vielzahl von Merkmalen bei der Entstehung wirksam geworden.

Andererseits haben die meisten ausgewerteten Dokumente ebenso wie die durchgeführten Untersuchungen einen starken Fokus auf der Entstehung des Ereignisses.

Um auch umfangreichere empirische Erkenntnisse über Merkmale zu erhalten, die die Entstehung von Katastrophen verhindern und ihre Beherrschung begünstigen, erscheint es daher erforderlich, Ereignisabläufe zu betrachten, bei denen eine mögliche Entwicklung zu einem katastrophalen Ereignis in einer frühen Stufe gestoppt wurde. Solche Ereignisse sind z. B. meldepflichtige Ereignisse kerntechnischer Anlagen.

### **3.2.3 Merkmale, die am Ende nicht wirksam bei der Entstehung von Katastrophen oder der Behinderung von mitigativen Maßnahmen waren**

In der Untersuchung wurden auch in den Ereignisabläufen einige negative Merkmale identifiziert, die – obwohl sie das Potenzial hierzu hatten – am Ende aber nicht bei der Entstehung von Katastrophen oder der Behinderung von mitigativen Maßnahmen wirksam waren. Es sind dies:

- **Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken**

In einem Fall wurde die Äußerung von Sicherheitsbedenken durch Mitarbeiter durch das verantwortliche Management nicht nur nicht ermutigt, sondern aktiv behindert. Trotzdem wurden Sicherheitsbedenken geäußert – das Merkmal war hier somit nicht wirksam. In einem anderen Fall hat die Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken allerdings dazu beigetragen, dass Sicherheitsbedenken nicht geäußert wurden.

- **Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen**

In einem Ereignis erfolgte aufgrund unzureichender personeller Ressourcen eine Warnung so spät, dass sie nicht mehr rechtzeitig zur Verhinderung eines Unfalls gekommen wäre. Allerdings war zu diesem Zeitpunkt schon aus anderen Gründen die Gefahrensituation vorüber. In 4 anderen Fällen waren quantitativ unzureichende personelle Ressourcen an der Entstehung des Ereignisses beteiligt.

- **Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten**

In einem Fall erfolgten die Wartung eines Flugzeugs sowie die Überprüfung der Einhaltung von Sicherheitsstandards durch die zuständige Aufsichtsbehörde nicht den geltenden Regularien entsprechend. Eine direkte Auswirkung auf den Absturz der Maschine hatte dies nicht.

In zwei anderen Fällen erwies sich die konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten jedoch als wesentlich für den Ereignisverlauf, in einem weiteren Fall trug es zu dem Ablauf bei.

### **3.3 Übergeordnete Merkmale**

Wie bereits oben diskutiert, weisen die gefundenen elementaren Merkmale einen unterschiedlichen, teilweise hohen, Detailierungsgrad auf. Deshalb wurden weniger detaillierte, abstraktere Merkmale gebildet, die dazu dienen können, die Bedeutung von entsprechenden Themengebieten beim Betrieb zu erfassen.

Es wurden folgende abstrakte Merkmale gebildet, die zum Teil wiederum andere abstrakte Merkmale (fett gedruckt) umfassen:

- **Unzureichendes systematisches Management der Sicherheit**
  - Kein systematisches Management der Sicherheit
  - Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven
- **Defizite bei Notfallübungen**
  - Unzureichende Notfallübungen
  - Keine Durchführung von Notfallübungen
- **Unzureichende personelle Ressourcen**
  - Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen
  - Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen
- **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten/unsicheren Zuständen**
  - Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten
  - Akzeptieren von unsicheren Zuständen

- **Human-Factor-Defizite**
  - Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factors-Aspekten
  - Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter
  - Dienstausbildung unter Drogeneinfluss
- **Unzureichende Schulungen/Fachkunde**
  - Unzureichende Fachkunde
  - Fehlende oder unzureichende Schulungen
- **Defizite in Bezug auf Sicherheitsbedenken**
  - Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken
  - Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken
  - Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken
- **Defizite bei der ständigen Verbesserung**
  - Keine ständige Verbesserung
  - Unzureichender Erfahrungsrückfluss
  - Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken
- **Defizite bei Aufsicht und Überwachung**
  - Fehlende oder unzureichende Aufsicht
  - Fehlende oder unzureichende interne Überwachung
  - Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht
- **Unzureichende Anforderungen und Aufsicht**
  - Unzureichende Anforderungen
  - Fehlende oder unzureichende Aufsicht
- **Defizite in der Unternehmenskultur**
  - Duldung von Nichtkonformitäten
  - Autoritäre Führung
  - Bestrafungskultur

- **Unzureichende Regelungen und Prozeduren**
  - Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen
  - Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen
  - Unzureichende Notfallplanungen
- **Kommunikationsdefizite**
  - Kanalbezogene Kommunikationsdefizite
  - Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite
  - Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen
- **Defizite bei der Entscheidungsfindung**
  - **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten/unsicheren Zuständen**
  - Aufschieben von Entscheidungen
  - Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten
  - Keine Priorisierung von Sicherheit
- **Defizite im Management der Organisation**
  - **Unzureichendes systematisches Management der Sicherheit**
  - Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem
  - Unzureichendes Veränderungsmanagement
- **Unzureichende Ressourcen**
  - Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen
  - **Unzureichende personelle Ressourcen**

Es ist anzumerken, dass sich die zu einem abstrakten Merkmal gehörenden elementaren Merkmale auf die hier analysierten Ereignisse beziehen. Es ist zu erwarten, dass bei anderen Ereignissen weitere elementare Merkmale auftreten, die den aufgeführten abstrakten Merkmalen zuzuordnen sind.

Die Anzahl des Vorkommens eines abstrakten Merkmals ergibt sich grundsätzlich als Summe der Anzahlen der untergeordneten Merkmale. Um fälschliches mehrfaches Zählen zu vermeiden, wurden alle Ereignisse betrachtet, in denen mehr elementare Merkmale eines abstrakten Merkmals auftraten. Nur wenn diese elementaren Merkmale unabhängig voneinander den Ereignisablauf beeinflussten, wurden mehrere Vorkommen für das übergeordnete Merkmal gezählt.

Die sich ergebenden Häufigkeiten der abstrakten Merkmale sind in folgender Tabelle 3.3 dargestellt.

**Tab. 3.3** Abstrakte Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten

Die Merkmale sind geordnet nach der Anzahl ihres Vorkommens.

Merkmal	Anzahl
Defizite bei der Entscheidungsfindung <sup>1</sup>	24
Unzureichende Anforderungen und Aufsicht	12
Kommunikationsdefizite	11
Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten/unsicheren Zuständen	10
Defizite bei Aufsicht und Überwachung	9
Defizite bei Schulungen/Fachkunde	9
Defizite in Bezug auf Sicherheitsbedenken	8
Defizite bei der ständigen Verbesserung	8
Defizite in der Unternehmenskultur	8
Unzureichende Ressourcen <sup>1</sup>	8
Human-Factor-Defizite	7
Unzureichende personelle Ressourcen	6
Defizite im Management der Organisation <sup>1</sup>	4
Unzureichende Regelungen und Prozeduren	4
Defizite bei Notfallübungen	3
Unzureichendes systematisches Management der Sicherheit	2

<sup>1</sup> Diesen Merkmalen sind auch andere übergeordnete Merkmale, die ihrerseits in Tabelle 3.3 aufgeführt sind, untergeordnet.

In Abbildung 3.1 sind die elementaren und abstrakten Merkmale in Form eines Baumes dargestellt.

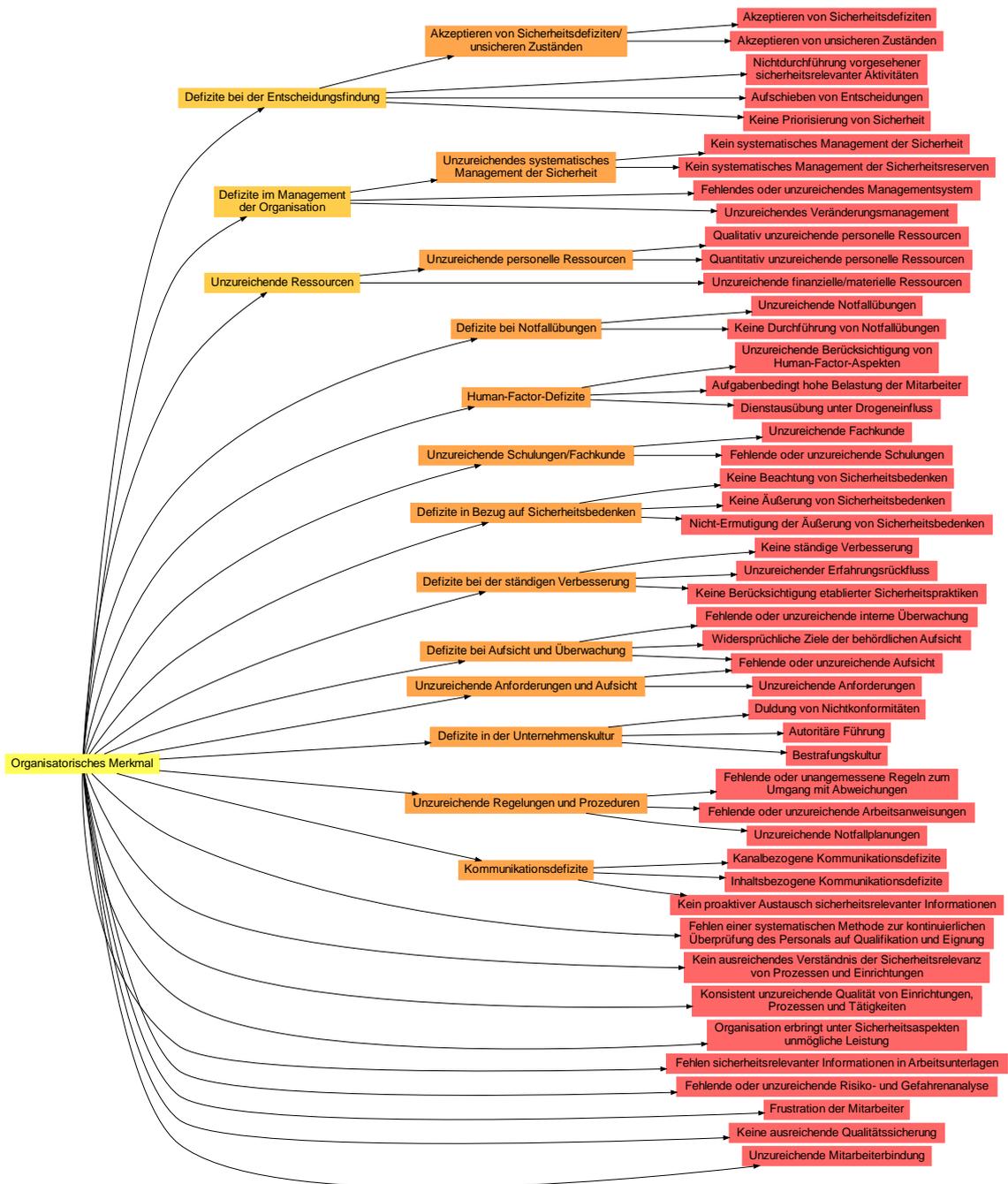
### **3.4 Übertragbarkeit der gefundenen Merkmale auf deutsche kerntechnische Einrichtungen**

Es wurde untersucht, ob die gefundenen Merkmale, die sich positiv oder negativ auf die Entstehung von katastrophalen Ereignissen und ihre Beherrschung ausgewirkt haben, für bestimmte Branchen (z. B. Luftfahrt, Offshore-Industrie, Chemie), für bestimmte Formen der behördlichen Aufsicht, für bestimmte Länder und für technologische oder kulturelle Besonderheiten spezifisch sind. Hierzu wurde beurteilt, ob die jeweiligen Merkmale

- bei deutschen kerntechnischen Einrichtungen grundsätzlich nicht auftreten können und
- bei deutschen kerntechnischen Einrichtungen, wenn sie auftreten, keine Wirkung entfalten können.

In Bezug auf einige gefundene Merkmale gibt es Anforderungen des deutschen Regelwerkes, die ein Auftreten dieses Merkmals ausschließen sollen. Z. B. ist in Bezug auf das Merkmal „kein systematisches Management der Sicherheit“ vom Betreiber eines deutschen Kernkraftwerks ein Managementsystem einzurichten und anzuwenden, das der nuklearen Sicherheit gebührenden Vorrang einräumt (§ 7c Abs. 1 ATG). Dadurch kann jedoch nicht sichergestellt werden, dass dieses Merkmal nicht in einer schwächeren Ausprägung als Mängel in dem systematischen Management der Sicherheit, z. B. durch unzureichende Implementation des Managementsystems, auftreten. Solche Aspekte werden in den Abschnitten 3.6.1ff. näher betrachtet.

Für alle gefundenen Merkmale wurden – bei Einbeziehung einer möglichen schwächeren Ausprägung – beide Fragen negativ beantwortet.



**Abb. 3.1** Hierarchie der elementaren und abstrakten Merkmale

Einzelne Merkmale wie „Bestrafungskultur“ sind zwar häufiger in bestimmtem kulturellem Kontext zu finden, aber nicht grundsätzlich auf diesen beschränkt. Ebenso wird die Übertragbarkeit nicht dadurch eingeschränkt, dass dieses Merkmal eventuell in einer konkreten Situation nicht vorliegt: So können z. B. „Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht“ grundsätzlich überall auftreten. Ist die behördliche Aufsicht so organisiert, dass dies weitestgehend vermieden wird, so stellt die Abwesenheit dieses Merkmals einen positiven Bewertungsaspekt dar.

Da die gefundenen elementaren Merkmale übertragbar sind, gilt dies auch für die aus ihnen gebildeten abstrakten Merkmale.

Somit sind die hier betrachteten Merkmale (siehe auch Abbildung 3.1) für eine Beurteilung der Organisation deutscher kerntechnischer Einrichtungen grundsätzlich geeignet.

### **3.5 Wichtigkeit der Merkmale**

Wie oben dargestellt, beeinflussten die verschiedenen Merkmale in den Ereignissen die Entwicklung zu einer Katastrophe bzw. die Vermeidung oder Mitigation in verschiedenem Maße. Während manche Merkmale nur indirekt begünstigend wirkten, waren andere unmittelbare Auslöser der Katastrophe.

Um die Wichtigkeit der einzelnen Merkmale für Katastrophenentstehung und -beherrschung zu erfassen, wurde eine systematische Vorgehensweise entwickelt, die auf Bewertungen durch Experten beruht, wie stark in einem Ereignis die Entstehung der Katastrophe bzw. der Erfolg der mitigativen Maßnahmen am Ende durch ein Merkmal bestimmt wurde.

Zur Bewertung der Wichtigkeit der einzelnen Merkmale in einem Ereignis werden mehrere Kategorien gebildet, die qualitativ charakterisiert werden. Diese werden dann einem quantitativen Wert der Wichtigkeit zugeordnet. Die Kategorie jedes Merkmals jedes Ereignisses wird durch Expertenbewertungen bestimmt. Diese grundsätzliche Vorgehensweise ist z. B. bei der Bewertung von Ereignissen der Betriebserfahrung zum Ermitteln von Zuverlässigkeitskenngrößen für Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) üblich /BFS 05a/ /BFS 05b/ /BFS 16/ /KRE 08/ /NEA 11/ /MOS 98/.

In Bezug auf die hier vorliegenden Daten wurden vier Kategorien der Wichtigkeit eines Merkmals für ein Ereignis gebildet. Diese Abstufung erwies sich als geeignet, einerseits die aus den vorliegenden Informationen ableitbaren Unterschiede der Wichtigkeit abzubilden, als auch andererseits zu einer nachvollziehbaren Zuordnung zu gelangen. Somit wird es weitestgehend vermieden, dass Merkmale, die erkennbar unterschiedlich wichtig für die Entstehung der Katastrophe bzw. den Erfolg der mitigativen Maßnahmen waren, in dieselbe Kategorie eingeordnet werden müssen, als auch, dass verschiedene Kategorien für ein Merkmal gleichermaßen zutreffend erscheinen. Die Kategorien sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

Die Merkmale aller Ereignisse wurden jeweils von drei Experten analysiert. Hierbei wurde zunächst unter den Experten diskutiert, wie das jeweilige Merkmal bei der Entstehung der Katastrophe bzw. bei der Beherrschung gewirkt hat. Dann nahm jeder Experte unabhängig eine Bewertung vor. Die Bewertungen wurden diskutiert. Da nur in einem sehr geringen Anteil (4 von 134 Bewertungen) auch nach der Diskussion abweichende Bewertungen unter den Experten verblieben und sich diese maximal um eine Stufe unterschieden, wurde hier auf eine weitere Verarbeitung der abweichenden Bewertungen verzichtet und in diesen Fällen die weiteren Berechnungen auf die Bewertung der Mehrheit der Experten basiert.

**Tab. 3.4 Charakterisierung der Wichtigkeit von Merkmalen in Ereignissen**

Kategorie	Qualitative Charakterisierung	Zahlenwert
Auslösend	Das Merkmal war entscheidend für die Ereignisentstehung und/oder -beherrschung. Ohne dieses Merkmal wäre das Ereignis nicht eingetreten oder gänzlich anders verlaufen.	1
Stark ereignisrelevant	Das Merkmal hat signifikant zur Ereignisentstehung und/oder -beherrschung beigetragen. Ohne dieses Merkmal wäre das Ereignis deutlich anders abgelaufen, zu einem anderen Zeitpunkt eingetreten bzw. die entstandenen Schäden deutlich anders ausgefallen.	0,5
Ereignisrelevant	Das Merkmal hat indirekt begünstigend zur Ereignisentstehung und/oder -beherrschung beigetragen. Ohne dieses Merkmal wäre das Ereignis etwas anders abgelaufen, möglicherweise zu einem anderen Zeitpunkt eingetreten bzw. die entstandenen Schäden etwas anders ausgefallen.	0,1
Nicht beitragend	Das Merkmal konnte zwar im Rahmen der Ereignisuntersuchung identifiziert werden, hatte aber keinen nachweisbaren Einfluss auf den Schaden des Ereignisses.	0

Die Bewertungen der Merkmale für die einzelnen Ereignisse sind in Anhang A dokumentiert.

Wie stark ein Merkmal typischerweise den Ereignisverlauf beeinflusst, wenn es in einer beteiligten Organisation wirksam wird, wird durch die mittlere bedingte Wichtigkeit beschrieben. Diese ist der Mittelwert der ereignisbezogenen Wichtigkeit eines Merkmales

über alle Ereignisse, in denen dieses Merkmal auftrat. Die mittleren bedingten Wichtigkeiten der Merkmale sind in Tabelle 3.5 dargestellt.

Die mittlere Einflussstärke eines Merkmals für das Ensemble der betrachteten Ereignisse wird durch die mittlere unbedingte Wichtigkeit quantifiziert. Diese ist der Mittelwert der Wichtigkeit eines Merkmales über alle Ereignisse (unter Einbeziehen der Ereignisse, in denen das Merkmal nicht auftrat bzw. nicht wirksam wurde – hier ist die ereignisbezogene Wichtigkeit 0). Sie kann berechnet werden als Produkt der Häufigkeit des Merkmals mit seiner mittleren bedingten Wichtigkeit. Die mittleren unbedingten Wichtigkeiten der Merkmale sind ebenfalls in Tabelle 3.5 dargestellt.

Die mittlere unbedingte Wichtigkeit ist besonders groß, wenn ein Merkmal häufig vorkommt und einen großen Einfluss auf die Entstehung der Katastrophe bzw. Beinahe-Katastrophe hat und besonders klein, wenn ein Merkmal selten vorkommt und einen geringen Einfluss auf die Entstehung der Katastrophe bzw. Beinahe-Katastrophe hat.

### **3.5.1 Ergebnisse der Bewertung der Wichtigkeit der Merkmale**

In der folgenden Tabelle 3.5 sind die Ergebnisse der Bewertung der Wichtigkeit der elementaren Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitrugen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten, angegeben.

**Tab. 3.5** Häufigkeit, bedingte und unbedingte mittlere Wichtigkeit der elementaren Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten.

Die Merkmale sind geordnet nach der Häufigkeit.

<b>Merkmal</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>bedingte mittlere Wichtigkeit</b>	<b>unbedingte mittlere Wichtigkeit</b>
Keine Priorisierung von Sicherheit	0,60	0,72	0,43
Unzureichende Anforderungen	0,60	0,32	0,19
Fehlende oder unzureichende Aufsicht	0,47	0,33	0,15
Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten	0,40	0,68	0,27
Unzureichende Fachkunde	0,40	0,68	0,27
Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken	0,40	0,43	0,17
Kanalbezogene Kommunikationsdefizite	0,40	0,37	0,15
Duldung von Nichtkonformitäten	0,40	0,30	0,12
Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen	0,33	0,36	0,12
Akzeptieren von unsicheren Zuständen	0,27	0,75	0,20
Aufschieben von Entscheidungen	0,27	0,53	0,14
Fehlende oder unzureichende Schulungen	0,27	0,30	0,08
Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten	0,27	0,30	0,08
Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite	0,27	0,20	0,05
Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung	0,20	0,83	0,17
Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten	0,20	0,70	0,14
Unzureichender Erfahrungsrückfluss	0,20	0,37	0,07
Keine ständige Verbesserung	0,20	0,23	0,05
Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen	0,20	0,23	0,05
Fehlende oder unzureichende interne Überwachung	0,20	0,10	0,02
Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen	0,13	0,75	0,10
Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse	0,13	0,50	0,07

<b>Merkmal</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>bedingte mittlere Wichtigkeit</b>	<b>unbedingte mittlere Wichtigkeit</b>
Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten	0,13	0,50	0,07
Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen	0,13	0,50	0,07
Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen	0,13	0,50	0,07
Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter	0,13	0,30	0,04
Keine ausreichende Qualitätssicherung	0,13	0,30	0,04
Unzureichende Notfallübungen	0,13	0,30	0,04
Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken	0,13	0,10	0,01
Dienstausübung unter Drogeneinfluss	0,07	1,00	0,07
Frustration der Mitarbeiter	0,07	1,00	0,07
Autoritäre Führung	0,07	0,50	0,03
Bestrafungskultur	0,07	0,50	0,03
Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen	0,07	0,50	0,03
Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven	0,07	0,50	0,03
Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken	0,07	0,50	0,03
Keine Durchführung von Notfallübungen	0,07	0,50	0,03
Unzureichende Notfallplanungen	0,07	0,50	0,03
Unzureichende Mitarbeiterbindung	0,07	0,10	0,01
Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung	0,07	0,10	0,01
Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen	0,07	0,10	0,01
Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem	0,07	0,10	0,01
Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen	0,07	0,10	0,01
Kein systematisches Management der Sicherheit	0,07	0,10	0,01
Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken	0,07	0,10	0,01
Unzureichendes Veränderungsmanagement	0,07	0,10	0,01
Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht	0,07	0,10	0,01

Es ist zu betonen, dass die Werte für das hier betrachtete Ensemble gültig sind. Aus den geringen Ereigniszahlen ergeben sich große statistische Unsicherheiten, wenn man aus den Beobachtungen allgemeingültige Schlüsse ableiten will.

Dies wird an zwei Beispielen illustriert:

Das Merkmal „Unzureichende Anforderungen“ ist in 9 von 15 Ereignissen aufgetreten. Hieraus gibt sich ein 90%-Vertrauensbereich der wahren Häufigkeit von [39 %, 78 %]. Der 90%-Vertrauensbereich gibt einen Wertebereich der Häufigkeit an, in dem die wahre Wahrscheinlichkeit mit 90 % Wahrscheinlichkeit liegt (siehe Anhang B).

Die Wichtigkeit wurde in 5 Ereignissen mit „stark ereignisrelevant“ und in 4 Ereignissen mit „ereignisrelevant“ bewertet. Hieraus ergibt sich als 90%-Vertrauensbereich der wahren bedingten Wichtigkeit das Intervall [1 %, 18 %]. Der 90%-Vertrauensbereich der wahren unbedingten Wichtigkeit ist [0,4 %, 12 %].

Das Merkmal „Dienstausübung unter Drogeneinfluss“ ist in einem von 15 Ereignissen aufgetreten. Hieraus ergibt sich ein 90%-Vertrauensbereich der wahren Häufigkeit von [3 %, 56 %]. Die Wichtigkeit wurde mit „Auslösend“ bewertet. Hieraus ergibt sich als 90%-Vertrauensbereich der wahren bedingten Wichtigkeit [26 %, 100 %]. Der 90%-Vertrauensbereich der wahren unbedingten Wichtigkeit ist [1 %, 22 %].

Somit sind die aufgrund der relativ geringen Anzahl von Ereignissen entstehenden Unsicherheiten sehr groß. Andere Unsicherheitsquellen wie z. B. unvollständige Informationen, die die Identifikation eines tatsächlich vorhandenen Merkmals verhindern, vergrößern die tatsächliche Unsicherheit weiter.

Für die abstrakten Merkmale werden die bedingten mittleren Wichtigkeiten gebildet, indem der Mittelwert der Wichtigkeit eines Merkmals über alle Vorkommen der Merkmale, aus denen es besteht, berechnet wird.

Die unbedingten mittleren Wichtigkeiten der abstrakten Merkmale ergeben sich wieder als Produkt der bedingten mittleren Wichtigkeiten mit ihren Häufigkeiten.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.6 dargestellt.

Die Häufigkeit kann größer 1 sein, wenn ein zu diesem Merkmal gehöriges elementares Merkmal im Mittel an mehr als einem Punkt im Verlauf des Ereignisses wirksam wurde. Defizite bei der Entscheidungsfindung sind im Mittel 1,6-mal in jedem Ereignisverlauf nachweisbar.

**Tab. 3.6** Wichtigkeit der abstrakten Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitrugen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten.

Die Merkmale sind geordnet nach der Häufigkeit.

<b>Merkmal</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>bedingte mittlere Wichtigkeit</b>	<b>unbedingte mittlere Wichtigkeit</b>
Defizite bei der Entscheidungsfindung <sup>1</sup>	1,6	0,67	1,0688
Unzureichende Anforderungen und Aufsicht	0,8	0,33	0,26
Kommunikationsdefizite	0,73333	0,40	0,2933
Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten/unsicheren Zuständen	0,66667	0,71	0,4733
Defizite bei Schulungen/Fachkunde	0,6	0,53	0,318
Defizite bei Aufsicht und Überwachung	0,6	0,25	0,1473
Defizite Äußerung/Beachtung/Ermutigung von Sicherheitsbedenken	0,53333	0,40	0,2133
Defizite in der Unternehmenskultur	0,53333	0,35	0,1867
Unzureichende Ressourcen <sup>1</sup>	0,53333	0,27	0,144
Defizite bei der ständigen Verbesserung	0,53333	0,25	0,1333
Human-Factor-Defizite	0,46667	0,40	0,1867
Unzureichende personelle Ressourcen	0,4	0,21	0,085
Nicht vorhandene/unzureichende Regelungen und Prozeduren	0,26667	0,53	0,14
Defizite im Management der Organisation <sup>1</sup>	0,26667	0,20	0,0533
Defizite bei Notfallübungen	0,2	0,37	0,0733
Unzureichendes Management der Sicherheit	0,13333	0,30	0,04

<sup>1</sup> Diesem Merkmal sind auch andere übergeordnete Merkmale, die ihrerseits in Tabelle 3.6 aufgeführt sind, untergeordnet.

Für die elementaren Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern und ihre Beherrschung von Katastrophen begünstigen, wurden ebenfalls die Wichtigkeiten ermittelt. Diese sind in Tabelle 3.7 dargestellt.

**Tab. 3.7** Elementare Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern und ihre Beherrschung begünstigen.

Die Merkmale sind geordnet nach ihrer Häufigkeit.

Merkmalsname	Häufigkeit	bedingte mittlere Wichtigkeit	unbedingte mittlere Wichtigkeit
Keine kanalbezogenen Kommunikationsdefizite	0,22	0,50	0,11
Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen	0,22	0,50	0,11
Priorisierung von Sicherheit	0,11	1,00	0,11
Erfahrenes Personal	0,11	1,00	0,11
Gute Fachkunde	0,11	0,50	0,06
Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen	0,11	0,50	0,06
Keine Inhaltsbezogenen Kommunikationsdefizite	0,11	0,50	0,06

### 3.6 Erfassung der Merkmale beim Betrieb einer kerntechnischen Anlage

Im Folgenden wird diskutiert, wie die Merkmale beim Betrieb einer kerntechnischen Anlage erfasst und bewertet werden können<sup>4</sup>. Hierzu werden insbesondere auch Erkenntnisse über deutsche meldepflichtige Ereignisse (siehe z. B. /MIL 19/) und über Indikatoren, die im Rahmen des integrierten Managements deutscher Kernkraftwerke definiert und ausgewertet werden oder wurden (siehe /BLU 19/ und dort angegebene Quellen) verwendet. Teilweise wurden auch relevante Indikatoren angegeben, die in der

---

<sup>4</sup> In Bezug auf die Erfassung werden hier nur die elementaren Merkmale betrachtet. Diese sind, wie in Abschnitt 3.4 diskutiert, sämtlich auf deutsche kerntechnische Anlagen übertragbar. Die in Abschnitt 3.3 definierten übergeordneten Merkmale sind nicht unmittelbar erfassbar; ihre Bewertung muss aus den Bewertungen der elementaren Merkmale, aus denen sie bestehen, abgeleitet werden. Mit dieser Aggregation ist ein Informationsverlust verbunden. Da somit der Erfassungsaufwand nicht verringert ist, jedoch ein Informationsverlust auftritt, ist es nicht sinnvoll, eine Bewertung anhand der abstrakten Merkmale durchzuführen.

Fachöffentlichkeit diskutiert wurden, aber über deren tatsächliche Implementation in deutschen Kernkraftwerken uns keine Kenntnisse vorliegen<sup>5</sup>.

### **3.6.1 Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten**

Um Informationen zu gewinnen, ob in der Organisation einer kerntechnischen Einrichtung das Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten als organisatorisches Merkmal ausgeprägt ist, ist zunächst die Existenz von

- meldepflichtigen Ereignissen, bei denen in der Organisation bekannte Sicherheitsdefizite akzeptiert und nicht behoben wurden, insbesondere wenn dies wiederholt auftrat

zu prüfen. Darüber hinaus können Indikatoren, die im Rahmen des integrierten Managements erhoben und verfolgt werden, für eine Bewertung herangezogen werden. Diese umfassen:

- Anzahl von Klasse-1-Meldungen, die länger als acht Stunden während Leistungsbetrieb anstehen; ausgenommen sind Klasse 1-Meldungen, die auf Grund von Instandhaltung anstehen,
- Durchschnittliche Anzahl von bestehenden Simulationen in der Leittechnik und
- Anzahl der eingesetzten temporären technischen Ersatzmaßnahmen am jeweiligen Monatsende.

Wenn diese Indikatoren hohe Werte annehmen, kann dies ein Hinweis auf Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten sein. Um zu einer sachgerechten Interpretation zu gelangen, ist in jedem Fall eine Ursachenklärung der Werte der Indikatoren erforderlich.

---

<sup>5</sup> Diese Indikatoren sind mit einem Stern gekennzeichnet.

### **3.6.2 Akzeptieren von unsicheren Zuständen**

Dieses Merkmal würde sich zeigen anhand

- meldepflichtiger Ereignisse, bei denen die Anlage in einer klar unsicheren Weise betrieben wird und dies in der Organisation bei den Verantwortlichen bekannt war und akzeptiert wurde.

In deutschen Kernkraftwerken sind in der nahen Vergangenheit keine solchen Ereignisse bekannt geworden. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieses Merkmal in der abgeschwächten Form „Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten“ (siehe 3.6.1) auftreten würde.

### **3.6.3 Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter**

Über das Vorliegen dieses Merkmals können

- meldepflichtige Ereignisse, die durch Fehlhandlungen verursacht wurden, die durch eine zu hohe Belastung von Mitarbeitern verursacht oder begünstigt werden, insbesondere wenn mehrere Ereignisse bei denselben Tätigkeiten auftraten,

Informationen liefern. Ferner können ggf. entsprechende Erkenntnisse aus Notfallübungen und Mitarbeiterbefragungen berücksichtigt werden.

### **3.6.4 Aufschieben von Entscheidungen**

Ein Aufschieben von Entscheidungen ist durch einen unverhältnismäßig großen Zeitraum zwischen dem Vorliegen einer Entscheidungsnotwendigkeit und -möglichkeit und dem tatsächlichen Treffen der Entscheidung gekennzeichnet.

Inwieweit bei einem Ablauf ein Aufschieben von Entscheidungen vorliegt, ist im Allgemeinen nicht einfach zu bewerten, da u. a. einzuschätzen ist, inwieweit notwendige Informationen vorliegen und welcher Zeitraum zur Entscheidungsfindung angemessen ist, wobei der Maßstab hierfür von möglichen Konsequenzen und der Dynamik des Geschehens abhängt. In jedem Fall kann ein Aufschieben als gegeben angesehen werden, wenn keine zusätzlichen Informationen zu erwarten sind und die Zeit zur gründlichen Analyse und Diskussion des Problems und der möglichen Handlungsalternativen und -konsequenzen deutlich überschritten wurde.

Die Entscheidungsfindung ist häufig nicht oder nur unvollständig dokumentiert oder schwer zugänglich (z. B. in Form von Sitzungsprotokollen, Briefen, Emails), sodass eine umfassende Erfassung des Merkmals schwierig erscheint.

Jedoch kann anhand von

- meldepflichtigen Ereignissen, bei denen (ähnliche) Schäden mehrfach auftraten

untersucht werden, ob hier ein Aufschieben von Entscheidungen vorliegt. Gegebenenfalls könnten hierzu anhand von

- Informationen zur Bearbeitung von Weiterleitungsnachrichten

weitere Erkenntnisse erlangt werden.

### **3.6.5 Autoritäre Führung**

Ein autoritärer Führungsstil ist dadurch gekennzeichnet, dass der Vorgesetzte allein die Entscheidungen trifft und von Mitarbeitern Gehorsam erwartet wird. Ein Vorteil insbesondere in Krisensituationen ist die Möglichkeit schneller Entscheidungen. Nachteilig wirkt, dass Ideen und Bedenken der Mitarbeiter nur eingeschränkt einbezogen werden und bei ständig autoritärer Führung im Allgemeinen die Identifikation und Motivation der Mitarbeiter gering ist.

Fundierte Aufschlüsse über das Vorliegen eines autoritären Führungsstiles können durch Beobachtungen und Mitarbeiterbefragungen gewonnen werden.

Andere, im Rahmen des integrierten Managementsystems vorliegende (z. B. Häufigkeit von Besprechungen) oder aus meldepflichtigen Ereignissen entnehmbare Informationen bilden nur sehr indirekt oder fragmentarisch einen autoritären Führungsstil in der Organisation ab.

### **3.6.6 Bestrafungskultur**

Die Abwesenheit einer Bestrafungskultur („no blame culture“) ist Teil der Sicherheitskultur. Die Förderung der Sicherheitskultur ist eines der vorrangigen Ziele des integrierten Managementsystems.

Gemäß KTA 1402 sind in regelmäßigen Abständen eine Selbstbeurteilung der Sicherheitskultur und eine unabhängige Beurteilung der Sicherheitskultur durchzuführen. Die hierzu erstellte Dokumentation kann als Grundlage einer Bewertung eventueller Defizite in Bezug auf eine Bestrafungskultur dienen. Weitere Anhaltspunkte ergeben sich aus der Behandlung dieses Aspektes in Schulungen (insbes. Schulungsunterlagen) zur Sicherheitskultur.

Die Anstrengungen zur Förderung der Sicherheitskultur insgesamt sind durch Indikatoren des integrierten Managementsystems überwacht:

- Anzahl der Schulungen mit Themen zur Sicherheitskultur pro Jahr
- Summe von Veranstaltungsstunden für Ausbildungsmaßnahmen zur Sicherheitskultur pro Jahr
- Teilnahmerate an Ausbildungsmaßnahmen zur Sicherheitskultur (Anzahl der Mitarbeiter, die an Schulungsmaßnahmen zur Sicherheitskultur teilgenommen haben, geteilt durch die Gesamtanzahl der Mitarbeiter)

### **3.6.7 Dienstausbübung unter Drogeneinfluss**

In Deutschland gibt es keine systematischen Programme („fitness for duty“), die eine Überwachung in Bezug auf Drogen- und Alkoholkonsum gewährleisten. Vorliegende Daten über Drogen- und Alkoholkonsum von Mitarbeitern unterliegen der Vertraulichkeit. Deshalb erscheint es nicht möglich, dieses Merkmal zu erfassen. Nur falls meldepflichtige Ereignisse auftreten, bei denen dieses Merkmal aufgetreten ist und dies dokumentiert wurde, könnten fragmentarische Erkenntnisse erzielbar sein.

### **3.6.8 Duldung von Nichtkonformitäten**

Informationen über dieses Merkmal können aus einer Vielzahl im Rahmen des integrierten Managements erhobener Indikatoren abgeleitet werden, z. B.:

- Anzahl der im laufenden Jahr dokumentierten Abweichungen von schriftlichen betrieblichen Regelungen, z. B. erfasst bei internen oder externen Audits,
- Anzahl fehlender Schlüssel der Komponentenschließung, die nicht im Schlüsselbuch ordnungsgemäß ein- oder ausgetragen sind,
- Anteil der Schichtübergaben, bei denen im Rahmen der Dienstaufsicht eine unvollständige Dokumentation im Schichtbuch gemäß Warten- und Schichtordnung festgestellt wurde,
- Anzahl der im Rahmen der Schlüsselhandhabung festgestellten Mängel in der Sicherheitszentrale,
- Anzahl der Inkonsistenzen mit gesetzl. Bestimmungen und Regelwerken in Bezug auf die nukleare Sicherheit,
- Verhältnis der erfüllten zu den durch die Behörde vorgegeben Auflagen,
- Anzahl der nicht fristgerecht umgesetzten Maßnahmen aus gesetzlichen Forderungen,
- Anzahl der Beanstandungen aus vorhergegangenen Rundgängen und Begehungen, die noch nicht behoben wurden und
- Anzahl aller Kommentare (Auffälligkeiten) während Inspektionen.

Insbesondere sind hier dauerhaft hohe Werte mehrerer Indikatoren aussagekräftig.

Diese Indikatoren erlauben nicht nur die Bewertung in Bezug auf die Betreiberorganisation, sondern – wenn dauerhaft hohe Werte geduldet werden – auch in Bezug auf die Aufsicht.

### **3.6.9 Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung**

Eine systematische Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung ist, wenn sie existiert, Teil des integrierten Managementsystems und dort dokumentiert. Da durch eine solche Methode eventuelle Fehlhandlungen nur sehr indirekt beeinflusst werden, ist nicht zu erwarten, dass meldepflichtige Ereignisse hierzu Erkenntnisse liefern.

### **3.6.10 Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen**

Über das Vorliegen dieses Merkmals können

- meldepflichtige Ereignisse, die durch Fehlhandlungen verursacht wurden, die durch fehlende Informationen in Arbeitsunterlagen verursacht oder begünstigt werden,

Informationen liefern.

Ebenso können ggf. Feststellungen bei Audits und Reviews über das Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen als Informationsquelle dienen.

Weiterhin können entsprechende Defizite als spezielle Informationen ggf. den unter 3.6.12 genannten Quellen entnommen werden.

### **3.6.11 Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen**

Es ist nie auszuschließen, dass sich Regeln in speziellen Fällen nicht anwenden lassen und von diesen abgewichen werden muss. Um zu vermeiden, dass es in diesen Fällen zu unsystematischem Vorgehen kommt, sollten Regeln zum Umgang mit notwendigen Abweichungen vorhanden sein. Diese Meta-Regeln wären in der Dokumentation von Managementsystem bzw. Ablauforganisation enthalten, so dass eine Sichtung der Entsprechenden Dokumente Aufschluss über das Vorliegen dieses Merkmals gibt.

### 3.6.12 Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen

Dieses Merkmal kann bewertet werden anhand von

- meldepflichtigen Ereignissen, bei denen unzureichende Arbeitsanweisungen ursächlich waren,

und von

- Instandhaltungsvorgängen, bei denen unzureichende Arbeitsanweisungen zu Fehlern führten.

Für die letztgenannten Vorgänge kann das Betriebsführungssystem als Informationsquelle dienen.

Im Rahmen des integrierten Managementsystems können auch bereits Indikatoren definiert sein, die diesen Aspekt bzgl. der Qualität der Prozesse

- Instandhaltung
- Betrieb der Anlage

erfassen.

Für Betriebshandbuch (BHB) und Prüfhandbuch (PHB) – die Arbeitsanweisungen im Sinne dieser Studie beinhalten – sind solche Indikatoren, die in die Bewertung einzogen werden können, da sie Hinweise auf mögliche Mängel der Dokumente und der Prozesse zur Erstellung und Pflege dieser Dokumente sein können:

- Anzahl temporärer Schichtmitteilungen mit anweisendem Charakter zur Betriebsweise der Anlage in Ergänzung oder Abweichung zum BHB, die länger als einen BE-Zyklus gültig sind,
- durchschnittliche Geltungsdauer der bestehenden temporären Schichtmitteilungen, gerechnet ab Datum der Inkraftsetzung,
- durchschnittliche Anzahl von Roteinträgen im BHB (inkl. NHB) und PHB dokumentiert sind (gezählt werden Korrekturen am BHB, die nur in den Wartenexemplaren aktualisiert werden), und
- durchschnittliche Bestandsdauer der bestehenden Roteinträge im BHB

Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass eine relativ hohe Zahl von Änderungen Folge einer unzureichenden Qualität aber auch einem Streben nach ständiger Verbesserung sein können.

### **3.6.13 Fehlende oder unzureichende Aufsicht**

Das deutsche gesetzliche und untergesetzliche Regelwerk bestimmt die behördliche Aufsicht über kerntechnische Anlagen. Die folgenden Indikatoren beinhalten Informationen über mögliche Defizite in der Aufsicht:

- Anzahl von Begehungen unter Beteiligung der Aufsichtsbehörden,
- Anzahl von Beanstandungen in Begehungen,
- Anzahl nicht fristgerecht umgesetzter Maßnahmen aus gesetzlichen Forderungen,
- Anzahl der Inkonsistenzen mit gesetzl. Bestimmungen und Regelwerken in Bezug auf die nukleare Sicherheit,
- Verhältnis der erfüllten zu den durch die Behörde vorgegeben Auflagen,
- Anzahl Beanstandungen aus vorhergegangenen Rundgängen und Begehungen, die noch nicht behoben wurden, und
- Anzahl aller Kommentare (Auffälligkeiten) während Inspektionen.

Allerdings sind diese Indikatoren teilweise nicht aus sich heraus eindeutig zu bewerten. So kann eine geringe Anzahl Beanstandungen einerseits aus einer guten Compliance der Anlage, andererseits aus einer unzureichenden Aufsicht resultieren.

### **3.6.14 Fehlende oder unzureichende interne Überwachung**

Gemäß KTA 1402 ist vom Betreiber eine detaillierte Überwachung<sup>6</sup> einzurichten, die Prozessbewertungen (durch prozessbezogene Reviews, Audits, Prozessbeobachtungen und Indikatoren) als auch prozessunabhängige Bewertungen (durch Betriebsbegehungen, Tätigkeitsbeobachtung, Selbstbeurteilungen der Sicherheitskultur) umfassen

---

<sup>6</sup> Hier ist Überwachung im umfassenden Sinne verwendet im Gegensatz zum spezifischeren Begriff der Anlagenüberwachung, der die physikalische Überwachung, chemische und radiochemische Überwachung und radiologische Überwachung umfasst.

soll. Die hierzu vorliegende Dokumentation ist als Grundlage der Bewertung der internen Überwachung geeignet.

Im Rahmen des integrierten Managementsystems sind auch Indikatoren zur Beurteilung der internen Überwachung definiert. Dies umfasst z. B.:

- Anzahl der durchgeführten internen Audits,
- Häufigkeit der durchgeführten Kontrollen bei Schichtübergaben im Rahmen der Dienstaufsicht im Vergleich zu den Vorgaben,
- Verhältnis Ist/Soll von Rundgängen und
- Anteil der Ist-Anzahl der erfassten Indikatoren im Vergleich zur Soll-Anzahl der zu erfassenden Indikatoren.

### **3.6.15 Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse**

Nach deutschem Regelwerk sind für Kernkraftwerke angemessene Sicherheitsanalysen und -überprüfungen gefordert. In KTA 1402 werden Anforderungen an einen hierfür vorgesehenen Prozess „Sicherheitsanalysen und -überprüfungen“ gegeben. Wichtige Risikoanalysen wie PSÜ werden gutachterlich bewertet. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass Risiko- und Gefahrenanalysen grundsätzlich durchgeführt werden. Diese können sich jedoch als unzureichend bzw. unvollständig herausstellen.

Ob Risiko- und Gefahrenanalysen unzureichend sind, stellt sich im Allgemeinen erst im Nachhinein heraus, d. h., wenn Ereignisse aufgetreten sind, die in den Analysen nicht berücksichtigt oder falsch bewertet wurden bzw. unerwartete Folgen hatten.

Deshalb sind

- meldepflichtige Ereignisse, bei denen unzureichende Risiko- und Gefahrenanalysen den Ablauf beeinträchtigt haben,

für dieses Merkmal zu analysieren.

Ebenso sind die im Rahmen des Prozesses „Sicherheitsanalysen und -überprüfungen“ ggf. definierten Indikatoren einzubeziehen.

### **3.6.16 Fehlende oder unzureichende Schulungen**

Das deutsche Regelwerk beinhaltet Anforderungen an Schulungen für das Personal, für das spezielle Fachkunde erforderlich ist. Insofern ist davon auszugehen, dass grundsätzlich Schulungen durchgeführt werden. Diese können sich jedoch als unzureichend herausstellen.

Indikatoren, die quantitative Aspekte der Schulungen erfassen, sind u. a.

- Gesamtschulungsstunden des gesamten Fachkundepersonals,
- durchschnittliche Anzahl Schulungsstunden je Fachkunde-Führungskraft,
- durchschnittliche Anzahl Schulungsstunden je Mitarbeiter des verantwortlichen Schichtpersonals,
- Schulungsstunden für verantwortliches Schichtpersonal, die über die behördliche Mindestvorgabe hinausgehen, und
- Schulungsstunden für verantwortliches Personal (ohne Schichtpersonal), die über die behördliche Mindestvorgabe hinausgehen.

Indikatoren, die qualitative Aspekte der Schulungen erfassen sind u. a.

- das Verhältnis der Anzahl Nachschulungen nach erfolgter Simulatorschulung zur Gesamtanzahl durchgeführter Simulatorschulungen für verantwortliches Schichtpersonal und
- die kontinuierliche Erfassung der Qualität der Schulungsmaßnahmen anhand eines durch die Teilnehmenden auszufüllenden Fragebogens.

### **3.6.17 Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem**

Nach deutschem gesetzlichem und untergesetzlichem Regelwerk ist vom Betreiber ein integriertes Managementsystem einzurichten und anzuwenden, das sämtliche Ziele und Anforderungen, wie zum Beispiel zur Sicherheit, Qualität, Arbeitssicherheit, Umwelt und Wirtschaftlichkeit berücksichtigt. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass grundsätzlich ein Managementsystem vorhanden ist. Dieses kann sich jedoch in der Praxis als unzureichend bzw. als nicht zureichend implementiert herausstellen.

Das Managementsystem ist regelmäßig hinsichtlich Eignung, Wirksamkeit und Effizienz mindestens einmal pro Jahr im Rahmen eines Managementreviews zu bewerten. Die hierbei zu erstellende Dokumentation kann als Grundlage der Bewertung dieses Merkmals dienen. Sie umfasst insbesondere die Auswertung von Reviews, Audits und Indikatoren.

### **3.6.18 Frustration der Mitarbeiter**

Im Rahmen integrierter Managementsysteme wird die Frustration von Angestellten durch Indikatoren der Mitarbeiterzufriedenheit direkt und indirekt erfasst.

Die Mitarbeiterzufriedenheit wird direkt gemessen durch

- Mitarbeiterbefragungen

und indirekt durch eine Bewertung der

- Mitarbeiterfluktuation, definiert als Anteil der in einem Kalenderjahr ausgeschiedenen Mitarbeiter.

Darüber hinaus sind auch eventuelle

- Ereignisse, bei denen willentlich ein Schaden herbeigeführt wurde,

für eine Frustration der Mitarbeiter aussagekräftig, wenn sich solche Ereignisse in der zu bewertenden Anlage ereignet haben. Allerdings sind in den deutschen meldepflichtigen Ereignissen keine solchen Fälle enthalten und auch in der internationalen Betriebserfahrung von Kernkraftwerken /IAE 20/ ist nur eine sehr geringe Anzahl solcher Ereignisse bekannt geworden.

### **3.6.19 Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen**

Ein hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen ist gegeben, wenn eine übergeordnete Organisation untergeordnete Organisationen steuern kann. Dies kann für Maßnahmen zur Vermeidung von Katastrophen oder für mitigative Maßnahmen vorteilhaft sein, da keine Streitigkeiten über Zuständigkeiten auftreten können und die Handlungen eng abgestimmt werden können. Ein solches Verhältnis ergibt sich aus den gesetzlichen und untergesetzlichen Rechtsquellen, denen die Organisationen unterliegen.

### **3.6.20 Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite**

Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite sind dadurch gekennzeichnet, dass relevante Informationen nicht an den Empfänger, der sie benötigt, gesendet werden. Grundsätzlich ist zur Beurteilung die Kenntnis erforderlich, welcher Empfänger wann welche Informationen benötigt. Tatsächlich liegt diese Information häufig erst im Nachhinein vor, wenn das Fehlen relevanter Information zu unerwünschten Folgen geführt hat.

Deshalb sind insbesondere

- meldepflichtige Ereignisse, die durch inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite verursacht oder beeinflusst wurden,

für die Beurteilung relevant. Daneben können ggf. auch Feststellungen aus Audits, Reviews, und Begehungen sowie Erfahrungen aus Übungen hierzu Informationen liefern.

### **3.6.21 Kanalbezogene Kommunikationsdefizite**

Kanalbezogene Kommunikationsdefizite sind dadurch gekennzeichnet, dass relevante Informationen gesendet werden, aber den beabsichtigten Empfänger nicht erreichen.

Auf kanalbezogene Defizite in der Kommunikation lässt sich schließen aus

- meldepflichtigen Ereignissen, bei denen nicht erfolgreiche Kommunikationsversuche (z. B. durch unverfügbare Kommunikationsmittel) Ereignisse ausgelöst oder den Ereignisverlauf negativ beeinflusst haben, und aus
- Problemen in Notfallübungen, die auf kanalbezogene Defizite der Kommunikation zurückzuführen sind.

Im Rahmen der integrierten Managementsysteme können auch bereits Indikatoren definiert sein, die kanalbezogene Kommunikationsdefizite anzeigen, wie

- der Prozentsatz der Alarmierungssignale eines Jahres (anlagenintern und extern), die die Funktion erfüllt haben,
- der Prozentsatz der Zeit in Übungen, die notwendig war, alternative Möglichkeiten (Sicherungspersonal abstellen) zu nutzen, weil Alarmsysteme ausgefallen sind, und
- die qualitative Überprüfung, ob die der Unternehmenskommunikation zur Verfügung stehenden Mittel geeignet sind (schnell, verständlich, zugänglich).

### **3.6.22 Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen**

Auf ein nicht ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen lässt sich schließen aus

- meldepflichtigen Ereignissen, bei denen es aufgrund eines nicht ausreichenden Verständnisses der Sicherheitsrelevanz zu Fehlplanungen oder Fehlhandlungen gekommen ist.

### **3.6.23 Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen**

Unter proaktivem Austausch sicherheitsrelevanter Informationen wird hier die Mitteilung oder Beschaffung sicherheitsrelevanter Informationen verstanden, ohne dass hierfür eine spezielle Regelung getroffen ist, mit dem Ziel, sich oder anderen ein vollständiges oder zutreffendes Bild der Sicherheit zu ermöglichen. Dies stellt einen sehr speziellen Aspekt der Sicherheitskultur dar. Es ist nicht davon auszugehen, dass sich aus den genannten regelmäßigen Beurteilungen der Sicherheitskultur, aus Reviews und Audits wesentliche Erkenntnisse hierzu ableiten lassen. Somit kommen ggf.

- meldepflichtige Ereignisse, bei denen ein (ggf. unterbliebener) proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen eine Rolle spielte,

als Informationsquelle infrage.

### **3.6.24 Kein systematisches Management der Sicherheit**

Dieses Merkmal charakterisiert den Aspekt, dass Sicherheit systematisch gemanagt wird (im Gegensatz zu unsystematisch).

Gemäß dem deutschen Regelwerk ist ein systematisches Management der Sicherheit in Form des Betriebes eines integrierten Managementsystems erforderlich. Insofern ist davon auszugehen, dass ein systematisches Management der Sicherheit grundsätzlich vorhanden ist. Jedoch kann das systematische Management der Sicherheit unzureichend sein, indem sicherheitsrelevante Aspekte nicht erfasst werden oder es nicht vollständig angewandt wird. Informationen hierzu können ggf. Reviews und Audits des integrierten Managementsystems entnommen werden.

### **3.6.25 Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven**

Ein systematisches Management der Sicherheitsreserven sollte Teil eines umfassenden systematischen Managements der Sicherheit und damit Teil des integrierten Managementsystems sein. Der Dokumentation des integrierten Managementsystems kann entnommen werden, ob ein umfassendes systematisches Management der Sicherheitsreserven vorgesehen ist.

Über die Effektivität eines solchen Systems geben ggf.

- meldepflichtige Ereignisse, bei denen Sicherheitsreserven aufgezehrt wurden,

oder

- technische Analysen, die die Aufzehrung von Sicherheitsreserven zeigten,

Auskunft.

### **3.6.26 Keine ausreichende Qualitätssicherung**

Gemäß dem deutschen Regelwerk ist vom Betreiber ein integriertes Managementsystem einzurichten und anzuwenden, das sämtliche Ziele und Anforderungen berücksichtigt, insbesondere auch die Qualität. In der KTA 1401 werden detaillierte Anforderungen an die Qualitätssicherung gegeben. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass grundsätzlich eine Qualitätssicherung vorhanden ist. Diese kann sich jedoch in der Praxis als unzureichend bzw. als nicht zureichend implementiert herausstellen.

Auf eine nicht ausreichende Qualitätssicherung lässt sich schließen aus

- meldepflichtigen Ereignissen, deren Ursache auf Mängel bei der Qualitätssicherung zurückzuführen sind.

Gegebenenfalls können auch Feststellungen bei Audits und Reviews über Mängel in der Qualitätssicherung Hinweise liefern.

### **3.6.27 Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken**

Sicherheitsbedenken können informell oder in formalisierter Weise geäußert werden. Die Äußerung von Sicherheitsbedenken ist Teil der Sicherheitskultur. Die Förderung der Sicherheitskultur ist eines der vorrangigen Ziele des integrierten Managementsystems.

Wie bereits dargestellt, fordert KTA 1402 eine Selbstbeurteilung der Sicherheitskultur und eine unabhängige Beurteilung der Sicherheitskultur in regelmäßigen Abständen. Die hierzu erstellte Dokumentation kann als Grundlage einer Bewertung eventueller Defizite in Bezug auf die Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken dienen. Weitere Anhaltspunkte ergeben sich aus der Behandlung dieses Aspektes in Schulungen (insbesondere in Schulungsunterlagen) zur Sicherheitskultur (siehe auch Abschnitt 3.6.6). Weiterhin können auch Informationen über Vorgänge aus formalisierten Systemen, die zur Äußerung von Sicherheitsbedenken eingerichtet sind (siehe Abschnitt 3.6.35) oder hierzu Verwendung finden, einbezogen werden.

### **3.6.28 Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken**

Auch die Beachtung von Sicherheitsbedenken ist Teil der Sicherheitskultur. Wie bereits mehrfach erwähnt, ist die Förderung der Sicherheitskultur eines der vorrangigen Ziele des integrierten Managementsystems und nach KTA 1402 sind in regelmäßigen

Abständen eine Selbstbeurteilung der Sicherheitskultur und eine unabhängige Beurteilung der Sicherheitskultur erforderlich. Die hierzu erstellte Dokumentation kann Informationen zur Beachtung von Sicherheitsbedenken enthalten. Weiterhin können auch Informationen über Vorgänge aus formalisierten Systemen, die zur Äußerung von Sicherheitsbedenken eingerichtet sind (siehe 3.6.35) oder hierzu verwendet werden, einbezogen werden.

### **3.6.29 Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken**

Die Kenntnis etablierter Sicherheitspraktiken und Best Practices als Voraussetzung für die Anwendung in der Organisation wird gefördert durch

- Reviews, Audits und Assessments durch Externe in der eigenen Anlage und
- die Teilnahme eigener Mitarbeiter an Reviews, Audits und Assessments in anderen Anlagen.

Entsprechend können folgende zwei Indikatoren bei der Bewertung Verwendung finden:

- Anzahl aller Reviews, Audits und Assessments, die durch Externe am Kraftwerksstandort durchgeführt werden (u. a. nationale/internationale Peer-Reviews, IAEA Missions, VGB-SBS, Anlagenbegehungen von Sachverständigen),
- Anzahl der Teilnehmer (Reviewer) an externen Reviews (nationale/ internationale Peer-Reviews, IAEA Missions, VGB-SBS).

Zu Beurteilung dieses Merkmals können ggf. zusätzlich entsprechende

- Feststellungen aus Reviews, Audits und Assessments über nicht implementierte Best Practices

beitragen.

### **3.6.30 Keine Durchführung von Notfallübungen**

Nach dem Atomgesetz ist der Betreiber verpflichtet, präventive und mitigative Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes vorzusehen, die regelmäßig in Übungen angewandt und geprüft werden. Insofern ist davon auszugehen, dass nur die schwächere Ausprägung „Unzureichende Durchführung von Notfallübungen“ dieses Merkmals (siehe Abschnitt 3.6.46) hier auftritt.

### **3.6.31 Keine Priorisierung von Sicherheit**

Jede Organisation muss einen Ausgleich zwischen Sicherheit und ihren anderen Zielen finden. Diese umfassen die Zwecke der Organisation wie Stromproduktion oder Lagerung radioaktiven Abfalls.

Ob in Entscheidungen der Sicherheit nicht ausreichende Priorität eingeräumt wurde, wird nur dann klar erkennbar, wenn ein unerwünschtes Ereignis tatsächlich oder beinahe eingetreten ist (d. h. im Nachhinein).

Das Fehlen solcher Ereignisse zeigt aber nicht, dass die Sicherheit gebührend priorisiert wird – hier können auch Zufallseffekte wie fehlende Auslöser ursächlich sein. Dies wird auch in mehreren ausgewerteten Katastrophen (siehe z. B. 2.12 und 2.14) deutlich, wo trotz einer Akzeptanz offensichtlich unsicherer Zustände lange Zeit keine Konsequenzen auftraten. Grundsätzlich können auch Ereignisse mit beschränkten Folgen (z. B. Arbeitsunfälle) Informationen über eine eventuelle mangelnde Priorisierung von Sicherheit beinhalten. Während es plausibel ist, dass die Häufung von solchen Ereignissen auf eine allgemein unzureichende Priorisierung von Sicherheit deutet, kann aus ihrer Abwesenheit nicht auf eine ausreichende Priorisierung von Sicherheit geschlossen werden, wie u. a. die Explosion der Deep Water Horizon zeigt /DEE 11/ /FOR 17/.

Aus diesen Gründen erscheint eine Bestimmung dieses Merkmales zum Zweck der Bewertung einer Organisation anhand der zur Verfügung stehenden bzw. ermittelbaren Informationen nicht sinnvoll möglich.

### 3.6.32 Keine ständige Verbesserung

In deutschen Kernkraftwerken ist im Rahmen des Managementsystems auch eine ständige Verbesserung zu implementieren. Grundsätzlich sollte sich der Erfolg der ständigen Verbesserung darin äußern, dass die Prozessleistungen aller Prozesse und die Sicherheitsleistung der Anlage stetig besser werden, was sich im Verhalten der Gesamtheit der Prozessindikatoren und globalen Indikatoren widerspiegeln sollte.

Zur Messung von Teilaspekten der ständigen Verbesserung sind im Integrierten Management spezielle Indikatoren wie

- Verhältnis durchgeführter Verbesserungsmaßnahmen zu geplanten Verbesserungsmaßnahmen,
- Anzahl von BHB-Kapiteln, für die im Rahmen von Simulatorschulungen inhaltliche Korrekturvorschläge gemacht wurden,
- Anzahl von BHB-Änderungen aus Simulatorschulungen,
- Anzahl der durchgeführten bezogen auf die geplanten externen Audits,
- mittlere Bearbeitungsdauer von Korrekturmaßnahmen aufgrund Auditfeststellungen aus internen Audits, die im laufenden Jahr abgeschlossen wurden und
- Anzahl von eigenständigen Änderungsanträgen für Änderungen am QMH

definiert. Auch eine hohe

- Wiederholungsrate gleicher Störungen und Mängel

liefert Hinweise auf Defizite der ständigen Verbesserung, da sie anzeigt, dass die Korrektur- und Verbesserungsmaßnahmen nicht ausreichend effektiv sind.

Die Wirksamkeit der ständigen Verbesserung in Bezug auf die Anlagensicherheit wird durch Indikatoren überwacht, die international einheitliche Kennzahlen im Vergleich zu anderen Anlagen darstellen. Diese Kennzahlen umfassen

- Nichtverfügbarkeit der Hochdruckeinspeisung nach WANO (High Pressure Safety Injection/Heat Removal System train unavailability SP1),
- Nichtverfügbarkeit des Notspeisesystems nach WANO (Auxiliary Feedwater/Residual Heat Removal System train unavailability SP2) und
- Nichtverfügbarkeit der Notstromversorgung nach WANO (Emergency AC Power System unavailability).

Ein Vergleich mit international führenden Anlagen liefert einen Maßstab, was allgemein erreichbar ist, und kann somit anzeigen, ob eine Verbesserung im möglichen Rahmen erzielt wurde oder ggf. ein Defizit in Bezug auf die ständige Verbesserung vorhanden ist.

### **3.6.33 Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten**

Eine konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten kann dadurch erfasst werden, dass systematisch eine erhöhte Anzahl von Komponentenausfällen, Planungsmängeln, Fehlern bei der Arbeitsplanung und erhöhte Nicht-Verfügbarkeiten von Komponenten auftreten.

Dies kann durch systematisch hohe Werte einer Vielzahl von Indikatoren erfasst werden, die Einzelaspekte abbilden wie z. B.

- störungsbedingte Unverfügbarkeitszeiten von Teilen des Sicherheitssystems,
- Wiederholungsrate gleicher Störungen und Mängel,
- Abweichungen/Befunde/Mängel während der Arbeitsdurchführung,
- Anzahl der nicht erfolgreichen Funktionskontrollen,
- Anzahl der Wiederkehrenden Prüfungen mit Befunden,
- Anzahl meldepflichtiger Personenunfälle,
- Anzahl offener Störmeldungen,

- Anzahl Abweichungen/Befunde/Mängel während der Arbeitsdurchführung,
- Anzahl Abweichungen/Befunde/Mängel während der Endkontrolle,
- Anzahl der nicht erfolgreichen Funktionskontrollen,
- monatliche Erfassung und halbjährliche Auswertung der durchschnittlichen Anzahl von bestehenden Simulierungen in der Leittechnik,
- Anzahl der eingesetzten temporären technischen Ersatzmaßnahmen am jeweiligen Monatsende,
- Anzahl Brände,
- Anzahl ausgelöste Feualarme,
- Anzahl Feuerwehreinsätze pro Jahr,
- Anzahl meldepflichtiger Personenunfälle,
- Anzahl Einsätze der Betriebssanitäter,
- Personen-Kontamination,
- Anzahl der Überschreitungen gesetzlicher Personendosisgrenzwerte,
- Anzahl von Beinahe-Ereignissen und
- Anzahl der Mängel, die bei Rundgängen festgestellt werden.

Weiterhin kann auf eine konsistent verringerte Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten geschlossen werden, wenn eine

- deutlich erhöhte Anzahl meldepflichtiger Ereignisse oder von Ereignissen unterhalb der Meldeschwelle ohne erkennbaren Ursachenschwerpunkt

auftritt, die sich nicht durch Änderungen von Meldekriterien, Anlagenbetriebszustand, usw. erklären lässt.

### **3.6.34 Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten**

Zur Erfassung dieses Merkmals sind Indikatoren geeignet, die die Durchführung bzw. die Verzögerung der Durchführung bestimmter sicherheitsrelevanter Aktivitäten quantifizieren. Dies umfasst u. a. die Indikatoren

- umgesetzte Maßnahmen im Vergleich zu den insgesamt beschlossenen Maßnahmen aus Audits, Reviews und Prozessüberwachung,
- Anzahl Terminüberschreitungen bei der Umsetzung von Maßnahmen aus Audit- und Reviewfeststellungen,
- durchschnittliche Bearbeitungsdauer von Störmeldungen sicherheitsrelevanter Einrichtungen,
- Anteil der in der zentralen Verfolgung aufgenommenen Behördenforderungen, die vollständig und termingerecht abgeschlossen wurden,
- Anzahl nicht fristgerecht umgesetzter Maßnahmen aus gesetzlichen Forderungen,
- Sicherstellung der betrieblichen Konformität mit den gesetzlichen Forderungen,
- Verhältnis durchgeführter Verbesserungsmaßnahmen zu geplanten Verbesserungsmaßnahmen und
- Verhältnis der durchgeführten Maßnahmen zum Alterungsmanagement zu den geplanten Maßnahmen.

Darüber hinaus können auch

- meldepflichtige Ereignisse, die in der Nichtdurchführung geplanter sicherheitsrelevanter Aktivitäten eine Ursache haben

Informationen zu diesem Merkmal liefern.

### **3.6.35 Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken**

Die Äußerung von Sicherheitsbedenken und die Förderung der Äußerung von Sicherheitsbedenken ist Teil der Sicherheitskultur. Die Förderung der Sicherheitskultur ist eines der vorrangigen Ziele des integrierten Managementsystems. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass Sicherheitsbedenken grundsätzlich – zumindest formal – ermutigt werden. Jedoch kann es in der gelebten Realität und in der Kommunikation dieses Anspruches zu Abweichungen und Unzulänglichkeiten kommen.

Ein wichtiges Kriterium in Bezug auf die Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken ist, dass ein formales und dokumentiertes System für die Äußerung und Bearbeitung von Sicherheitsbedenken zur Verfügung steht, zugänglich ist und dies

kommuniziert wird. Informationen über ein solches System können der Dokumentation des integrierten Managementsystems entnommen werden.

Wie oben bereits gesagt, ist gemäß KTA 1402 in regelmäßigen Abständen eine Selbstbeurteilung der Sicherheitskultur und eine unabhängige Beurteilung der Sicherheitskultur durchzuführen. Die hierzu erstellte Dokumentation kann als Grundlage einer Bewertung eventueller Defizite in Bezug auf die Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken dienen. Weitere Anhaltspunkte ergeben sich aus der Behandlung dieses Aspektes in Schulungen (siehe auch Abschnitt 3.6.6) zur Sicherheitskultur.

### **3.6.36 Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung**

Damit dieses Merkmal auftritt, müssen zwei Aspekte zusammenkommen:

- Ziel, das unter Beachtung der Sicherheit nicht erreichbar ist,
- Hintanstellung der Sicherheit, indem z. B. Regeln verletzt werden, um das Ziel trotzdem zu erreichen.

Im Kern besteht das Merkmal darin, dass Ziele nicht wie notwendig angepasst, sondern unter Kompromittierung der Sicherheit doch angestrebt bzw. sogar erreicht werden. Das Aufstellen eines unrealistischen Ziels ist zunächst nicht problematisch und in vielen Fällen auch nicht vermeidbar, entscheidend ist die falsche Reaktion auf die Probleme der Zielerreichung.

Dieses Merkmal lässt sich demzufolge schließen aus Reaktionen der Organisation auf Fälle, wo ein Ziel zunächst nicht erreicht wird.

Demzufolge kann dieses Merkmal auch nur anhand von

- Ereignissen, bei denen die Ziele nicht revidiert wurden, wenn sich die Erreichung nur unter Kompromittierung der Sicherheit, insbesondere unter Missachtung sicherheitsrelevanter Regeln, als möglich herausstellte

festgestellt werden.

### **3.6.37      Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen**

Zur Erfassung dieses Merkmals ist der im Rahmen des Managementsystems definierte Indikator

- Anzahl meldepflichtiger Ereignisse, bei denen im Rahmen der Analyse als Ursache Fehlhandlungen festgestellt wurden

geeignet.

Defizite in Bezug auf Fachkunde des Personals werden bei dem Merkmal „Unzureichende Fachkunde“ (Abschnitt 3.6.42) erfasst.

### **3.6.38      Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen**

Zur Erfassung quantitativ unzureichender personeller Ressourcen sind folgende Indikatoren geeignet:

- Abweichungen vom Soll-Personalbestand,
- Häufigkeit der Unterschreitung der anlageninternen Vorgaben der Schichtnormalbesetzung (Erfassung dreimal pro Tag).

Darüber hinaus können

- Notfallübungen, in deren Verlauf es aufgrund nicht ausreichend zur Verfügung stehender personeller Ressourcen zu Verzögerungen gekommen ist,

Informationen zur Bewertung dieses Aspektes beitragen.

### **3.6.39      Unerfahrenes Personal**

Dieses Merkmal ist nur aufgetreten in positiver Ausprägung als „Erfahrenes Personal“.

Die Erfahrung des Personals kann quantifiziert werden als relevante Berufserfahrung gemessen als Zeit (z. B. Jahre, die eine bestimmte Tätigkeit ausgeführt wurde) oder Anzahl von Vorgängen (Anzahl durchgeführter Projekte, Anzahl von bestimmten Instandhaltungsvorgängen). Sie kann innerhalb und außerhalb der zu betrachtenden Organisation erworben worden sein. Je nach Tätigkeit sind verschiedene Maßstäbe anzulegen, ab wann ein Mitarbeiter als erfahren anzusehen ist.

Im Rahmen der Beurteilung in Bezug auf das organisatorische Merkmal „Unerfahrenes Personal“ ist eine globale Betrachtung der Organisation erforderlich. Hier bieten sich Kennzahlen an wie

- Zeit, die Mitarbeiter im Mittel im Unternehmen tätig sind\*
- Zeit, die Mitarbeiter im Mittel in ihrer aktuellen Tätigkeit gearbeitet haben\*
- Zeit, die verantwortliches Personal als verantwortliches Personal tätig gewesen ist\*
- Zeit, die verantwortliches Schichtpersonal als verantwortliches Schichtpersonal tätig gewesen ist\*

Indirekte partielle Informationen über die Erfahrung der Mitarbeiter liefert auch der im Rahmen des Managementsystems definierte Indikator der Mitarbeiterfluktuation:

- Anzahl der in einem Kalenderjahr ausgeschiedenen Mitarbeiter.

#### **3.6.40 Unzureichende Anforderungen**

Über dieses Merkmal geben Reviews, Audits und Assessments Aufschluss, in denen ein Vergleich der angewandten Anforderungen mit denjenigen in anderen Anlagen, Industrien bzw. Ländern gezogen bzw. Defizite bezüglich der Anforderungen aufgezeigt werden.

Gegebenenfalls können auch

- meldepflichtige Ereignisse, die unzureichende Anforderungen als Ursache haben

Informationen liefern.

#### **3.6.41 Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten**

Im Rahmen des Managementsystems ist z. B. folgender Indikator definiert, der die unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten erfasst:

- Verhältnis der Ereignisse, bei denen im Rahmen der Analyse als Ursache oder beiträgender Faktor im Ereignisablauf menschliches Fehlhandeln identifiziert wurde, zu allen Ereignissen.

Gegebenenfalls werden auch bei Begehungen oder Audits unter Beteiligung von Human-Factor-Experten hierfür relevante Informationen erhoben.

### **3.6.42 Unzureichende Fachkunde**

Zur Erfassung unzureichender Fachkunde dient der Indikator

- Anzahl der in einem Kalenderjahr von einem Kraftwerksblock gemeldeten Ereignisse, bei denen die Ursachen für Fehlhandlungen auf Wissensdefizite der handelnden Personen zurückgeführt wurden oder bei denen als Abhilfemaßnahmen spezifische Schulungen vorgesehen sind.

Der Indikator

- Verhältnis der Anzahl Nachschulungen nach erfolgter Simulatorschulung zu Gesamtanzahl durchgeführter Simulatorschulungen für verantwortliches Schichtpersonal

liefert – neben Informationen über die Qualität der Schulungen – Informationen über die Fachkunde des verantwortlichen Schichtpersonals.

### **3.6.43 Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen**

Unzureichende finanzielle oder materielle Ressourcen lassen sich erkennen anhand von aus finanziellen Gründen bzw. Ressourcenmangel unterbliebenen oder verschobenen Maßnahmen, z. B.

- Ausbildungsmaßnahmen,
- Verbesserungsmaßnahmen,
- Maßnahmen der vorbeugenden Instandhaltung

usw.

Für bestimmte solche Aspekte können bereits Indikatoren des integrierten Managementsystems definiert sein wie

- Anzahl abgelehnter Schulungen aufgrund von Budgetengpässen\*
- Anzahl abgelehnter Ersatzbeschaffungen aufgrund von Budgetengpässen\*

#### **3.6.44 Unzureichende Mitarbeiterbindung**

Eine unzureichende Mitarbeiterbindung lässt sich schließen aus der

- Mitarbeiterfluktuation

Die Mitarbeiterfluktuation wird im Rahmen des integrierten Managementsystems deutscher Kernkraftwerke als Indikator erfasst.

#### **3.6.45 Unzureichende Notfallplanungen**

Für die Notfallplanungen gibt es Empfehlungen von SSK und RSK („Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken“, 2010), die eine Grundlage der Bewertung der Notfallplanungen, die im Notfallhandbuch (NHB) dokumentiert sind, bilden können. Ebenso liefert der Verlauf von Notfallübungen Informationen über die Qualität der Notfallplanungen.

Im Rahmen des integrierten Managementsystems ist z. B. folgender Indikator definiert, der die Verbesserungen der Notfallplanungen überwacht:

- Anzahl der im Rahmen von Notfallschutzübungen gewonnen technischen oder organisatorischen Verbesserungsmaßnahmen.

#### **3.6.46 Unzureichende Notfallübungen**

Auch für die Durchführung von Notfallübungen bilden die „Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken“ von SSK und RSK (2010) eine Bewertungsgrundlage der durchgeführten Notfallübungen.

Im Rahmen des integrierten Managementsystems sind Indikatoren definiert, die die Verbesserungen der Notfallplanungen überwachen, z. B.:

- jährliche Summe aller Schulungsstunden zum Notfallschutz sowie der Notfallübungen für Verantwortliches Personal (Personenstunden),
- jährliche Summe aller Schulungsstunden zum Notfallschutz sowie der Notfallübungen für Verantwortliches Schichtpersonal (Personenstunden) und
- Teilnahmerate an Notfallschutzschulungen/-übungen (Verhältnis Anzahl Teilnehmer an Notfallschutzschulungen/-übungen zu Gesamtpersonal laut Notfallplan)

### 3.6.47 Unzureichender Erfahrungsrückfluss

Im Rahmen des Managementsystems von Kernkraftwerken sind eine Vielzahl von Indikatoren definiert, die den Erfahrungsrückfluss überwachen. Diese umfassen z. B.:

- Anzahl der meldepflichtigen Ereignisse, die länger als einen Zyklus in Bearbeitung sind, d. h. die vor der letzten Revision aufgetreten sind, bei denen zum Ende des Berichtsjahrs noch keine endgültige Meldung vorliegt. Gezählt werden alle Ereignisse, die in Bearbeitung sind, nicht nur die im Berichtsjahr neu hinzugekommenen,
- durchschnittliche Bearbeitungsdauer eines meldepflichtigen Ereignisses bis zur Vorlage einer vorläufigen Meldung gemäß AtSMV an die Behörde.,
- durchschnittliche Bearbeitungsdauer der vertieften Analyse bei Ereignisanalysen eines Kalenderjahres vom Zeitpunkt des Bekanntwerdens eines Ereignisses beim Betreiber bis zum Abschluss der Bearbeitung, d. h. bis zur endgültigen Meldung gemäß AtSMV an die Behörde. Gezählt werden die Ereignisse, für die im betrachteten Kalenderjahr die endgültige Meldung erstellt wurde,
- durchschnittliche Zeit vom Erhalt der Information bis zur Information des Fachbereiches,
- durchschnittliche Zeit vom Erhalt der Information bis zur Veranlassung einer Analyse,
- durchschnittlicher Zeitraum zwischen Vorschlag für Abhilfemaßnahmen bis Freigabebeschluss,
- Verhältnis der im laufenden Jahr behandelten (erfasst, verteilt, kommentiert und an die Behörde weitergeleitet) WLN/IRS/BfS-Mitteilungen bezogen auf die Anzahl der im laufenden Jahr eingegangenen WLN/IRS/BfS-Mitteilungen,
- durchschnittliche Bearbeitungsdauer der im Kalenderjahr abgeschlossenen meldepflichtigen Ereignisse, vom Zeitpunkt des Bekanntwerdens eines Ereignisses beim Betreiber bis zur Anzeige des Abschlusses der letzten daraus abgeleiteten Maßnahme,
- Verhältnis von durchgeführten Verbesserungsmaßnahmen anhand von Berichten/Ereignissen anderer Kraftwerke zu allen Verbesserungsmaßnahmen,
- Anzahl wiederholter gleicher Störungen bzw. Mängel an derselben Komponente innerhalb der letzten sechs Monate und

- Anzahl im Rahmen von meldepflichtigen Ereignissen durchgeführten vertiefenden Ereignisanalysen pro Kalenderjahr.

### **3.6.48 Unzureichendes Veränderungsmanagement**

Im deutschen Regelwerk sind umfangreiche Anforderungen an technische und organisatorische Änderungen vorhanden. Für Organisationsänderungen ist i. A. ein spezieller Prozess des Integrierten Managementsystems vorgesehen. Sollten spezielle Indikatoren definiert sein, die seine Prozessleistung messen, so können sie zur Bewertung dieses Merkmals Verwendung finden.

Weiterhin können

- meldepflichtige Ereignisse, die mit organisatorischen oder technischen Änderungen oder Änderungen des Betriebs in Zusammenhang stehen,

insbesondere wenn sie gehäuft auftreten, als Anhaltspunkte dienen.

### **3.6.49 Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht**

Dieses Merkmal charakterisiert, inwieweit sich Ziele der Aufsichtsbehörden widersprechen. In manchen Fällen obliegt es Behörden, einen bestimmten Wirtschaftszweig sowohl zu beaufsichtigen als auch zu fördern. Dies spielte z. B. bei der Katastrophe von Fukushima, bei der Explosion der Deep Water Horizon oder dem Chemieunfall von Bhopal (siehe Abschnitt 2.3) eine Rolle. Selbst wenn die Behördenaufgabe ausschließlich in der Sicherstellung eines sicheren Betriebs liegt, entsteht eine Notwendigkeit des Ausgleichs von Zielen im Handeln der Aufsichtsbehörden dadurch, dass dem Betreiber der Betrieb grundsätzlich ermöglicht werden soll. Weiterhin ist es denkbar, dass sich in Aufsichtsbehörden auch – unabhängig von offiziellen Regelungen und Abhängigkeiten – reale oder empfundene Ziele von anderen Stakeholdern informell zu eigen gemacht werden. Die sich hieraus womöglich ergebenden teilweisen Widersprüche nachvollziehbar zu erfassen, scheint nicht realistisch möglich. Deshalb ist es sinnvoll, dieses Merkmal nur anhand der formalen, veröffentlichten Ziele der Aufsichtsbehörde zu bewerten.

### **3.7 Bildung einer Menge von Merkmalen als Basis für die Bewertung des Betriebes kerntechnischer Anlagen**

Um zu einer möglichst kompakten Menge von Merkmalen als Basis für die Bewertung des Betriebes kerntechnischer Anlagen zu gelangen, wurde zunächst geprüft, inwieweit die Merkmale redundant sind. Die Analyse ergab, dass die einzelnen Merkmale unterschiedliche Aspekte abbilden. Während davon auszugehen ist, dass erhebliche funktionale Abhängigkeiten und Korrelationen zwischen den Merkmalen existieren (z. B. wirken sich unzureichende Schulungen auf die Fachkunde negativ aus), so sind diese doch nicht so stark ausgeprägt, dass eines der Merkmale keinen erheblichen zusätzlichen Beitrag zu der Bewertung des Betriebes kerntechnischer Anlagen liefern könnte und somit entfallen könnte. Dies ist auch darin begründet, dass bei der Analyse der Ereignisse möglichst elementare Merkmale identifiziert wurden. Somit können keine Merkmale als Repräsentant anderer elementarer Merkmale verwendet werden, die dann in der Analyse weggelassen werden können.

Es wurden allerdings zwei Paare von Merkmalen identifiziert, die unterschiedlich starke Ausprägung eines grundsätzlichen Merkmales sind, d. h. das eine Merkmal ist eine extreme Ausprägung des anderen:

- **Defizite bei Notfallübungen**
  - Unzureichende Notfallübungen
  - Keine Durchführung von Notfallübungen
- **Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten/unsicheren Zuständen**
  - Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten
  - Akzeptieren von unsicheren Zuständen

In Bezug auf die anderen abstrakten Merkmale, die inhaltlich verschiedene elementare Merkmale (z. B. Kommunikationsdefizite: Kanalbezogene Kommunikationsdefizite, Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite, kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen) beinhalten, ist es nicht von Vorteil, diese abstrakten Merkmale unmittelbar zu bewerten, da ihre Bewertung die Bewertung der Einzelaspekte, aus denen sie bestehen, umfasst. Die Zusammenfassung der Bewertung in Bezug auf das abstraktere Merkmal würde zu zusätzlichem Aufwand und zu einem Informationsverlust führen und ist somit nicht zielführend.

Deshalb sollte die Bewertung – bis auf die oben genannten zwei abstrakten Merkmale – auf die elementaren Merkmale basiert werden. Bei der Durchführung der Bewertung ist es allerdings sinnvoll, thematisch verwandte Merkmale (siehe Abbildung 3.1) zusammen zu erheben.

Bei der großen Zahl der Merkmale erscheint es jedoch erforderlich, eine Priorisierung der zu bewertenden Merkmale zu entwickeln. Hierzu wurde eine Vorgehensweise entwickelt.

Die in Abschnitt 3.6 beschriebenen Quellen werden dahingehend grob bewertet, wie gut die Merkmale auf ihrer Grundlage erwartungsgemäß bewertet werden können. Hierzu wurde ein vierstufiges Bewertungsschema der erwarteten Erfassbarkeit von Merkmalen verwendet, das in Tabelle 3.8 dargestellt ist.

**Tab. 3.8 Kategorisierung der erwarteten Erfassbarkeit von Merkmalen**

Kategorie	Qualitative Charakterisierung	Zahlenwert
3	gut ermittelbar	1
2	ermittelbar	0,5
1	schlecht ermittelbar	0,1
0	nur sehr geringe Anhaltspunkte oder praktisch nicht ermittelbar	0,01

Die Möglichkeiten zur Bestimmung der Merkmale wurden von drei Experten gemeinsam kurz diskutiert und einer Kategorie zugeordnet. Die Ergebnisse können Tabelle 3.9 entnommen werden.

Die Priorisierung sollte so erfolgen, dass Merkmale, die eine hohe Wichtigkeit haben und gut ermittelbar sind, bevorzugt erhoben werden, während Merkmale, die eine geringe Wichtigkeit haben und schlecht ermittelbar sind, mit geringster Priorität bewertet werden.

Deshalb wird als Basisgröße das Produkt aus unbedingter Wichtigkeit und Erfassbarkeit als Prioritätswert gewählt. In Tabelle 3.9 sind die Merkmale geordnet nach dieser Größe aufgeführt.

**Tab. 3.9** Erfassbarkeit und Priorität von Merkmalen

<b>Merkmal</b>	<b>Erfassbarkeitskategorie</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Bedingte Wichtigkeit</b>	<b>Unbedingte Wichtigkeit</b>	<b>Prioritätswert</b>
Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten/unsicheren Zuständen	2	0,67	0,71	0,47	0,237
Unzureichende Fachkunde	2	0,40	0,68	0,27	0,137
Fehlende oder unzureichende Aufsicht	2	0,47	0,33	0,15	0,077
Kanalbezogene Kommunikationsdefizite	2	0,40	0,37	0,15	0,073
Konsistent unzureichende Qualität von Einrichtungen, Prozessen und Tätigkeiten	2	0,20	0,70	0,14	0,070
Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten	3	0,13	0,50	0,07	0,067
Duldung von Nichtkonformitäten	2	0,40	0,30	0,12	0,060
Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen	3	0,11	0,50	0,06	0,055
unerfahrenes Personal	2	0,11	1	0,11	0,055
Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen	3	0,20	0,23	0,05	0,047
Fehlende oder unzureichende Schulungen	2	0,27	0,30	0,08	0,040
Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten	2	0,27	0,30	0,08	0,040
Defizite bei Notfallübungen	2	0,20	0,37	0,07	0,037
Unzureichender Erfahrungsrückfluss	2	0,20	0,37	0,07	0,037
Kein systematisches Management der Sicherheitsreserven	3	0,07	0,50	0,03	0,033
Fehlende oder unzureichende Risiko- und Gefahrenanalyse	2	0,13	0,50	0,07	0,033
Unzureichende finanzielle/materielle Ressourcen	2	0,13	0,50	0,07	0,033
Keine ständige Verbesserung	2	0,20	0,23	0,05	0,023
Keine ausreichende Qualitätssicherung	2	0,13	0,30	0,04	0,020
Unzureichende Anforderungen	1	0,60	0,32	0,19	0,019

Merkmalskategorie	Erfassbarkeitskategorie	Häufigkeit	Bedingte Wichtigkeit	Unbedingte Wichtigkeit	Prioritätswert
Keine Beachtung von Sicherheitsbedenken	1	0,40	0,43	0,17	0,017
Bestrafungskultur	2	0,07	0,50	0,03	0,017
Unzureichende Notfallplanungen	2	0,07	0,50	0,03	0,017
Aufschieben von Entscheidungen	1	0,27	0,53	0,14	0,014
Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen	1	0,33	0,36	0,12	0,012
Fehlende oder unzureichende interne Überwachung	2	0,20	0,10	0,02	0,010
Fehlende oder unzureichende Arbeitsanweisungen	1	0,13	0,75	0,10	0,010
Fehlen einer systematischen Methode zur kontinuierlichen Überprüfung des Personals auf Qualifikation und Eignung	3	0,07	0,10	0,01	0,007
Kein systematisches Management der Sicherheit	3	0,07	0,10	0,01	0,007
Keine Berücksichtigung etablierter Sicherheitspraktiken	2	0,13	0,10	0,01	0,007
Fehlen sicherheitsrelevanter Informationen in Arbeitsunterlagen	1	0,13	0,50	0,07	0,007
Frustration der Mitarbeiter	1	0,07	1,00	0,07	0,007
Inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite	1	0,27	0,20	0,05	0,005
Keine Priorisierung von Sicherheit	0	0,60	0,72	0,43	0,004
Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter	1	0,13	0,30	0,04	0,004
Fehlende oder unangemessene Regeln zum Umgang mit Abweichungen	2	0,07	0,10	0,01	0,003
Fehlendes oder unzureichendes Managementsystem	2	0,07	0,10	0,01	0,003
Unzureichende Mitarbeiterbindung	2	0,07	0,10	0,01	0,003
Autoritäre Führung	1	0,07	0,50	0,03	0,003

<b>Merkmal</b>	<b>Erfassbarkeitskategorie</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Bedingte Wichtigkeit</b>	<b>Unbedingte Wichtigkeit</b>	<b>Prioritätswert</b>
Kein ausreichendes Verständnis der Sicherheitsrelevanz von Prozessen und Einrichtungen	1	0,07	0,50	0,03	0,003
Keine Äußerung von Sicherheitsbedenken	1	0,07	0,50	0,03	0,003
Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung	0	0,20	0,83	0,17	0,002
Nicht-Ermutigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken	1	0,07	0,10	0,01	0,001
Widersprüchliche Ziele der behördlichen Aufsicht	1	0,07	0,10	0,01	0,001
Dienstausübung unter Drogeneinfluss	0	0,07	1,00	0,07	0,001
Kein proaktiver Austausch sicherheitsrelevanter Informationen	0	0,07	0,10	0,01	0,000
Unzureichendes Veränderungsmanagement	0	0,07	0,10	0,01	0,000

Es ist auffällig, dass „Keine Priorisierung von Sicherheit“ und „Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung“ weit hinten in der Liste stehen, obwohl sie eine relativ hohe Häufigkeit und eine hohe bedingte Wichtigkeit und somit eine hohe unbedingte Wichtigkeit aufweisen. Dies ist darin begründet, dass die Erfassung schwer möglich ist. So ist die Feststellung, dass die Sicherheit nicht ausreichend priorisiert wurde, im Allgemeinen erst im Nachhinein möglich. Damit sind diese Merkmale zur Bewertung, bevor es zu einem Ereignis gekommen ist, nicht geeignet. Ebenso ist „Dienstausübung unter Drogeneinfluss“ ungeeignet, da dieses Merkmal ebenso in der Praxis kaum zu erfassen ist.



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde eine detaillierte Analyse von 15 nuklearen und nichtnuklearen Katastrophenereignissen und Beinahe-Katastrophen durchgeführt mit dem Ziel, organisatorische Merkmale, die Entstehung und Verlauf der Katastrophe beeinflussten, zu ermitteln. Dabei wurden 47 verschiedene organisatorische Faktoren identifiziert (u. a. Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten, Duldung von Nichtkonformitäten, Nichtbeachtung von Sicherheitsbedenken der Beschäftigten, inhaltliche und kanalbezogene Kommunikationsdefizite), die nachweisbar die Entstehung begünstigten bzw. die Beherrschung der Katastrophe erschwerten.

Insgesamt konnten in den 15 Ereignissen 134 Punkte identifiziert werden, an denen einer dieser Faktoren bei der Entwicklung der Ereignisse wirksam wurde. Darüber hinaus wurden 7 verschiedene Faktoren (u. a. gute Fachkunde, schnelles Treffen von Entscheidungen und hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen) gefunden, die nachweisbar begünstigend auf die Beherrschung bzw. Vermeidung katastrophaler Ereignisse wirkten. Sie wurden an insgesamt 9 Punkten wirksam. Als Gründe für diese sehr viel geringeren Zahlen wurde identifiziert, dass hier Ereignisse analysiert wurden, in denen die Entwicklung zur Katastrophe vollständig oder fast vollständig erfolgt war, und dass die vorliegenden Untersuchungen und Berichte der analysierten Ereignisse ganz überwiegend einen starken Fokus auf die Entstehung der (Beinahe-)Katastrophen hatten. Um weitere Erkenntnisse auch über diese Merkmale zu erhalten, wurde ein Ansatz für zukünftige Arbeiten entwickelt: Durch Auswertung von Ereignissen, in denen eine mögliche Entwicklung zu einer Katastrophe früh gestoppt wurde, sollen auch diese (positiven) organisatorischen Merkmale umfassend erfasst werden. Solche Ereignisse sind insbesondere als meldepflichtige Ereignisse deutscher und US-amerikanischer Kernkraftwerke zugänglich.

Die Auswertung der Ereignisse ergab, dass die verschiedenen Merkmale die Entwicklung zu einer Katastrophe bzw. die Vermeidung oder Mitigation in verschiedenem Maße beeinflussen. Während manche Merkmale nur indirekt begünstigend wirkten, waren andere unmittelbare Auslöser der Katastrophe. Um diesen Aspekt zu erfassen, wurde ein Verfahren entwickelt, wie die Wichtigkeit der Merkmale quantitativ durch Expertenbewertungen anhand qualitativer Kriterien erfasst werden kann. Diese Bewertungen wurden für sämtliche Punkte, an denen in den Ereignissen die Merkmale wirksam wurden, von drei Experten durchgeführt. Aus diesen Bewertungen wurden die Wichtigkeiten der

einzelnen Merkmale für die Entstehung und Beherrschung von Katastrophen und Beinahe-Katastrophen quantifiziert.

Um die Bedeutung von Themenfeldern zu erfassen, wurden übergeordnete Merkmale gebildet, (u. a. ständige Verbesserung, Kommunikation und unzureichende Ressourcen). Die Merkmale wurden systematisch in Form eines Baumes strukturiert.

Die Übertragbarkeit der gefundenen Merkmale auf deutsche kerntechnische Einrichtungen wurde untersucht, mit dem Ergebnis, dass alle identifizierten Merkmale unmittelbar übertragbar sind.

Es wurde ermittelt, wie die Merkmale beim Betrieb einer kerntechnischen Anlage erfasst und bewertet werden können. Hierzu wurden u. a. Kenntnisse über die integrierten Managementsysteme deutscher Kernkraftwerke, in deren Rahmen definierte Indikatoren, Audits, Reviews. etc. und meldepflichtige Ereignisse verwendet.

Es wurde untersucht, ob sich mehrere Merkmale durch ein einzelnes repräsentatives Merkmal erfassen lassen. Es wurde gefunden, dass alle Merkmale zusätzliche Information beinhalten und keine Merkmale redundant sind. Deshalb wurde eine Vorgehensweise entwickelt, um die Bewertung der Merkmale priorisieren zu können, so dass wichtige, gut erfassbare Merkmale prioritär und wenig wichtige, schlecht erfassbare Merkmale mit geringer Priorität bewertet werden. Hierzu wurde eine Kennzahl gebildet, die auf dem Wert der Wichtigkeit des Merkmals und einer Zahl, die die Erfassbarkeit grob quantifiziert und durch Expertenabschätzung bestimmt wird, basiert. Basierend auf dieser Kennzahl wurde eine Prioritätsliste zur Ermittlung und Bewertung der Ausprägung der Merkmale erstellt.

In dieser Forschungsarbeit wurden organisatorische Merkmale bestimmt, die nachweisbar die Entstehung katastrophaler Ereignisse verursachten oder begünstigten oder die Beherrschung bzw. Mitigation erschwerten. In geringerem Umfang wurden auch Merkmale für die Verhinderung, Beherrschung und Mitigation von Katastrophen nachgewiesen. Ein Ansatz zur quantitativen Bewertung ihrer Wichtigkeit wurde entwickelt und angewandt. Dieser Ansatz sollte methodisch so weiterentwickelt werden, dass er als probabilistisches Modell der Katastrophenentstehung aufgefasst werden kann. Um umfangreichere empirische Kenntnisse auch über Merkmale zu gewinnen, die günstig für die Verhinderung von Katastrophen wirken, sollten Ereignisse analysiert werden, bei denen eine mögliche Entwicklung zu einer Katastrophe früh gestoppt wurde. Meldepflichtige Ereignisse sind hierfür eine geeignete Quelle. Anhand der Analyse meldepflichtiger Ereignisse ist auch eine direkte Validierung der im Rahmen dieses Vorhabens gefundenen Merkmale für deutsche Kernkraftwerke möglich.



## Literaturverzeichnis

- /ACP 18/ Air Canada Pilots Association (ACPA): The Air Canada Pilots Association Applauds the Inclusion of Pilot Fatigue on the Transportation Safety Board's 2018 Watchlist.  
<https://acpa.ca/newsroom/acpa-media-releases/the-air-canada-pilots-association-applauds-the-inc.aspx>, zuletzt aufgerufen am 23.11.2020.
- /ALB 96/ Albrecht, L., E. Gelfort: Charakterisierung des Kabeltrassenbrandes im Block 1 des Kernkraftwerkes Greifswald. Kerntechnik 61 2-3, 1996.
- /AMN 04/ Amnesty International: Clouds of injustice – Bhopal disaster 20 years on. Amnesty International Publications, 2004.
- /BBC 14/ British Broadcasting Corporation (BBC): South Korea to break up coast-guard after ferry disaster  
<https://www.bbc.com/news/world-asia-27465378>, zuletzt aufgerufen am 20.09.2018.
- /BEN 13/ Bent, M.: Tragic Derailment At Santiago De Compostela. Railvolution Vol. 13, No. 4/13, S. 20ff, 2013.
- /BFS 05a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke. BfS-SCHR-37/05, 2005.
- /BFS 05b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke. BfS-SCHR-38/05, 2005.
- /BFS 16/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Methoden und Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke. BfS-SCHR-61/16, 2016.

- /BLU 19/ Blum, St., Buchholz. M., Dewald, M., Forner, J., Kreuser, A., Paßens, M., Sommer, D., Stiller, J., Werheid, V.: Bewertung von organisatorischen Änderungen beim Übergang vom Leistungsbetrieb über den Nachbetrieb bis hin zur Stilllegung. GRS-540, ISBN 978-3-947685-25-7, 2019.
- /CAM 14/ Campbell, C. (2014): Reports: The South Korean Ferry Sank Because It Was Dangerously Overloaded  
<http://time.com/85501/sewol-ferry-overweight-south-korea/>, zuletzt aufgerufen am 12.07.2018.
- /CBC 18/ CBC News: 'Prodoundly disappointed': Pilots call new safety rules to address flight fatigue 'substandard'  
<https://www.cbc.ca/news/politics/garneau-pilot-safety-airline-regulations-1.4942385>, zuletzt aufgerufen am 24.01.2019.
- /CCP 07/ Center for Chemical Process Safety – Process Safety Beacon: Tieftemperaturversprödung und Wärmespannung. November 2007.  
<http://sache.org/beacon/files/2007/11/de/read/2007-11-Beacon-Germans.pdf>, zuletzt aufgerufen am 23.05.2019.
- /CHO 14/ Chonghaejin Marine: The Operation Management Regulations Document. Incheon, Südkorea, 2014.
- /CNN 08/ CNN World: Grief and Outrage in Egypt.  
<http://edition.cnn.com/CNNI/Programs/middle.east/blog/2008/07/grief-and-outrage-in-egypt.html>, zuletzt aufgerufen am 22.08.2019.
- /CNN 17/ CNN World: South Korea: Sewol ferry emerges from the water 3 years after sinking.  
<https://edition.cnn.com/2017/03/22/asia/south-korea-sewol-ferry/index.html>, zuletzt aufgerufen am 05.06.2018.
- /DEE 11/ Deepwater Horizon Study Group: Final Report on the Investigation of the Macondo Well Blowout. 03/2011.

- /DRE 08/ International Federation's Disaster Relief Emergency Fund (DREF) (2008): Egypt: Ferry Disaster – DREF operation n° MDREG001 final report.
- /DUT 02/ Dutta, Sanjib: ICFAI Center for Management Research: The Bhopal Gas Tragedy. Fallstudie veröffentlicht vom European Case Clearing House, 2002.
- /EUR 09/ Europapress Economía/AVE.- Renfe invertirá 78 millones de euros en adaptar quince trenes AVE a vías sin electrificar (Wirtschaft / AVE.- Renfe investiert 78 Millionen Euro in die Anpassung von fünfzehn AVE-Zügen an nicht elektrifizierte Strecken). 29.12.2009.  
<https://www.europapress.es/economia/transportes-00343/noticia-economia-ave-renfe-invertira-78-millones-euros-adaptar-quince-trenes-ave-vias-electrificar-20091229160423.html>, heruntergeladen 25.07.2019.
- /FAA 15a/ US Department of Transportation, Federal Aviation Administration (2015): Order JO 7110.65W, Subject: Air Traffic Control.
- /FAA 15b/ US Department of Transportation, Federal Aviation Administration (2015): Order JO 7210.3Z, Subject: Facility Operation and Administration.
- /FAZ 05/ Frankfurter Allgemeine Zeitung: Die Unpünktlichen werden erniedrigt und bestraft.  
<https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/ungluecke/zugunglueck-in-japan-die-unpuenktlichen-werden-erniedrigt-und-bestraft-1233622.html>, zuletzt aufgerufen am 23.01.2019.
- /FOM 14/ Ministerio de Fomento (Ministerium für Entwicklung): Informe Final Sobre El Accidente Grave Ferroviario N° 0054/2013 Ocurrido El Día 24.07.2013 En Las Proximidades De La Estación De Santiago De Compostela (A Coruña). (Abschlussbericht über den schweren Eisenbahnunfall Nr. 0054/2013 am 24.07.2013 in der Nähe des Bahnhofs Santiago de Compostela (A Coruña)), 2014.

- /FOR 17/ Forner, J. Holtschmidt, H. Kreuser, A., Kull, H., Stiller, J.: Neue Methoden zur Bewertung der Zuverlässigkeit fortschrittlicher Mensch-Maschine-Schnittstellen, digitaler leittechnischer Einrichtungen und personell-organisatorischer Einflüsse. Technischer Bericht über eine Vorstudie zur Bewertung der Auswirkungen organisatorischer Einflussfaktoren GRS-A-3892, 2017.
- /GON 15/ González, P.: Talgo detectó sobrepesos en cuatro ejes de los Alvia, pero concluyó que eran admisibles (Talgo stellte fest, dass vier Achsen des Alvia übergewichtig waren, kam jedoch zu dem Schluss, dass sie zulässig waren) und Leserkommentare. La Voz de Galicia, 25.11.2015. [https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/galicia/2015/11/25/talgo-detecto-sobrepesos-cuatro-ejes-alvia-concluyo-admisibles/0003\\_201511G25P8991.htm](https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/galicia/2015/11/25/talgo-detecto-sobrepesos-cuatro-ejes-alvia-concluyo-admisibles/0003_201511G25P8991.htm), zuletzt aufgerufen am 31.07.2019.
- /GRA 10/ Grafe, R.: Die Hochgeschwindigkeitskatastrophe. Süddeutsche Zeitung, 17.05.2010. <https://www.sueddeutsche.de/panorama/zehn-jahre-nach-dem-bahnunfall-von-eschede-die-hochgeschwindigkeitskatastrophe-1.193266-0>, zuletzt aufgerufen am 11.12.2019.
- /HEI 11/ Heise online: BGH-Entscheidung zu Geschmacksmuster-Nutzung, 08.04.2011. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/BGH-Entscheidung-zu-Geschmacksmuster-Nutzung-1224860.html>, zuletzt aufgerufen am 12.12.2019.
- /HEI 20/ Heitsch, C., Paßens, M., Stiller, J. C.: Organizational Influences on the Emergence and Mitigation of Catastrophic Events. Proceedings of the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (PSAM) and 30th European Safety and Reliability conference (ESREL). Edited by Piero Baraldi, Francesco Di Maio and Enrico Zio, ISBN: 981-973-0000-00-0, 2020.

- /HEL 06/ Hellenic Republic, Ministry of Transport & Communications, Air Accident Investigation & Aviation Safety Board (AAIASB): Aircraft Accident Report Helios Airways Flight HCY522 Boeing 737-31S at Grammatiko. Hellas on 14 August 2005. November 2006.
- /HIS 14/ History Today: Clearing the Fog: The Bhopal Gas Tragedy.  
<https://www.historytoday.com/clearing-fog-bhopal-gas-tragedy>, zuletzt aufgerufen am 16.04.2019.
- /HÜL 99/ Hüls, E., Oestern, H.-J.: Die ICE-Katastrophe von Eschede. Erfahrungen, Lehren, Konsequenzen, Notfall & Rettungsmedizin 2. Nr. 6, 1999.
- /IAE 20/ IAEA: International Reporting System for Operating Experience (IRS).  
<https://irs.iaea.org/>.
- /IND 18/ India Today: 2 pilots once forgot about cabin pressure like Jet Airways crew. 121 people died.  
<https://www.indiatoday.in/fyi/story/jet-airways-cabin-pressure-helios-flight-522-history-1345963-2018-09-21>, zuletzt aufgerufen am 15.04.2020.
- /INV 06/ Panama Maritime Authority, General Directorate of Merchant Marine: Casualty Investigation Branch (2006), Preliminary Investigation Report on the Sinking of M/V Al Salam Boccaccio 98. Republik Panama.
- /ISM 13/ International Maritime Organization (2013): International Safety Management Manual.
- /JLW 18/ Justice Law Website, Government of Canada: Canadian Aviation Regulations - Flight Duty Time Limitations and Rest Periods.  
<https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-96-433/FullText.html#s-700.16>, zuletzt aufgerufen am 07.02.2019.
- /KRE 08/ Kreuser, A., Holtschmidt, H., Stiller, J. C.: Systematische Aufbereitung der weltweiten Betriebserfahrung mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) im Rahmen einer internationalen Expertengruppe. GRS-A-3399, 2008.

- /KWO 16/ Kwon, Yisung (2016): System Theoretic Safety Analysis of the Sewol-Ho Ferry Accident in South Korea, Submitted to the System Design and Management Program in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Engineering and Management at the Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts, USA, 2016.
- /LII 12/ Cornell Law School, Legal Information Institute: 14 CFE Part 117 – Flight and Duty Limitations and Rest Requirements: Flightcrew Members.  
<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/part-117>, zuletzt aufgerufen am 07.02.2019.
- /LIT 88/ Ashok S. Kalelkar (Arthur D. Little, Inc.): Investigation of large-magnitude incidents: Bhopal as a case study. Mai 1988.
- /LRC 99/ Longford Royal Commission: The Esso Longford Gas Plant Accident Report of the Longford Royal Commission. Juni 1999.
- /LUD 01/ Ludwig, U.: Ein gewisses Risiko. Der Spiegel, 19.02.2001.  
<https://www.spiegel.de/spiegel/print/d-18535358.html>, zuletzt aufgerufen am 11.11.2019.
- /MIL 19/ Mildenberger, O.: Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren – Jahresbericht 2018/2019. GRS-594, ISBN 978-3-947685-80-6, 2019.
- /MOS 98/ Mosleh, A., Rasmuson, D. M., Marshall F. M.: Guidelines on Modeling Common-Cause-Failures in Probabilistic Risk Assessment. NUREG/CR-5485, 1998.
- /NEA 11/ Nuclear Energy Agency Committee on the Safety of Nuclear Installations: ICDE General Coding Guidelines – Technical Note. NEA/CSNI/R(2011)12, OECD Nuclear Energy Agency, 2011.

- /NTS 10/ National Transportation Safety Board: Safety Recommendation A-10-129. 20.10.2010.  
<https://www.nts.gov/safety/safety-recs/recletters/A-10-129-130.pdf>, heruntergeladen 08.07.2019.
- /NTS 18/ National Transportation Safety Board: Aviation Accident Preliminary Report. Accident Number: ERA18MA099, 11. März 2018,  
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20180311X13013&AKey=1&RType=Prelim&IType=MA>, heruntergeladen 01.07.2019.
- /NTS 18a/ National Transport Safety Board (2018): Air Canada Flight 759 Airbus A320-211. C-FKCK San Francisco, California July 7, NTSB/AIR-18/01, 2017.
- /NTS 77/ National Transportation Safety Board (NTSB) (1977): Aircraft Accident Report – Japan Air Lines Company. Ltd. McDonnell-Douglas DC-8-62F, JA 8054, Anchorage, Alaska, January 13, 1977.
- /NTS 94/ National Transportation Safety Board (NTSB) (1994): A Review of Flight-crew-Involved Major Accidents of US Air Carriers. 1978 Through 1990.
- /NTV 14/ n-tv: Mühsame Bergung der ‚Sewol‘ – Viele Familien warten auf Gewissheit.  
<https://www.n-tv.de/panorama/Viele-Familien-warten-auf-Gewissheit-article12747926.html>, zuletzt aufgerufen am 05.06.2018.
- /NYT 18/ Vogel, Kenneth P., McGeehan, Patrick (April 7, 2018): Months Before Deadly Crash, Helicopter Pilots Warned of Safety Issues. The New York Times.  
<https://www.nytimes.com/2018/04/07/nyregion/flynyon-crash-helicopter-east-river.html>, heruntergeladen 03.07.2019.
- /OBE 06/ Oberweis, M.: Vor 25 Jahren begann die Ära des „Train à Grande Vitesse“ in Frankreich. Fräi Tribune, 26. 09 2006,  
<https://csv.lu/2006/09/26/a2682/>, zuletzt aufgerufen am 23.03.2020

- /OCC 85/ Australian Government: Occupational Health and Safety Act 1985. Version No. 060, Version incorporating amendments as at 6 March 2003.
- /PIL 17/ Piljugin, E., Faßmann, W, Jopen, M., Forner, J.: Neue Methoden zur Bewertung der Zuverlässigkeit fortschrittlicher Mensch-Maschine-Schnittstellen digitaler leittechnischer Einrichtungen und personell-organisatorischer Einflüsse. GRS-460, 2017.
- /PUE 14/ Puente, F.: Driver error “only cause” of Santiago accident, says report. International Railway Journal, 05.60.2014.  
<https://www.railjournal.com/regions/europe/driver-error-only-cause-of-santiago-accident-says-report/>, heruntergeladen 26.07.2019.
- /PON 13/ Pontevedra, S. R., Reinerer, D.: Rutina a 200 por hora (Routine bei 200 pro Stunde). El Pais, 29.07.2013.  
[https://elpais.com/ccaa/2013/07/29/galicia/1375129904\\_142220.html](https://elpais.com/ccaa/2013/07/29/galicia/1375129904_142220.html), heruntergeladen 26.07.2019.
- /RAI 05/ Railway Gazette: Competitive pressure may lie behind Amagasaki crash.  
<https://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/competitive-pressure-may-lie-behind-amagasaki-crash.html>, zuletzt aufgerufen am 20.09.2018.
- /RAI 07/ Aircraft and Railway Accidents Investigation Commission (2007): Railway Accident Investigation Report (Excerpt), Train derailment Accident between Tsukaguchi and Amagasaki Stations of the Fukuchiyama Line of the West Japan Railway Company.
- /REL 05/ www.reliefweb.int: China admits another major chemical blast.  
<https://reliefweb.int/report/china/china-admits-another-major-chemical-blast>, zuletzt aufgerufen am 06.07.2018.

- /REU 14/ [www.reuters.com](http://www.reuters.com): South Korea's Park, sorry over ferry disaster, breaks up coast guard.  
<https://www.reuters.com/article/us-southkorea-ferry/south-koreas-park-sorry-over-ferry-disaster-breaks-up-coast-guard-idUSBREA4I00720140519>, zuletzt aufgerufen am 20.09.2018.
- /RÖW 04/ Röwekamp, M., Gelfort, E.: Sicherheitsrelevanter Kabeltrassenbrand im Kernkraftwerk Greifswald - Beschreibung und Einschätzung. Technischer Bericht, GRS - V - SR 2449 - 1/2004, 2004.
- /SAF 18/ Safer Skies: #CloseTheTwoHourGap.  
<https://saferskies.ca/closethetwohourgap>, zuletzt aufgerufen am 07.02.2019.
- /SBF 02/ Büro für Flugunfalluntersuchungen: Schlussbericht Nr. 1793 des Büros für Flugunfalluntersuchungen über den Unfall des Flugzeuges AVRO 146-RJ100, HB-IXM, betrieben durch Crossair unter Flugnummer CRX 3597. vom 24. November 2001 bei Bassersdorf/ZH.
- /SHI 01/ Martinelli, Carlo: Al Salam Boccaccio 98.  
[www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1969133](http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1969133), zuletzt aufgerufen am 22.08.2019.
- /SHI 82/ Martinelli, Carlo: Boccaccio.  
[www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=2612231](http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=2612231), zuletzt aufgerufen am 02.09.2019.
- /STE 14/ Kim, S., Hanna, J., Payne, E. (2014): Ferry disaster: Too much cargo contributed to sinking, police say.  
<https://edition.cnn.com/2014/05/06/world/asia/south-korea-ship-sinking/index.html>, zuletzt aufgerufen am 12.07.2018.
- /TAB 14/ Taboada, X. A.: La comisión técnica responsabiliza al maquinista del accidente del Alvia (Die technische Kommission macht den Fahrer für den Unfall von Alvia verantwortlich). La Opinión de Coruña, 05.06.2014.  
<https://www.laopinioncoruna.es/galicia/2014/06/05/comision-tecnica-responsabiliza-maquinista/848225.html>, heruntergeladen 26.07.2019.

- /TAG 98/ Der Tagesspiegel: Eisenbahnbundesamt verbietet Betrieb aller ICE-1. <https://www.tagesspiegel.de/gesellschaft/panorama/eisenbahnbundesamt-verbietet-betrieb-aller-ice-1/46306.html>, zuletzt aufgerufen am 11.12.2019.
- /TMN 17/ The Mercury News: SFO near-miss: Air Canada flight got 'extremely close' to planes on taxiway, pilot on ground alerted tower, averted disaster. <https://www.mercurynews.com/2017/07/11/sfo-near-miss-air-canada-flight-got-extremely-close-to-planes-on-taxiway/>, zuletzt aufgerufen am 24.01.2019.
- /UCC 18/ Union Carbide Corporation (2001-2018): Cause of the Bhopal Tragedy. <http://www.bhopal.com/Cause-of-Bhopal-Tragedy>, zuletzt aufgerufen am 17.04.2019.
- /UNE 14/ United Nations Environment Programme: Study on Chemical Accident Reporting in China. DTI/1798/PA, 2014.
- /UST 14/ USA Today: South Korea ferry was routinely overloaded. <https://eu.usatoday.com/story/news/world/2014/05/04/south-korea-ferry-was-routinely-overloaded/8686733/>, zuletzt aufgerufen am 12.07.2018.
- /VBR 14/ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) (1973): Verordnung des UVEK über die Betriebsregeln im gewerbsmäßigen Luftverkehr. Stand am 1. Februar 2014, S. 15.
- /VER 18/ FAA targets FlyNYON, company behind craze for doors-off flights. Vertical, 18.03.2018. <https://www.verticalmag.com/news/faa-targets-flynyon-company-behind-craze-doors-off-flights/>, zuletzt aufgerufen 08.07.2019.
- /VER 18a/ FlyNYON knew of safety concerns before fatal doors-off flight, Vertical, 07.04.2018. <https://www.verticalmag.com/news/flynyon-knew-safety-concerns-fatal-doors-off-flight/>, zuletzt aufgerufen 01.07.2019.

- /WIK 19/ Wikipedia: ICE-Unfall von Eschede.  
[https://de.wikipedia.org/wiki/ICE-Unfall\\_von\\_Eschede](https://de.wikipedia.org/wiki/ICE-Unfall_von_Eschede), zuletzt aufgerufen am 11.12.2019.
- /WSW 06/ World Socialist Website: Egypt: Report on ferry disaster condemns official corruption.  
<https://www.wsws.org/en/articles/2006/04/ferr-a26.html>, zuletzt aufgerufen am 05.04.2018.



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Explosion des Esso-Erdgaswerks in Longford .....	28
Abb. 2.2	Trümmer des ICE .....	42
Abb. 2.3	Notbremse und ihre Beschriftung in einem Abteil des ICE 1 .....	50
Abb. 2.4	Wrack der Maschine des Crossair-Fluges 3597.....	54
Abb. 2.4	Foto des Digital Cabin Pressure Control System Panel der Unglücks- maschine .....	75
Abb. 2.5	Die ursprünglich „Boccaccio“ getaufte Fähre im Urzustand.....	89
Abb. 2.6	Die umgebaute „Al Salam Boccaccio 98“ .....	89
Abb. 2.7	Karte der Unglücksstelle .....	102
Abb. 2.8	Foto der Unglücksstelle .....	103
Abb. 2.9	Foto der Unglücksstelle .....	103
Abb. 2.10	Befehrerung von Landebahn 28R und Rollbahn C am Flughafen SFO ...	131
Abb. 2.11	Das ATIS-Signal, wie es für die Crew von ACA759 sichtbar war .....	132
Abb. 2.12	Vergleich der geplanten kanadischen Regelungen mit Forschungs- ergebnissen der NASA und US-Regelungen .....	136
Abb. 2.13	Bergung des Helikopters aus dem East River .....	139
Abb. 2.14	Anordnung von Treibstoffregelungshebel (Fuel Flow Control Lever) und Treibstoffnotabspernung (Emergency Fuel Shutoff Lever) .....	144
Abb. 3.1	Hierarchie der elementaren und abstrakten Merkmale.....	194



## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Chronologischer Ablauf des Störfalls durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975.....	6
Tab. 2.2	Chronologischer Ablauf des Absturzes von Japan-Air-Lines-Flug 8054 .....	16
Tab. 2.3	Chronologischer Ablauf der Chemiekatastrophe von Bhopal .....	19
Tab. 2.4	Chronologischer Ablauf von Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford .....	29
Tab. 2.5	Chronologischer Ablauf der Entgleisung des ICE in Eschede .....	43
Tab. 2.6	Chronologischer Ablauf des Unglücksfluges CRX 3597.....	55
Tab. 2.7	Chronologischer Ablauf des Eisenbahnunfalls von Amagasaki.....	65
Tab. 2.8	Chronologischer Ablauf des Absturzes von Helios Airways Flug 522.....	72
Tab. 2.9	Ablauf des Chemieunfalls in Chongqing .....	82
Tab. 2.10	Ablauf des Untergangs der Al Salam Boccaccio 98 .....	90
Tab. 2.11	Chronologischer Ablauf des Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela am 24.07.2013 (Angaben in Lokalzeit MESZ) .....	104
Tab. 2.12	Chronologischer Ablauf des Unglücks der Sewol-Ho .....	111
Tab. 2.13	Chronologischer Ablauf des Beinahe-Crashes von Air Canada Flug 759 .....	124
Tab. 2.14	Schlafzeiten des Kapitäns von ACA759 in den letzten drei Nächten vor dem Zwischenfall .....	128
Tab. 2.15	Schlafzeiten des Ersten Offiziers von ACA759 in den letzten drei Nächten vor dem Zwischenfall .....	130
Tab. 2.16	Chronologischer Ablauf des Absturzes eines Sightseeing-Hubschraubers in New York am 11.03.2018 .....	140
Tab. 3.1	Elementare Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten. ....	182
Tab. 3.2	Elementare Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern oder sich positiv auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten .....	186

Tab. 3.3	Abstrakte Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten. ....	192
Tab. 3.4	Charakterisierung der Wichtigkeit von Merkmalen in Ereignissen .....	196
Tab. 3.5	Häufigkeit, bedingte und unbedingte mittlere Wichtigkeit der elementaren Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten.....	198
Tab. 3.6	Wichtigkeit der abstrakten Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten.....	201
Tab. 3.7	Elementare Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern und ihre Beherrschung begünstigen.....	202
Tab. 3.8	Kategorisierung der erwarteten Erfassbarkeit von Merkmalen .....	232
Tab. 3.9	Erfassbarkeit und Priorität von Merkmalen.....	233
Tab. A.1	Expertenbewertung der Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten.....	262
Tab. A.2	Expertenbewertung der Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhindern oder sich positiv auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten.....	269

## Abkürzungsverzeichnis

Im Folgenden sind die verwendeten Abkürzungen aufgeführt:

ACC	Area Control Center, Flugsicherungszentralen, die den Flugverkehr im zugewiesenen Luftraum kontrollieren
ATC-System	Automatic Train Control System
ATIS	Automatic Terminal Information Service
ATS-System	Automatic Train Stop System
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt der Schweiz
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BHB	Betriebshandbuch
CAA	Civil Aviation Authority, britische Luftfahrtbehörde
CMC	Chonghaejin Marine Company
DB	Deutsche Bahn
DCA	Department of Civil Aviation, zyprische Luftfahrtbehörde
DFGS	Digital Flight Guidance System
DRK	Deutsches Rotes Kreuz
ETCS	European Train Control System, Europäischer Standard für ein Zugbeeinflussungssystem
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FAA	Federal Aviation Administration, Bundesluftfahrtbehörde der USA
GPWS	Ground Proximity Warning System
HAZOP	Hazard and Operability Study
IAEA	International Atomic Energy Agency
ILS	Instrument Landing System
IRS	International Reporting System der IAEA
IMO	International Maritime Organization
ISM Code	International Safety Management Code der internationalen Seeschiff-fahrtsorganisation IMO

JAL	Japan Air Lines
JRCC	Joint Rescue Coordination Centre, zentrale Anlaufstelle Griechenlands bei Notfällen im Luft- oder Schiffsverkehr
JR West	West Japan Railway Company
KMST	Korean Maritime Safety Tribunal
KR	Korean Register of Shipping
KSA	Korean Shipping Association
MDA	Minimum Descent Altitude
MHF	Major Hazard Facility, australische Kategorie der Gefährlichkeit von Industrieanlagen
MIC	Methylisocyanat
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSAW	Minimum Safe Altitude Warning System
NASA	National Aeronautics and Space Administration, US-amerikanische Bundesbehörde für Raumfahrt und Flugwissenschaft
NHB	Notfallhandbuch
NTSB	National Transportation Safety Board, US-amerikanische Bundesbehörde zur Aufklärung von Unglücksfällen im Transportwesen
NVM	Non Volatile Memory
OIMS	Operations Integrity Management System, Managementsystem von Esso
RENFE	Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles, spanischer Eisenbahnbetreiber
ROKCG	Republic of Korea Coast Guard
RoRo	Roll on Roll off, Bezeichnung eines Schiffstyps
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
SFO	Flughafen San Francisco
SRU	Safety Regulation Unit der zypriotischen Luftfahrtbehörde DCA
SSK	Strahlenschutzkommission beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

UCC	Union Carbide Corporation
UCIL	Union Carbide India Limited
UN	Vereinte Nationen
UTC	Coordinated Universal Time
VTS	Vessel Traffic Service
WANO	World Association of Nuclear Operators
WLN	Weiterleitungsnachricht der GRS



## **A Anhang: Expertenbewertungen der Wichtigkeit der Merkmale in den einzelnen Ereignissen**

In der folgenden Tabelle Tab. A.1 sind die Expertenbewertungen der Wichtigkeit der Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitrugen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten, aufgeführt, während in Tabelle Tab. A.2 die Expertenbewertungen der Wichtigkeit der Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhinderten oder sich positiv auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten, angegeben sind.

**Tab. A.1** Expertenbewertung der Merkmale, die zur Katastrophenentstehung beitragen oder sich negativ auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten

„Auslösend“ ist durch 3, „Stark ereignisrelevant“ durch 2 und „Ereignisrelevant“ durch 1 gekennzeichnet. „Nicht beitragend“ ist nicht gekennzeichnet.

Ereignis-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975	Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977	Chemiekatastrophe von Bhopal 1984	Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998	Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998	Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001	Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005	Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko, Griechenland 2005	Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005	Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006	Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013	Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014	Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017	Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018	Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia
Akzeptieren von Sicherheitsdefiziten	3				3	2	1			3	2				
Akzeptieren von unsicheren Zuständen		3	2									3		2	
Aufgabenbedingt hohe Belastung der Mitarbeiter							2						1		









Ereignis-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nichtdurchführung vorgesehener sicherheitsrelevanter Aktivitäten				2	2										
Nicht-Ermütigung der Äußerung von Sicherheitsbedenken															1
Organisation erbringt unter Sicherheitsaspekten unmögliche Leistung					2		3					3			
Qualitativ unzureichende personelle Ressourcen			1	1		3		1							2
Quantitativ unzureichende personelle Ressourcen	2		1					1							
Unzureichende Anforderungen	2			1	2	1				2		2	1	1	2
Unzureichende Berücksichtigung von Human-Factor-Aspekten				1			2					2		1	



**Tab. A.2** Expertenbewertung der Merkmale, die die Entstehung von Katastrophen verhinderten oder sich positiv auf Beherrschung oder mitigative Maßnahmen auswirkten

„Auslösend“ ist durch 3, „Stark ereignisrelevant“ durch 2 und „Ereignisrelevant“ durch 1 gekennzeichnet. „Nicht beitragend“ ist nicht gekennzeichnet.

Ereignis-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975	Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977	Chemiekatastrophe von Bhopal 1984	Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998	Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998	Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001	Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005	Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko, Griechenland 2005	Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005	Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006	Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013	Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014	Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017	Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018	Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia
Promptes Treffen notwendiger Entscheidungen					2					2					
Priorisierung von Sicherheit	3														
Keine kanalbezogene Kommunikationsdefizite					2					2					

Ereignis-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Störfall durch Kabelbrand im Block 1 des Kernkraftwerks Greifswald 1975	Absturz von Japan-Air-Lines-Flug 8054 in Anchorage 1977	Chemiekatastrophe von Bhopal 1984	Explosion und Brand des Esso-Erdgaswerks in Longford 1998	Entgleisung eines ICE bei Eschede 1998	Absturz von Crossair-Flug 3597 bei Bassersdorf 2001	Eisenbahnunfall von Amagasaki 2005	Absturz von Helios Airways Flug 522 bei Grammatiko, Griechenland 2005	Kontamination eines Flusses und Gefährdung eines Trinkwasserreservoirs als Folge eines Chemieunfalls in Chongqing 2005	Kentern der Fähre Al Salam Boccaccio 98 im Roten Meer 2006	Eisenbahnunfall von Santiago de Compostela 2013	Kentern der Fähre Sewol-Ho im Gelben Meer 2014	Beinahe-Crash von Air Canada Flug 759 in San Francisco 2017	Absturz eines Sightseeing-Hubschraubers in New York 2018	Havarie des Kreuzfahrtschiffes Costa Concordia
Keine inhaltsbezogene Kommunikationsdefizite					2										
Hierarchisches Verhältnis zwischen Organisationen									2						
Erfahrenes Personal													3		
Gute Fachkunde									2						

## B Anhang: Herleitung der statistischen Unsicherheiten

Um die statistischen Unsicherheiten zu bestimmen, die sich aus der beschränkten Anzahl von Ereignissen ergeben, werden im Folgenden Bayessche statistische Methoden angewandt.

### B.1 Unsicherheit der Häufigkeiten

Wenn ein bestimmtes Merkmal mit einer Wahrscheinlichkeit  $\mu$  auftritt, dann ist die Anzahl  $m$  von Ereignissen, in der es gefunden wird, wenn  $g$  Ereignisse betrachtet werden, binomialverteilt:

$$p(m|g, \mu) = p_{\text{Binomial}}(m|g, \mu) = \binom{g}{m} \mu^m (1 - \mu)^{g-m} \quad (\text{B.1})$$

Nach dem Satz von Bayes ist die Verteilung von  $\mu$ , wenn das Merkmal in  $m$  von  $g$  Ereignissen auftrat

$$p(\mu|m, g) \propto p(m|g, \mu)\pi(\mu) \propto \binom{g}{m} \mu^m (1 - \mu)^{g-m} \pi(\mu) \quad (\text{B.2})$$

mit der a-priori-Verteilung  $\pi(\mu)$ . Wählt man die a-priori-Verteilung  $\pi(\mu)$  nach dem Verfahren von Jeffreys als  $\pi(\mu) \propto 1/(\sqrt{\mu} \sqrt{1 - \mu})$ , so erhält man als a posteriori-Verteilung von  $\mu$  eine Beta-Verteilung

$$p(\mu|m, g) = p_{\text{Beta}}\left(\mu \mid \frac{1}{2} + m, \frac{1}{2} + g - m\right) \propto \mu^{m-1/2} (1 - \mu)^{g-m-1/2} \quad (\text{B.3})$$

Die a posteriori-Verteilung quantifiziert die statistische Unsicherheit, die nach der Beobachtung von  $g$  von  $m$  Ereignissen noch besteht.

Häufig wird ein Vertrauensbereich  $C_q$  angegeben, in dem der wahre Parameter  $\mu$  mit einer Wahrscheinlichkeit  $q$  liegt, d. h.

$$\int_{C_q} p(\mu|m, g) d\mu = q \quad (\text{B.4})$$

Hierbei wird häufig  $q = 95\%$  oder  $q = 90\%$  gewählt. Die Wahl des Konfidenzbereiches ist nicht eindeutig; häufig wird ein Intervall zwischen symmetrischen Quantilen gewählt:

$$C_q = [Q_{\alpha/2}(p), Q_{1-\alpha/2}(p)] \quad \text{mit} \quad \alpha = 1 - q \quad (\text{B.5})$$

d. h. für den 90%-Vertrauensbereich das Intervall zwischen 5 % und 95 %-Quantil.

Dies hat in diesem Fall allerdings den Nachteil, dass in manchen Fällen die wahrscheinlichsten Werte für  $\mu$  nicht im Vertrauensbereich enthalten sind. Dies tritt z. B. bei  $m = 0$  auf. Deshalb wird der Vertrauensbereich wie folgt festgelegt:

$$C_q = \begin{cases} [Q_{\frac{1-q}{2}}(p), Q_{1-\frac{1-q}{2}}(p)] & \text{falls} \\ & \text{argmax } p(\mu) \in [Q_{\frac{1-q}{2}}(p), Q_{1-\frac{1-q}{2}}(p)] \\ \\ [0, Q_q(p)] & \text{sonst, falls} \\ & \text{argmax } p(\mu) \in [0, Q_q(p)] \\ \\ [Q_{1-q}(p), 1] & \text{sonst} \end{cases} \quad (\text{B.6})$$

## B.2 Unsicherheit der Kategorien der Wichtigkeiten

Wenn eine bestimmte Kategorie  $k$  der Wichtigkeit mit einer Wahrscheinlichkeit  $\omega_k$  auftritt, dann ist die Anzahl  $m_k$  von Ereignissen der Kategorie  $k$  der Wichtigkeit multinomialverteilt:

$$p(m_1 \dots m_K | \omega_1 \dots \omega_K, g) = p_{Multinomial}(m_1 \dots m_K | \omega_1 \dots \omega_K, g) \\ \propto \begin{cases} \prod_{k=1}^K \omega_k^{m_k} & \text{falls } \sum_{k=1}^K m_k = g \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (\text{B.7})$$

Nach dem Satz von Bayes ist die Verteilung von  $\omega_1 \dots \omega_K$ , wenn das Merkmal  $k$  in  $m_k$  Ereignissen auftrat

$$p(\omega_1 \dots \omega_K | m_1 \dots m_K) \propto \prod_{k=1}^K \omega_k^{m_k} \pi(\omega_1 \dots \omega_K) \quad (\text{B.8})$$

mit der a-priori-Verteilung  $\pi(\omega_1 \dots \omega_K)$ . Wählt man die a priori-Verteilung  $\pi(\omega_1 \dots \omega_K)$  nach dem Verfahren von Jeffreys als  $\pi(\omega_1 \dots \omega_K) \propto \prod_{k=1}^K 1/\sqrt{\omega_k}$ , so erhält man als a posteriori-Verteilung von  $\mu$  eine Dirichlet-Verteilung

$$p(\omega_1 \dots \omega_K | m_1 \dots m_K) = p_{Dirichlet} \left( \omega_1 \dots \omega_K \mid \frac{1}{2} + m_1 \dots \frac{1}{2} + m_K \right) \\ \propto \prod_{k=1}^K \omega_k^{m_k - 1/2} \quad (\text{B.9})$$

### B.3 Unsicherheiten der unbedingten Wichtigkeiten

Die unbedingten Wichtigkeiten sind als Produkt der Häufigkeiten mit den Wahrscheinlichkeiten der Kategorien und den Wichtigkeitswerten definiert:

$$\begin{aligned} \text{Auslösend:} & \quad w_1 = \mu_1 \omega_1 \\ \text{Stark ereignisrelevant:} & \quad w_2 = 0,5 \mu_2 \omega_2 \\ \text{Ereignisrelevant:} & \quad w_3 = 0,1 \mu_3 \omega_3 \\ \text{Nicht beitragend:} & \quad w_4 = 0 \end{aligned} \tag{B.10}$$

Die Verteilungen dieser Größen sind analytisch nicht ausdrückbar. Sie lassen sich aber in einem Monte-Carlo-Verfahren numerisch bestimmen, indem Samples der  $\mu_k$  und  $\omega_k$  aus ihren jeweiligen Verteilungen gezogen werden und dann Samples der  $w_k$  nach obiger Formel berechnet werden.

Ein Vertrauensbereich lässt sich dann einfach als  $[Q_{\alpha/2}, Q_{1-\alpha/2}]$  bestimmen, wobei die Quantile numerisch aus der Menge der Samples der  $w_k$  berechnet werden.

**Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**  
Telefon +49 221 2068-0  
Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum  
Boltzmannstraße 14  
**85748 Garching b. München**  
Telefon +49 89 32004-0  
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200  
**10719 Berlin**  
Telefon +49 30 88589-0  
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4  
**38122 Braunschweig**  
Telefon +49 531 8012-0  
Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)