



UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik
Institut für Informatik
Mensch-Computer-Interaktion und Softwaretechnologie
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

**Methodik zur
Dokumentation und Analyse von
Kommunikationsschwachstellen in
sicherheitskritischen Systemen anhand
von hierarchischen Aufgabenmodellen**

Genehmigte Dissertation
zur Erlangung des Grades
„Doktor der Naturwissenschaften“
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von

Dipl.-Wirt.-Inf. Tomasz Mistrzyk

Paderborn, im August 2010

Promotionskommission:

Vorsitzender: Prof. Dr. Gerd Szwillus (Universität Paderborn)

Koreferat: Prof. Dr. Gitte Domik (Universität Paderborn)

Beisitzer: Prof. Dr. Franz Rammig (Universität Paderborn)

Beisitzer: Dr. Theodor Lettmann (Universität Paderborn)

Beisitzer: Dr. Metthias Fischer (Universität Paderborn)

Die Dissertation wurde am 24. Juni 2010 bei der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik der Universität Paderborn eingereicht und am 31. August 2010 vor der Promotionskommission verteidigt und durch die Fakultät angenommen.

Danksagung

Die Vorliegende Dissertation entstand während meiner wissenschaftlicher Tätigkeit innerhalb der Arbeitsgruppe des Fachgebiets „Mensch-Computer-Interaktion und Softwaretechnologie“ von Prof. Dr. Gerd Szwillus an der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik (EIM) der Universität Paderborn.

Allen voran bedanke ich mich an dieser Stelle herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Gerd Szwillus, der mich während der Dissertation mit viel Geduld, Engagement und wertvollem Rat unterstützt hat. Die von ihm vermittelte Atmosphäre konstruktiver Kritik und Zusammenarbeit hat mir die Chance gegeben mein Promotionsvorhaben zu einem erfolgreichen Ende zu bringen. Ich danke den weiteren Mitgliedern meiner Prüfungskommission Franz Josef Rammig, Michael Tauber, Theodor Lettmann, dass sie sich mit meiner Arbeit befasst haben. Gitta Domik, Gerd Szwillus und Jean Vanderdonckt danke ich für die Anfertigung eines Gutachtens.

Mein Dank geht auch an Chris Johnson von der Universität Glasgow und Philippe Palanque aus Toulouse, die während des Projektes *ADVISES* mir die Möglichkeit gegeben haben aus ihrer Erfahrung zu schöpfen und Anregungen für meine Dissertation zu finden.

Auf diesem Wege bedanke ich mich ebenfalls bei der Projektgruppe AMBOSS für ihre tatkräftige Unterstützung und Einsatzbereitschaft bei der Erstellung der Modellierungsumgebung. Ohne ihren Einsatz wäre die Arbeit so nicht möglich gewesen.

Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank meiner Familie und meiner Freundin für ihre Bereitschaft, mit der sie mir den Weg zu meiner Doktorarbeit während einiger kritischer Momente geebnet haben und mit ihrem uneingeschränkten Rückhalt und Verständnis zu einem gelungenem Ende beigetragen haben.

An all die guten Geister, die mich freundlicherweise bei den mühsamen sprachlichen Korrekturen unterstützt haben und mich immer wieder motiviert haben Ausdrucksformen geschickter zu wählen und an meinen Gedankenwirrwarr nicht zu verzweifeln, für deren namentliche Nennung der verfügbare Platz jedoch nicht reichen würde, richte ich meinen Dank.

Mai 2010, Tomasz Mistrzyk

Inhaltsverzeichnis

I. Einführung	2
1. Einleitung	3
1.1. Motivation und Ziele	3
1.2. Aufbau der Ausarbeitung	5
II. Theoretische Grundlagen	8
2. Aufgabenanalyse und Aufgabenmodellierung	9
2.1. Aufgabenanalyse	9
2.1.1. Ziele einer Aufgabenanalyse	9
2.1.2. Ethnographische Methoden	12
2.1.3. Fragenbasierte Aufgabenanalyse	13
2.1.4. Hierarchische Aufgabenanalyse HTA	15
2.1.5. Groupware Task Analysis GTA	17
2.1.6. GOMS	21
2.1.7. Kognitive Aufgabenanalyse	27
2.2. Aufgabenmodellierungsansätze	28
2.2.1. CTT	30
2.2.2. VTMB	34
2.2.3. KMAD	35
2.2.4. TOMBOLA	37
2.2.5. AMBOSS	40
2.3. Zusammenfassung	48
3. Soziotechnische Systeme	50
3.1. Charakterisierung soziotechnischer Systeme	50
3.1.1. Komplexität	52
3.1.2. Systemkopplung	54
3.1.3. Latente Fehler	55
3.1.4. Sicherheitskritikalität	58

3.2.	Sicherheitsgestaltung in soziotechnischen Systemen	60
3.2.1.	Sicherheitsmanagement, Definitionen und Standards	60
3.2.2.	Integration des Sicherheitsmanagements	62
3.2.3.	Unternehmenskultur und Sicherheit	64
3.2.4.	Lernen aus Fehlern	66
3.3.	Unfallkosten	69
3.4.	Zusammenfassung	71
4.	Menschliche Fehler	72
4.1.	Definition des menschlichen Fehlers	73
4.2.	Fehlerklassifikation	74
4.2.1.	Ereignisbasierte Sicht	74
4.2.2.	Kognitionspsychologische Sicht	77
4.2.3.	Kommunikationsbasierte Sicht	95
4.3.	Zusammenfassung	99
5.	Gefährdungs- und Unfallanalysetechniken	101
5.1.	Gefährdungsanalysen	102
5.1.1.	HAZOP	102
5.1.2.	FTA	106
5.1.3.	FMEA	110
5.2.	Unfallanalyse	113
5.2.1.	STAMP	116
5.2.2.	Why-Because Analyse	121
5.3.	Zusammenfassung	125
III.	Konzept	127
6.	Methodik	128
6.1.	Ziele der Untersuchung	128
6.2.	Kommunikation in soziotechnischen Systemen	130
6.3.	Basismodell der Kommunikation	133
6.3.1.	Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver	134
6.3.2.	Störquelle im Kommunikationsmodell	135
6.3.3.	Kritik am Modell von Shannon und Weaver	136
6.4.	Modellierung der Kommunikationsparameter	138
6.4.1.	Information	138
6.4.2.	Medium	142
6.4.3.	Kontrollprozess	145
6.4.4.	Trigger	152
6.4.5.	Zeit	156

6.4.6.	Relation zwischen Akteuren	162
6.4.7.	Raum	164
6.5.	Vergleich mit anderen Kommunikationsmodellen	167
6.5.1.	Kommunikationsmodell für sicherheitskritische Systeme	167
6.5.2.	Das Reiz-Reaktions-Modell	170
6.5.3.	Die Lasswell-Formel	171
6.5.4.	Austauschmodelle der Kommunikation	172
6.5.5.	Modelle der Massenkommunikation	175
6.5.6.	Zusammenfassung	180
6.6.	Kommunikation in Aufgabenmodellen	180
6.6.1.	Interne Vererbung von Kommunikation in Aufgabenmodellen	185
6.7.	Aufstellung eines Verfahrens für eine systematische Spezifikation und Analyse von Kommunikationsschwachstellen in Aufgabenmodellen	190
6.7.1.	Aufstellen der Prioritätsklassen	191
6.7.2.	Quantitative Beurteilung von Kommunikationsparametern	193
6.7.3.	Qualitative Abschätzung von Kommunikationsparametern	206
6.7.4.	Aggregation der einzelnen Kommunikationsschwachpunkte	209
6.7.5.	Verbesserungsvorschläge für Kommunikationsparameter	215
6.8.	Einsatzfelder der Untersuchungsmethode	215
6.8.1.	Systematische Dokumentation	217
6.8.2.	Aufdeckung lokaler Fehler und globaler Probleme	218
6.9.	Zusammenfassung	220
 IV. Praktische Anwendung		222
 7. Fallstudien		223
7.1.	Erste Fallstudie: Perfusor	224
7.1.1.	Beschreibung	224
7.1.2.	Analyse	227
7.1.3.	Auswertung	244
7.2.	Zweite Fallstudie: Der falsche Patient	248
7.2.1.	Beschreibung	248
7.2.2.	Analyse	251
7.2.3.	Auswertung	302
7.3.	Zusammenfassung	310
 V. Resümee		311
 8. Zusammenfassung		312
8.1.	Erreichte Ziele	312

Inhaltsverzeichnis

8.2. Umsetzung	313
8.3. Ausblick	314
8.4. Schlussbemerkung	315
Literaturverzeichnis	316
VI. Anhang	343
9. Veröffentlichungen	344
10. Abbildungen	346

Abbildungsverzeichnis

1.1. Einordnung der einzelnen Kapitel	5
2.1. Aufgaben einer Säuglingsintensivstation	16
2.2. Ontologie der Attribute von GTA	20
2.3. PERT Chart präsentiert in APEX	26
2.4. Notation von Aufgabenmodellen in CTTE	34
2.5. Metamodell von AMBOSS	42
2.6. Notation eines Aufgabenmodells mit AMBOSS	46
2.7. Beispiel des Simulators in AMBOSS	47
3.1. Soziotechnisches System	51
3.2. Systemvulnerabilität, Grad der Interaktion und Kopplung	55
3.3. Swiss Cheese Modell von Reason	56
3.4. Birds Unfalldreieck	68
3.5. Lern- und Qualitätssystemsicht	68
4.1. Handlungsfehler in unterschiedlichen Industriezweigen	72
4.2. Systematik der Fehlerzustände nach Hollnagel	76
4.3. Erkenntnisorientierte Psychologie der Informationsverarbeitung	79
4.4. Fehlersystematik nach RouseRouse	83
4.5. Entscheidungs- Aktionspyramide von Rasmussen.	86
4.6. Fehlerklassifikation nach Rasmussen	87
4.7. Modell des menschlichen Verhaltens nach Rasmussen	87
4.8. Fehlergruppen nach Reason	89
4.9. Generisches Fehler-Modellierungssystem nach Reason	89
4.10. Beispiel einer Fehlertaxonomie nach Frese und Zapf	94
5.1. Beispiel eines FBA Diagrams	109
5.2. Vereinfachtes Flussdiagramm von FMEA	111
5.3. Formblatt von FMEA	112
5.4. Klassifikation von Kontrollschwachstellen	119
5.5. Teilgraph von WBA	122
6.1. Kommunikationsflussmodell	131
6.2. Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver	134

6.3. Beispiele von fehlerhafter Rückkopplung	149
6.4. Rhythmus von Aufgabe, Kommunikationspartnern und Kommunikationskanal	155
6.5. Kommunikationsmodell für sicherheitskritische Systeme	167
6.6. Kommunikationsmodell nach Jakobson	173
6.7. Modell der Interpersonalen Kommunikation	176
6.8. Kommunikationsmodell von Riley&Riley	178
6.9. Feldschema von Maletzke	179
6.10. Beispiele von Kommunikationsvorgängen modelliert mit AMBOSS	182
6.11. Dialogmaske für die Spezifikation von Kommunikation mit AMBOSS	183
6.12. Mögliche Schwachstelle bei Vererbung von Informationen	187
6.13. Analyseprozess von Kommunikation	190
6.14. Propagation	213
7.1. Verfälschung der Daten beim Perfusor	224
7.2. Aufgabenmodell für die erste Fallstudie	225
7.3. Perfusor mit Steuerungseinheit	227
7.4. Fallstudie 1 Kommunikationsvorgang 5	239
7.5. Fallstudie 1 Kommunikationsvorgang 6	243
7.6. Transportwege des Patienten	251
10.1. Fallstudie 2, Aufgabenmodell grob	346
10.2. Fallstudie 2, Patiententransport	347
10.3. Fallstudie 2, Phase 2, detailliertes Aufgabenmodell	348
10.4. Fallstudie 2, Phase 3, detaillierte Aufgabenmodell	349
10.5. Fallstudie 2, Phase 4, detailliertes Aufgabenmodell	350
10.6. Fallstudie 2, Arztentscheidung	351

Tabellenverzeichnis

2.1. Temporale Operatoren in CTT	32
2.2. Temporale Operatoren in VTMB	35
2.3. Temporale Operatoren in K-MAD	36
2.4. Temporale Operatoren in TOMBOLA	39
2.5. Temporale Operatoren in AMBOSS	43
4.1. Klassifikation von Slips nach Norman	81
4.2. Fehlerklassifikation nach Rouse and Rouse	84
4.3. Fehlertaxonomie der fertigkeitbasierten Ebene nach Reason	90
4.4. Fehlertaxonomie auf der regelbasierten Ebene nach Reason	92
4.5. Ebenen der Koordination für die Grundlage der gemeinsamen Verständigung	96
4.6. Fehlertaxonomie in der Kommunikation nach Gibson	99
5.1. Beispiel von Leitwörtern und ihre Bedeutung in der HAZOP-Methode	103
5.2. Beispiel für eine tabellarische Darstellung des Protokolls von HAZOP-Methode	104
5.3. Symbole bei der Fehlerbaumkonstruktion	108
6.1. Überblick über die Prioritätsklassen der Kommunikationsvorgänge im ersten Schritt des Verfahrens	192
6.2. Priorisierung der Kommunikationsvorgänge	192
6.3. Ausprägungen des Parameters <i>Protokoll</i> beim Sender und beim Empfänger im zweiten Schritt	195
6.4. Kombination der Ausprägungen des Parameters <i>Protokoll</i> zwischen einem Sender und Empfänger mit möglichen Folgen für das System .	196
6.5. Ausprägungen des Parameters <i>Rückmeldung</i> im Kommunikationsmodell auf der Senderseite	197
6.6. Ausprägungen des Parameters <i>Rückmeldung</i> im Kommunikationsmodell auf der Empfängerseite	197
6.7. Kombination der Ausprägungen des Parameters <i>Rückmeldung</i> zwischen einem Sender und Empfänger mit möglichen Folgen für das System	198
6.8. Ausprägungen des Parameters <i>Redundanz</i> im Kommunikationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers	199

6.9. Mögliche Folgen bei Unregelmäßigkeiten in der <i>Redundanz</i>	200
6.10. Ausprägungen des Parameters <i>Trigger</i> auf der Seite des Senders . . .	201
6.11. Ausprägungen des Parameters <i>Trigger</i> auf der Seite des Empfängers .	201
6.12. Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter <i>Trigger</i> . .	201
6.13. Ausprägungen des Parameters <i>Medium</i> im Kommunikationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers	202
6.14. Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter <i>Medium</i> . .	202
6.15. Ausprägungen des Parameters <i>Kommunikationskanal</i> im Kommuni- kationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers	204
6.16. Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter <i>Kommuni- kationskanal</i>	204
6.17. Ausprägungen des Parameters <i>Raum</i> im Kommunikationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers	205
6.18. Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter <i>Raum</i> . . .	205
6.19. Qualitative Beurteilung der Parameter im Kommunikationsmodell . .	208
6.20. Aggregierte Informationen über Vorgänge	211
6.21. Bedeutung der Schlüsselwörter für die Tabelle 6.22	211
6.22. Ausgewählte Kommunikationsparameter auf einen Blick	212
6.23. Parameter des Kommunikationsmodells	216

Teil I.

Einführung

1. Einleitung

1.1. Motivation und Ziele

Soziotechnische Systeme sind in den letzten Jahren ein integraler Bestandteil unserer Gesellschaft geworden. Eigenschaft dieser Systeme ist, dass sie einerseits technische Komponenten (Computer, Maschinen) beinhalten, andererseits auch agierende Menschen bei der kooperativen Bearbeitung von Aufgaben unterstützen. Diese Systeme kommen vor allem bei der Bedienung komplexer technischer Geräte zum Einsatz. Eine besondere Untergruppe stellen dabei Systeme mit sicherheitskritischen Prozessen dar. Typische Beispiele für solche Systeme sind Operationssäle in Krankenhäusern, Leitstände eines Kernkraftwerks oder das Cockpit eines Flugzeugs.

Die aufgeführten soziotechnischen Systeme verfügen über eine besondere gemeinsame Eigenschaft: Sie verwalten Komponenten, die potenziell gefährlich für den Menschen oder das Material sind. Eine derartige Gefährdung kann beispielsweise aus fehlerhafter oder unzureichender Kommunikation zwischen Menschen selbst oder zwischen Menschen und Maschinen resultieren. Eine solche mangelhafte Kommunikation kann ein gravierendes sicherheitsrelevantes Problem dieser Systeme darstellen. Daher ist es wichtig, derartige Schwachstellen zu untersuchen, zu dokumentieren und zu analysieren, um geeignete Schutzmechanismen zu integrieren und damit möglichen Gefahren entgegenzuwirken.

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit solchen Systemen. Dabei wird das Augenmerk auf die Ursache der Schwachstellen, die sich aus einer schlechten Kommunikation ergeben, gerichtet.

Laut wissenschaftlicher Erkenntnisse sind 60-80% aller Verkehrsflugzeugunfälle und Verkehrsflugzwischenfälle auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen [WS03]. Dabei gelten Mängel in der Kommunikation als die Hauptursache für kritische Ereignisse. Dies gilt auch für andere sicherheitskritische Systeme, wie etwa den Bereich der Patientensicherheit in der Medizin; hier gibt es ähnliche Kennzahlen mit mehr oder weniger plakativen Beispielen, in denen stets Kommunikation eine wesentliche Rolle spielt [R.L00].

Diese Mängel bilden eine wichtige Motivation, um ein zweckmäßiges Verfahren für die Dokumentation von Kommunikationsvorgängen und eine geeignete Methode, die die Schwachstellen in sicherheitskritischen Kommunikationsvorgängen identifiziert, aufzustellen. Für die anschließende Modellierung von sicherheitskritischen Systemen werden in der vorliegenden Arbeit Aufgabenmodelle, die in frühen Phasen

des Systementwurfs ihren Einsatz finden, verwendet. Darüber hinaus werden solche Modelle als Hilfsmittel zur Dokumentation der Ergebnisse der Aufgabenanalyse eingesetzt. Derartige Modelle konzentrieren sich auf die hierarchische Dekomposition von Aufgaben in Unteraufgaben und deren zeitliche Anordnung durch Angabe von temporalen Relationen. Ihre Vorteile für sicherheitskritische Systeme werden gefragt, wenn eine hinreichend ausdrucksstarke Spezifikationstechnik der Aufgaben gesucht wird.

Aus der Herausforderung, eine entsprechende Methodik für das Aufspüren von Kommunikationsschwachstellen zu entwickeln, leiten sich folgende Ziele für die Arbeit ab:

- Es soll ein geeignetes Beschreibungskalkül für das Modellieren der Kommunikationsvorgänge in soziotechnischen sicherheitskritischen Systemen erstellt werden.
- Das erarbeitete Beschreibungskalkül soll es ermöglichen, Schwachstellen in den Aufgabenmodellen aufzuspüren, die durch ungeeignete Kommunikation auftreten.
- Innerhalb des Beschreibungskalküls werden Parameter vorgeschlagen und definiert. Anhand dieser Parameter wird die Grenzwertigkeit (Kritikalität) der Schwachstellen in den Kommunikationsvorgängen abgeschätzt.
- Anhand der gefundenen Schwachstellen und ihrer Kritikalität sollen dem Modellierer Änderungsstellen und verbesserungswürdige Parameter aufgezeigt werden.

Die erwähnten Ziele werden in drei Schritten, die den drei Hauptteilen der Arbeit entsprechen erreicht. Es sind die: „Theoretische Grundlagen“, „Konzept“ und „Anwendung“. Um Lösungswege für diese Ziele zu entwickeln, bedarf es zunächst den Stand der Forschung zu untersuchen. Dabei werden in den theoretischen Grundlagen die Aufgabenanalyse, Aufgabenmodellierung und die Charakterisierung der soziotechnischen Systeme und der menschlichen Fehler vorgenommen. Folglich wird ein neues Kommunikationsmodell für sicherheitskritische Systeme ausgearbeitet. Um das Konzept angemessen zu entwickeln, werden die Kommunikationsparameter im Hinblick auf die sicherheitskritischen Systeme detailliert untersucht. Das neue Kommunikationsmodell ist eine Erweiterung des Shannon-Weaver-Modells [Sha48]. Es bildet die Kommunikation als einen Prozess ab, der im Zeit-Raum-Kontinuum verankert wird. Des Weiteren wird das neue Modell anderen Kommunikationsmodellen gegenübergestellt, um die Angemessenheit des Modells zu überprüfen. Basierend auf dem neuen Kommunikationsmodell für sicherheitskritische Systeme wird eine Methodik zur Dokumentation und Analyse von Kommunikationsschwachstellen vorgestellt. Die Methodik erlaubt es, mittels strukturierten Vorgehens, die besonders gefährdeten Parameter der Kommunikationsvorgänge herauszukristallisieren. Darüber

hinaus wird mithilfe einer Heuristik eine quantitative und qualitative Beurteilung der Kommunikation möglich. Die Methodik wird anhand von Fallstudien verifiziert.

1.2. Aufbau der Ausarbeitung

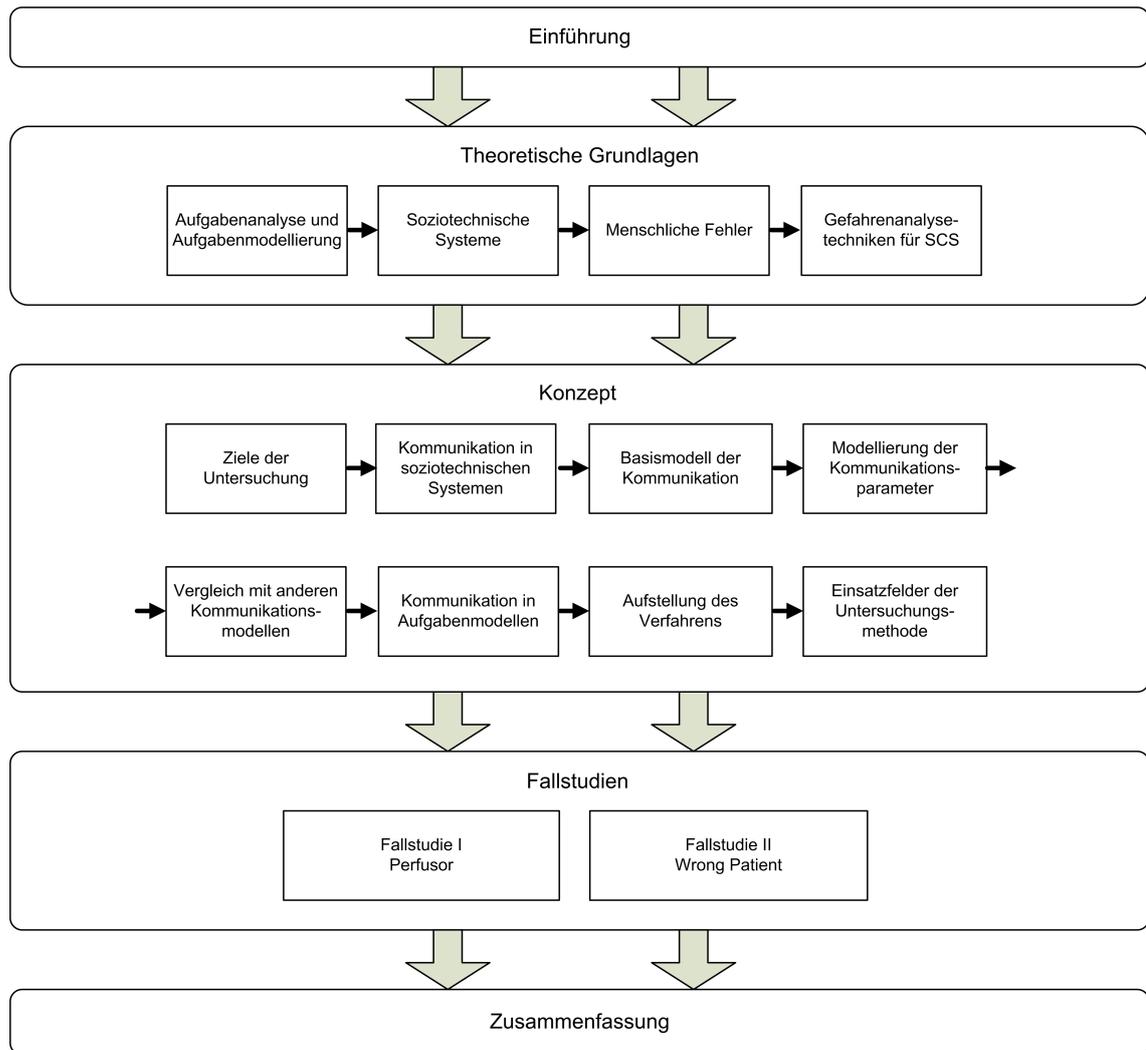


Abbildung 1.1.: Einordnung der einzelnen Kapitel

Der erste Teil der Ausarbeitung leitet in die Thematik der Dissertation ein.

Zuerst werden die Motivation und die Zielsetzung erläutert. Im Anschluss folgt die Übersicht über den Aufbau der Ausarbeitung.

Der zweite Teil gibt einen Überblick über die Grundlagen der Forschung und stellt damit die theoretische Grundlage der Ausarbeitung dar. Im Kapitel 2 werden die wichtigsten Ansätze der Aufgabenanalyse wie auch der Aufgabenmodellierung, die durch ihre themenrelevante Stellung das Themengebiet der Ausarbeitung essenziell tangieren, vorgestellt. Es werden mehrere Ansätze der Aufgabenanalyse untersucht, um zu prüfen, ob mit den vorhandenen Ansätzen eine geeignete Möglichkeit besteht, Aufgaben in sicherheitskritischen Systemen samt ihrer Kommunikationsvorgänge zu spezifizieren und letzten Endes zu analysieren.

Im Anschluss werden im Kapitel 3 die soziotechnischen Systeme charakterisiert. Ausgehend von der *Normal Accident Theory* wird der Einfluss der interaktiven Komplexität und der latente Zustände diskutiert. Darüber hinaus wird der Begriff der Sicherheit und des sicherheitskritischen Systems eingeführt und die Rolle der Sicherheitskultur in einer Organisation erörtert. Darüber hinaus werden Unfallkosten, die durch das menschliche Versagen in soziotechnischen Systemen verursacht werden, vorgestellt. Diese Kosten liefern eine weitere wichtige Begründung warum es wichtig ist Schwachstellen in derartigen Systemen zu minimieren.

Im darauffolgenden Kapitel 4 werden menschliche Fehlhandlungen vorgestellt und im Anschluss anhand von unterschiedlichen Taxonomien systematisiert. Unterscheiden lassen sich dabei erstens die ereignisbasierte Sicht, die sich auf das äußere Erscheinungsbild einer Fehlhandlung bezieht, zweitens die kognitionspsychologische Sicht und drittens die kommunikationsbasierte Sicht. Die Fehler der letzteren Sicht entstehen durch mangelnde oder fehlerhafte Anpassung von menschlichem Interaktions- und Kommunikationsverhalten.

Im letzten Kapitel des zweiten Hauptteils wird ein Überblick über die Gefahrenanalysemethoden gegeben. Dabei wird das Kapitel 5 in zwei Themenbereiche unterteilt. Im ersten Bereich werden Methoden zur Gefährdungsanalyse und im zweiten Bereich Methoden zur Unfallanalyse vorgestellt. Die ausgesuchten Beispiele zeigen Richtungen auf, in denen die derzeitigen Methoden entwickelt und eingesetzt werden.

Grundlage des dritten Teils der Dissertation bildet ein Aufgabenmodell mithilfe dessen ein Konzept, mit dem Kommunikationsvorgänge in einem geeigneten Rahmen modelliert und analysiert werden, erarbeitet wird. Vorab werden die Ziele definiert und im Anschluss systematisch das Konzept erarbeitet. Als Nächstes wird das Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver vorgestellt. Dieses Modell bildet die Basis für das Kommunikationsmodell, welches um zusätzliche Parameter erweitert wird, um deren Einfluss auf die Bildung von Kommunikationsfehlern in einem soziotechnischen sicherheitskritischen System untersuchen zu können. Die Parameter werden einzeln vorgestellt.

Nach dem Aufstellen des neuen Kommunikationsmodells wird die heuristische Methode für die Analyse der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen er-

arbeitet. Die Analyse besteht aus fünf aufeinander aufbauenden Schritten. Im ersten Schritt wird eine Klassifikation der einzelnen Kommunikationsvorgänge nach ihrer Kritikalität durchgeführt. Im zweiten Schritt erfolgt sukzessiv eine quantitative Beurteilung der festgelegten Kommunikationsparameter aus der Sicht des Senders und des Empfängers. Nach der quantitativen Analyse werden einzelne Parameter in jedem einzelnen Vorgang qualitativ beurteilt. Im Anschluss werden die Ergebnisse akkumuliert und ausgewertet. Es folgt eine Diskussion über mögliche Einsatzgebiete der Methode. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung.

Der vierte Teil beinhaltet zwei Fallstudien, anhand derer die im vorigen Teil erarbeitete Methodik evaluiert wird. Die erste Fallstudie ist das Ergebnis einer empirischen Studie, die der Autor auf einer Intensivstation eines Herzzentrums durchgeführt hat. Während der Beobachtungen ereignete sich ein Zwischenfall. Aufgrund unzureichender Kommunikation zwischen dem Arzt und einer Krankenschwester wurde eine elektrische Spritzpumpe falsch eingestellt und aktiviert.

Die zweite Fallstudie beschreibt einen Zwischenfall aus einer Klinik in den USA. Das Krankenhauspersonal verwechselte zwei Patientinnen, die einen ähnlichen Namen besaßen. Im Zuge dieser Verwechslung wurde beinahe eine Operation an der falschen Patientin durchgeführt. Das Vertauschen von Patienten wurde in dem Artikel *The Wrong Patient* von Mark R. Chassin und Elise C. Becher beschrieben [CB02].

Im fünften Teil der Arbeit erfolgt eine allgemeine Zusammenfassung. Die Ergebnisse der eingesetzten Methode liegen im Fokus der Betrachtung. Im Anschluss wird die Methode kritisch diskutiert und ein Ausblick auf die mögliche Weiterentwicklung aufgezeigt.

Teil II.
Theoretische Grundlagen

2. Aufgabenanalyse und Aufgabenmodellierung

Das folgende Kapitel stellt die wichtigsten Ansätze der Aufgabenanalyse wie auch der Aufgabenmodellierung vor, die durch ihre Stellung das Themengebiet der Ausarbeitung essentiell tangieren.

Im Folgenden werden mehrere Ansätze der Aufgabenanalyse untersucht, um zu prüfen, ob mit den vorhandenen Ansätzen eine geeignete Möglichkeit besteht, Aufgaben in sicherheitskritischen Systemen samt ihrer Kommunikationsvorgänge zu spezifizieren und letzten Endes zu analysieren.

Um einen Überblick über die bisherigen Ansätze zu gewährleisten, werden die Repräsentanten für die zugrundeliegenden Ansätze der Aufgabenanalyse und Aufgabenmodellierung betrachtet. Nach der Gegenüberstellung der Ansätze wird ein Fazit bezüglich der möglichen Anwendbarkeit im Bereich der Kommunikation von sicherheitskritischen Systemen vollzogen. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung ab.

2.1. Aufgabenanalyse

2.1.1. Ziele einer Aufgabenanalyse

Eine menschenzentrierte Entwicklung von Systemen, wird üblicherweise von Forschern aber auch Systementwicklern befürwortet. Auf dieser Art entwickelte Systeme erlauben den Menschen ihre Arbeitsziele besser zu erreichen, berücksichtigen physiologisch bedingte Einschränkungen und sind intuitiver und plausibler in ihrer Bedienung [PRS02b]. Eine Voraussetzung um diese Systeme entsprechend zu gestalten, ist ein klares Verständnis dessen, was die Aufgaben, die durch den Benutzer bewältigt werden sollen, sind und welche Eigenschaften die Aufgaben induzieren. Techniken der Aufgabenanalyse beinhalten Methoden um dies zu untersuchen und erleichtern damit die Entwicklung von neuen, wie auch den Umbau von bereits vorhandenen, oft komplexen Systemen.

Der Begriff der *Aufgabe* (*engl. task*) wird in der Literatur wissenschaftlich nicht streng definiert, sondern wird oft unterschiedlich ausgelegt. In dieser Ausarbeitung wird die folgende Definition von Shepherd [She01, S. 17] als passend übernommen. Demnach ist eine Aufgabe ein: „*set of things which compares a system goal, res-*

sources for accomplishing the system goal, including information and controls and a set of constraints on how the goal may be achieved using these resources“. Um eine Aufgabe in einem Modell abzubilden erfolgt zunächst eine Aufgabenanalyse.

Die Aufgabenanalyse ist ein Prozess, bei dem Informationen über Aufgaben, die von Menschen durchgeführt werden, gesammelt und ausgewertet werden um ein tiefgründiges Verständnis über diese zu erlangen. Oft wird dieser Prozess als eine analytische Untersuchung von einer oder mehreren Aufgaben bezeichnet um die Interaktion eines Benutzers mit einem System zu begreifen. Nach Diaper [DN04, S.14] erfasst der Aufgabenanalyseprozess *„methods of collecting, classifying, and interpreting data on the performance of systems that include at least one person as a system component.“*

Eine Analyse von Aufgaben und deren Abbildung im Modell kann nach Salvucci und Lee [SL03, S. 265] terminologisch in eine *High-Level* und *Low-Level* Ebene unterschieden werden. In dieser Ausarbeitung werden Aufgaben betrachtet, die nach dieser Klassifizierung im Minutenbereich liegen und so zu der *High-Level* Ebene gehören. Das dazugehörige Analyselevel eines Systems beschränkt sich nach Newell auf die Aufgaben und deren Unteraufgaben [New90].

Kirwan stellt das Erschaffen eines vollständigen Bildes der menschlichen Mitwirkung in den Vordergrund der Aufgabenanalyse. Dabei sollen alle Informationen beachtet werden die notwendig sind um die Analyse der Mitwirkung zu untersuchen [Kir94]. Bei Bedarf werden nicht nur die Einflussfaktoren des untersuchten Systems selbst betrachtet, sondern auch Parameter, die außerhalb des jeweiligen Systems liegen. Das Berücksichtigen von Einflussfaktoren außerhalb des Systems verbessert die Sicht auf mögliche Probleme und wertet damit die Analyse auf.

Obwohl alle Aufgabenanalysemethoden eine gemeinsamen Philosophie folgen und einer besseren Effizienz und Effektivität bei der Integration von Mensch-Maschine Elementen in der System-Entwicklung und im Betrieb dienen, unterscheiden sie sich bezüglich der Informationen, die im Fokus einer Methode stehen. Dies hängt vor allem von dem Ziel, das die jeweilige Evaluation beansprucht, ab und kann nach [KA92, S.2-3] in folgende Bereiche untergliedert werden:

Erhöhung der Sicherheit Einen besonderen Stellenwert besitzt die Aufgabenanalyse im Hinblick auf die Interaktion in sicherheitskritischen Systemen. Um Fehler in der Bedienung von sicherheitskritischen Systemen zu vermeiden ist es notwendig, Aufgaben mit allen wichtigen Parameter eines Systems zu untersuchen. Probleme mit unreifen und ungeeigneten Mensch-Maschine Schnittstellen können zu kritischen Situationen führen, die im Bereich der Luftfahrt oder Medizin menschliches Leben kosten können. So wird die Aufgabenanalyse eingesetzt, um bestimmte Probleme, die während der Ausführung von Aufgaben entweder bereits vorgekommen sind oder vorkommen können, aufzuspüren.

Verbesserung der Produktivität Aufgabenanalyse kann behilflich sein, wenn es

darum geht zu entscheiden, welche Prozesse automatisiert werden sollen. Dabei spielt die Bestimmung von Anforderungen eine wichtige Rolle die Art, und wie die Bediener für eine bestimmte Aufgabe trainiert werden sollen.

Verfügbarkeit Bei der Verfügbarkeit geht es vor allem um die Minimierung von Ausfallzeiten in bestehenden Systemen und die Identifikation von Anforderungen an die Systeminstandhaltung. Im Mittelpunkt steht dabei die Wartung von Arbeitssystemen und Unterstützungsinstrumenten eines Unternehmens.

Die weiteren sechs Unterbereiche umfassen Richtungen der Aufgabenanalyse, die punktuell eingesetzt werden können, um eine bessere Leistung eines Systems zu gewährleisten.

Allokation von Funktionen In diesem Bereich konzentriert sich die Aufgabenanalyse auf die Zuweisung und Verteilung von Funktionen auf Menschen und Maschinen in einem System. Die Zuordnung von Kontrollaufgaben eines Users mit der Rolle eines Operators spielt an dieser Stelle eine besondere Rolle.

Spezifikation von Personen und deren Rollen In diesem Zusammenhang geht es vor allem um die Definition der Charakteristika und die Anforderungen an die Fähigkeiten von Personal, das in der Lage sein soll bestimmte Aufgaben durchzuführen.

Organisation der Arbeit In diesem Fall geht es um die Organisation von Mitglieder eines Teams. Die Anforderungen an die Kommunikation, Allokation der Verantwortlichkeiten wie auch die Dynamik eines Teams muss in solchen Analysen besonders beachtet werden.

Aufgaben und Implementierung einer Schnittstelle An dieser Stelle werden Interaktionen zwischen Mensch und Maschine untersucht. Dabei spielt zum einen die korrekte Gestaltung der Darstellung von adäquaten Informationen an Displays eine wichtige Rolle. Zum anderen ist die Verfügbarkeit von Informationen, die für einen User wichtig sind, um Aufgaben korrekt auszuführen, von Bedeutung. Dies muss in regulären und besonderen Situationen gewährleistet werden.

Wissenserfassung In diesem Bereich steht vor allem die Gestaltung von Trainingseinheiten und Prozeduren für die Bedienung eines Systems im Mittelpunkt des Analyse.

Leistungssicherung In diesem Zusammenhang spielt die Beurteilung der Leistung und der Zuverlässigkeit anhand von retrospektiven Analysen, z.B. Beinahe-Unfällen, oder die Untersuchung mit prospektiven Analysen von Schwachpunkten in einem System eine besondere Rolle.

Während einer Aufgabenanalyse können mehrere Methoden verwendet werden, um entsprechende Informationen zu sammeln und auszuwerten. Im Bereich der Mensch-Maschine Kommunikation sind die Gegenstände der Betrachtung unter anderem die mit den Aufgaben zu erreichende Ziele, die Ausführungsreihenfolge, die Bedienungen, unter denen die Aufgaben durchgeführt werden, wie auch die involvierten Aktionen und Objekte. Wie bereits erwähnt wurde, es existieren verschiedenartige Methoden um eine Aufgabenanalyse durchzuführen. Einen guten Überblick über die Ansätze findet man z.B. in [Cha96], [DN04], [She01], [KA92] und [Nem04]. Die bekanntesten Richtungen bilden die ethnographische Studien, Fragetechniken, Interviews, Protokolle des lauten Denkens und vor allem die hierarchische und kognitive Aufgabenanalyse, die in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden.

2.1.2. Ethnographische Methoden

Ethnographie ist in Teilbereich der Ethnologie. Die Methoden der Ethnographie werden im Bereich der HCI genutzt um Merkmale, Eindrücke und Strukturen von Benutzergruppen während einer teilnehmenden Beobachtung systematisch zu beschreiben. Die Ursprünge vom praktischen Einsatz der ethnographischen Methoden im Design von Softwarelösungen kommen aus den frühen 80er Jahren des letzten Jahrhunderts [SJ07]. Die damaligen Entwickler stellten immer öfter fest, dass ihr eigenes Wissen über Systeme bei weitem nicht ausreichend war, um das tägliche Leben von Nutzern zu verstehen [BGMSW91]. Sie benötigten Methoden um unverfälschte Informationen systematisch zu sammeln. Um diese Randbedingungen zu erfüllen eignet sich die reflexive Forschung der Ethnographen.

Der große Vorteil der ethnographischen Methoden ist die Beobachtung direkt am Ort des Geschehens. Die Feldforschung erfolgt mittels Beobachtung und Befragung im natürlichen Kontext. So kann ein Ethnograph die Arbeitsumgebung direkt kennenlernen, die Bediener unbeteiligt beobachten, oder sich explizit etwas erklären und wenn nötig direkt simulieren lassen. Die Herausforderung, die dem Analysten dabei gestellt wird, ist das Behalten von Unabhängigkeit und Objektivität gegenüber dem untersuchten System, und als nächstes die Kommunikation der Ergebnisse an den Designer. So verbinden die ethnographischen Methoden Entwickler und Endbenutzer miteinander.

Werkzeuge, mit der ethnographische Untersuchungen durchgeführt werden, sind Feldnotizen, Protokolle, Tagebücher, aber auch multimediale Aufzeichnungen [SJ07, S. 971-974]. Vor allem Interviews und geschicktes Nachfragen sind die wichtigsten Arbeitsmittel eines Ethnographen. Es können auch Fragebögen eingesetzt werden. Dies muss jedoch durch eine Beobachtung ergänzt werden, da sich herausstellte,

dass das implizite Wissen eines Benutzers durch Fragebögen oft nicht ausreichend an andere kommuniziert wird [JDD93, S. 137].

Die Ergebnisse der ethnographischen Methoden können direkt im Softwaredesign verwendet werden. Die Designer bereichern mit den Ergebnissen ihre Vorstellung über die Nutzungssituation, und verbessern bisherige Modelle. Dank der besseren Darstellung der Arbeitssituation verbessert sich die Qualität der bisherigen Designvorschläge.

Während der Fallstudienherstellung, die auf einer Intensivstation im Herzzentrum Bad Oeyenhausen vom Autor durchgeführt wurde, vgl. 7.1, konnte diese Methode an einem realen Beispiel angewendet werden. Es hat sich, wie angenommen, herausgestellt, dass die Aufgaben des Krankenhauspersonals so automatisiert waren, dass die Schwäche der Ablaufstrukturen den involvierten Ärzten nicht bewusst war. Erst durch eine Beobachtung konnte der tatsächliche Aufgabenablauf modelliert werden.

2.1.3. Fragenbasierte Aufgabenanalyse

Die Aufgabenanalyse nach Rubinstein/Hersh beinhaltet zehn vorgegebene Fragen, um innerhalb eines strukturierten Interviews Informationen über das untersuchte System zu bekommen [RH90, S. 23-30]. Die Fragen decken die wichtigsten Bereiche eines Arbeitsbereiches ab, müssen jedoch nicht zwangsläufig als direkte Fragen an einen Arbeiter (Benutzer) gerichtet werden. Es ist möglich, die Fragen auch in Form eines Fragebogens vorzubereiten und einer Person, die mit dem zu untersuchenden System vertraut ist, ausfüllen zu lassen.

Die Antworten des Interviews sollten dabei aus zwei Sichten vom Benutzer erfolgen. Zum einen sollen die Befragten die aktuelle Situation beschreiben. Die Antworten bilden den Kern dieser Aufgabenanalyse und beschreiben den tatsächlichen Zustand der Arbeitsumgebung. Zum anderen sollen die gleichen Fragen beantwortet werden unter der Annahme, dass das bedachte System bereits eingeführt worden ist. Dies sind die Einschätzungen der befragten Person bezüglich eines möglichen neuen Systems.

Die Arbeitsumgebung aus heutiger und zukünftiger Sicht zu betrachten liefert Informationen über die Änderung eines Systems. Dadurch kann während der Analyse festgestellt werden, welche Aufgaben neu oder überflüssig sind oder im zukünftigen System anders gestaltet werden müssen. Mit neuen Aufgaben kann das Wissen des Benutzers nicht ausreichend sein und es muss vielleicht über ein Trainingsprogramm nachgedacht werden.

Bei Bedarf sollen die Struktur und der Inhalt der Fragen so angepasst werden, dass identische und überflüssige Fragen entsprechend vermieden werden. Die Fragen zeichnen sich durch ihren universellen Charakter aus, und können daher mit wenigen Anpassungen an unterschiedliche Arbeitsbereiche einer Organisation adaptiert werden. Folgende Übersicht soll einen Eindruck über die Art der Befragung geben:

- Wer ist der Benutzer des Systems?
- Welche Aufgaben führt der Benutzer (heute) durch?
- Welches Wissen braucht der Benutzer (heute), um seine Aufgaben durchzuführen?
- Wo und in welcher Umgebung wird die Aufgabe durchgeführt?
- Wie ist die Beziehung zwischen den Benutzern und den Daten?
- Welche anderen “Werkzeuge” hat der Benutzer zu Verfügung?
- Wie kommunizieren Benutzer miteinander?
- Wie häufig wird die Aufgabe durchgeführt?
- Wie sehen die Zeitschranken für die Aufgabe aus?
- Was passiert, wenn die Aufgabe falsch ausgeführt wird?

Während des Interviews wird versucht zuerst eine repräsentative Beschreibung eines Benutzers und seiner Rolle im System zu bekommen. Es wird dabei darauf geachtet, dass ein möglichst vollständiges Bild über die physische Eigenschaften, Behinderungen und das vorhandene Wissen derjenigen Person oder Gruppe beschrieben wird.

Es folgen mehrere Fragen zu den Aufgaben und der Umgebung, in der sie ausgeführt werden. Dabei wird darauf geachtet möglichst präzise die relevanten Aspekte über das untersuchte System herauszukristallisieren. Einer der Aspekte ist die Häufigkeit der Durchführung einer bestimmten Aufgabe. Tätigkeiten, die besonders oft durchgeführt werden, müssen im System möglichst optimal gestaltet werden um die meiste Verbesserung bei der Effizienz zu erreichen. Die letzten Fragen beziehen sich dann auf mögliche zeitliche Restriktionen des Systems und Sicherheitsaspekte der Tätigkeiten.

Die Fragetechnik nach Grässer besteht darin gezielte „Warum-“ und „Wie-Fragen“ zu stellen. Die Antworten liefern eine hierarchische Struktur der Teilaufgaben. Die Befragung ist halbstrukturiert und fängt mit einigen allgemeinen Einleitungsfragen an (z.B.: „Beschreiben Sie bitte generell was ihre Tätigkeit ist?“) um einen groben Überblick über die Tätigkeit zu bekommen.

Danach folgen Fragen, die es ermöglichen sollen genauere Informationen über das betrachtete System zu bekommen. Ziel ist es, Beziehungen zwischen den Teilzielen zu ermitteln um eine Aussage über die Anordnung in einer hierarchischen Darstellung der regulären, wie auch der alternativen Aufgaben zu erreichen. Zu beachten ist, dass die Antworten auf die „Warum-Fragen“ Informationen über den Zweck der

Aufgaben liefern. Die Antworten auf die „Wie-Fragen“, versorgen den Analysten mit Erkenntnissen über die Verhältnisse zwischen den einzelnen Aufgaben. Dies kann zum Beispiel die Reihenfolge der einzelnen Aufgaben sein. Das Ergebnis dieser Technik ist ein hierarchisch strukturiertes Modell eines Benutzeraufgabenbereichs.

Diese beiden Fragetechniken der Aufgabenanalyse lassen sich bequem mit anderen Analyseansätzen, wie *HTA* oder *GTA*, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden, kombinieren.

2.1.4. Hierarchische Aufgabenanalyse HTA

Die hierarchische Aufgabenanalyse (*engl. Hierarchical Task Analysis, HTA*) wurde in ihrem Ursprung für die Erstellung von Trainingsprogrammen für Bediener von beliebigen Systemen entwickelt. Sie wurde zuerst von Annett und Duncan im Jahre 1967 beschrieben [AK67]. Die Analyse stützt ihr Konzept an der Annahme, dass das menschliche Verhalten zielgerichtet ist, dass ihm eine hierarchische Strukturierung unterliegt, die wiederum mit Plänen, die die mögliche Reihenfolge der Aufgaben festlegen, verbunden ist. Das wichtigste Prinzip der HTA ist die Beschreibung eines Systems in Bezug auf seine Ziele.

Basierend auf dem Verhalten von Menschen bei einer Aufgabendurchführung erfolgt eine Untergliederung der Aufgaben und Ziele in Unterziele, weitere Unteraufgaben und Aktionen. Die Möglichkeit, die Reihenfolge und Bedienungen, unter denen die Aufgaben durchgeführt werden, zu analysieren, spielt neben der hierarchischen Struktur eine wesentliche Rolle. Sie gilt als eine der effizientesten und bekanntesten Analysemethoden [KA92, S.396] um relevante Aspekte von komplexen Aufgaben, solchen wie Planung, Diagnose oder Unterstützung von Entscheidungen während eines Geschäftsprozesses zu sammeln und zu präsentieren [AS01].

Da es in einem System unendlich viele Sachverhalte gibt, die untersucht werden können und Hypothesen, die aufgestellt werden können, ist es wichtig, eine Fokussierung auf die wesentlichen Aspekte während der Analyse vorzunehmen. Als erster Schritt der Analyse erfolgt die Identifikation von wesentlichen Zielen und als nächstes die Aufnahme von weiteren Unterzielen. Zwischen den Zielen und Unterzielen entsteht dabei eine hierarchische Ordnung mit Regeln, die die Reihenfolge der Unterziele bestimmen. Um ein Hauptziel zu erreichen, müssen zuerst seine Unterziele erreicht werden. Die zu beschreibenden Ziele beschränken sich nicht ausschließlich auf Aufgaben, die durch Menschen ausgeführt werden. Auch Aufgaben, die nicht von Menschen ausgeführt werden, können analysiert werden.

Die Granularität der Unterziele, die in die Analyse aufgenommen werden, richtet sich nach der Kosten-Nutzen Analyse. Das Kriterium der Aufnahme von weiteren Unterzielen in die Analyse richtet sich nach der Fehlerwahrscheinlichkeit P und den Kosten C , die Fehler verursachen würden. Ein Analyst sollte demnach so lange weitere Unterziele in die Analyse einbeziehen, bis die Kosten eines Fehlers akzeptiert werden können. Leider sind in den meisten Fällen die Kosten eines Fehlers nicht be-

kannt. Deswegen ist die *PxC* Regeln zum einen nur bedingt in der Praxis anwendbar [AS87], zum anderen ist sie für komplexe Aufgaben oft zu zeitaufwendig. So schlägt Piso eine Lösung vor, in der die Ziele so lange beschrieben werden sollen, bis ihre Bedeutung eindeutig für den Analysten und für den Systemexperten ist [Pis81].

Nach der Erstellung einer hierarchischen Struktur entstehen Pläne, die besagen, wie bestimmte Ziele im analysierten System erreicht werden. Pläne sind als Kontrollstrukturen zu verstehen, die erlauben, Bedienungen zu erfassen und bestimmen, wann Untererziele erreicht werden. Shepherd identifizierte sechs Typen von Plänen, die in HTA miteinander kombiniert werden können: *die feste Sequenz, die zufällige Sequenz, die Alternative, die optionale Ausführung, die nebenläufige Operationen und die Zyklen* [She01]. Es ist zu bemerken, dass solche Pläne eine komplizierte Form annehmen können, da sie je nach Komplexität eines Systems zusätzlich mit Ausnahmen oder weiteren systembedingten Entscheidungen kombiniert werden können [PRS02a].

Eine mögliche Darstellung des Ergebnisses einer hierarchischen Aufgabenanalyse zeigt die Graphik 2.1. Ebenso wie die Abbildung der Hierarchie, erarbeitete Annett [ADRG71] auch eine tabellarische Form der Darstellung. Diese wird vor allem dann genutzt, wenn mehrere Parameter samt deren Beschreibung miteinander verglichen werden sollen und eine weitere Analyse an die HTA angeknüpft wird.

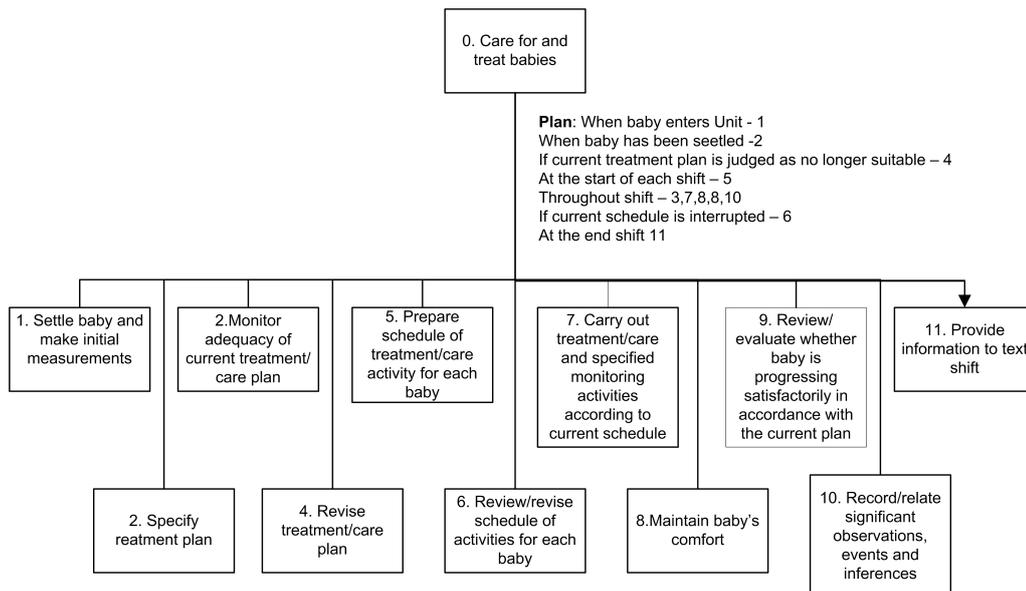


Abbildung 2.1.: Aufgaben, die bei Neugeborenen auf einer Intensivstation durchgeführt werden. Angelehnt an [She98, S. 1549]

Die HTA ist eine Analyse, die bei Designern von Mensch-Maschine-Schnittstellen einen praktischen Einsatz gefunden hat. In der Praxis wird sie in unterschiedlichen Formen im Entwicklungsprozess von Benutzerschnittstellen angewendet (z.B.

[Seb92], [VVL95], [SV99]). Sie erlaubt dem Designer eine schnelle Erfassung eines Systems zusammen mit seinen Zielen und den Operationen, die direkt als Aktivitäten des Benutzers analysiert und umgesetzt werden.

Hierarchische Aufgabenanalyse fand auch ihren Einsatz im Bereich der Untersuchung von sicherheitskritischen Systemen. Zum Beispiel um eine Basis für weitere Studien der Ergonomie vorzunehmen [Sta93]. Grundsätzlich gehen die Analysten bei der Untersuchung eines kritischen System analog zu einem normalen System vor, ihre Konzentration richtet sich jedoch auf die Wahrscheinlichkeit und die Kosten eines Systemausfalls oder der Untersysteme, die durch falsche Ausführung der einzelnen Aufgaben verursacht werden. Im Kapitel 3.3 wird die Problematik näher erläutert.

Vor- und Nachteile der HTA

Ein wesentlicher Vorteil der Analyse ist die Sparsamkeit bei der Informationssammlung und Organisation. Es werden keine aufwendigen Werkzeuge verwendet und die Methode selbst ist beliebig skalierbar, in dem sie auch auf Teilsysteme angewendet werden kann. Der Analyst kann sich dabei auf die kritischen Aspekte eines Systems konzentrieren und muss keine unnötigen Informationen sammeln. Dank dieser Flexibilität lässt sie sich problemlos mit anderen Analysen kombinieren. Ein weiterer Vorteil der *HTA* ist, dass sie gleichzeitig eine Analyseumgebung und ein praktisches Werkzeug für die Kooperation zwischen mehreren Experten bietet. Dies ist vor allem ihrem Bekanntheitsgrad zu verdanken.

Zu den Nachteilen der *HTA* gehören vor allem die nötige Erfahrung und das Wissen auf Seite des Analysten, die zuerst erlernt werden müssen, bevor Analyse erfolgreich durchgeführt werden kann. Vor allem das Herauskrystallisieren von Zielen erfordert ein tiefes Verständnis des zu untersuchenden Systems. Dies erscheint zuerst selbstverständlich, da die Analyse in einer Kollaboration mit Facharbeitern, Managern und Ingenieuren durchgeführt werden soll. Doch genau diese Personen sind schwer für eine Analyse zu gewinnen, da sie meistens äußerst beschäftigt sind.

Eine wesentlich jüngere Aufgabenanalyse als die *HTA* ist die *GTA*. Anders als die *HTA* konzentriert sich die *GTA* auf die Analyse von Aufgaben in Systemen mit ausgeprägter Gruppenarbeit und berücksichtigt damit wichtige Komponenten von heutigen kollaborativen Systemen.

2.1.5. Groupware Task Analysis GTA

Groupware Task Analysis (*GTA*) wurde von van der Veer, Lenting und Bergevoet entwickelt [VBB96]. Begründet wurde die Entwicklung durch die Notwendigkeit einer expliziten Auseinandersetzung mit der Umgebung, insbesondere für Anwendungen zur computergestützten Gruppenarbeit (Computer Supported Collaborative Work, CSCW) [Sha96], [Sch96]. Diese Situation entsteht da heutzutage nicht mehr davon ausgegangen werden kann, dass Computersysteme von einer einzigen Person

bedient werden, sondern meistens von einer Gruppe von Benutzern, die mit einem Computersystem interagieren und untereinander kooperieren.

Deswegen ist eine Fokussierung auf ein Individuum laut Shapiro [Sha96] nicht mehr angebracht und als Konsequenz, soll die Aufgabenanalyse eine tiefe Einsicht in die komplexen Aspekte einer Organisation liefern. Weiterhin sollen die situationsbezogenen Bedienungen für die Ausführung von Aufgaben und komplexe Zusammenhänge zwischen Aufgaben und Individuen, die unterschiedliche Rollen bekleiden, berücksichtigt werden.

GTA selbst ist keine formale Methode für die Beschreibung von Aufgaben, sondern vielmehr ein Framework um relevante Aspekte der Aufgaben für die Entwicklung von gruppenbasierten Aktivitäten zu spezifizieren [VWC02], [VW00]. Sie verfügt über Möglichkeiten auf Aktivitäten einer Gruppe zu fokussieren und diese zu analysieren. *GTA* basiert auf dem bereits erwähnten Ansatz der Computer Supported Cooperative Work (*CSCW*) Methode mit Schwerpunkt auf die Aktivitätstheorie und ethnographischen Methoden, die zum Sammeln von Informationen über Aufgaben genutzt werden [VML96]. Ein dazugehöriges Aufgabenmodell wird entwickelt mit Informationen über die aktuell durchgeführten Tätigkeiten eines Benutzers und nicht über Tätigkeiten die explizit getätigt werden um eine bestimmte Aufgabe zu erledigen. Dieser Ansatz birgt positive Aspekte in sich, bezüglich einer wahren Darstellung von Tätigkeiten. Er kann aber durch einen beobachteten Benutzer, der sich gekränkt fühlt, auch zu Verfälschungen neigen. Die Entwickler, die diese Methode anwenden, verzichten auf bereits fertige prozedurale Beschreibungen der Aufgaben, sondern konzentrieren sich auf die Beschreibung von Aufgaben durch direkte Eindrücke aus dem reellen Leben.

Die folgenden fünf Punkte fungieren oft als roter Faden, um eine Spezifikation der Aufgaben durchzuführen:

- Um eine Aufgabe zu beschreiben sollen zuerst Informationen über die momentane Situation, in der eine Tätigkeit erledigt wird, gesammelt werden.
- Der momentane Zustand am Arbeitsplatz, in dem die Aufgabe erledigt wird, soll samt Problemen und Konflikten modelliert werden.
- Anforderungen an das neue System oder dessen Prototyp samt Einschränkungen sollen erkundet und gesammelt werden.
- Nachdem ein neues System erstellt wurde, soll das neue System mit den organisatorischen Aspekten modelliert werden. Der Fokus soll dabei auf die technologischen Einschränkungen gelegt werden.
- Die neuen Aufgaben werden zusammen mit den organisatorischen Aspekten spezifiziert.

Bei der Erstellung eines Groupware-Systems ist es nötig, dass die Beschreibung eines solchen Systems sich nicht auf die Beschreibung von Aufgaben beschränkt, sondern weitere Aspekte der Aufgabenwelt beinhaltet, die in unterschiedlichen Stadien der Entwicklung stattfinden. Infolgedessen werden während der GTA zwei Aufgabenmodelle erstellt. Es wird zwischen einem *deskriptiven* und einem *präskriptiven* Aufgabenmodell unterschieden. Das erste Modell ist das Ergebnis der ethnographischen Untersuchung einer Groupware. Das präskriptive Modell beinhaltet Designentscheidungen, die bei der Analyse aufgrund von Problemen und Konflikten, die in dem deskriptiven Modell entdeckt wurden, im System verändert wurden.

Die Aufgabenmodelle werden in *GTA* unter Berücksichtigung von folgenden drei Aspekten erstellt: *Agenten*, *Arbeit* und *Situation*. Jeder von diesen Aspekten beschreibt die Arbeitswelt eines Systems aus einer anderen Perspektive. Diese Vorgehensweise erlaubt einem Designer in späteren Phasen der Entwicklung die Konstruktion eines Systems mit unterschiedlicher Sicht in die Problematik eines Systems zu unterstützen. Dies wiederum trägt dazu bei, Konsistenz und Vollständigkeit eines Ansatzes zu verbessern.

Agent Die erste Sicht des konzeptionellen Frameworks der *GTA* sind die *Agenten*.

Wie in anderen Ansätzen sind das sie einzelne Menschen oder Gruppen. Auch ein System kann als Agent fungieren. Falls die Agenten einen bestimmten Charakter im System bekommen sollen, werden ihnen Rollen zugewiesen. Analog zu der realen Welt können einem Agenten mehrere Rollen zugeordnet werden, und auch eine Rolle kann von mehreren Akteuren angenommen werden.

Arbeit An dieser Stelle wird die Aufgabe selbst samt Struktur und Relationen zwischen anderen Aufgaben untersucht. *GTA* erlaubt sowohl eine statische als auch eine dynamische Sicht auf die Tätigkeiten. Im Untersuchungsbereich der Arbeit bildet die *Aufgabe* das grundlegende Konzept. Es ist vorgesehen, dass mehrere Aufgaben das gleiche Ziel verfolgen können. Darüber hinaus unterscheidet die *GTA* zwischen Aufgaben und Aktionen unter Beachtung unterschiedlicher Komplexität. Die Aufgaben der untersten Ebene können dem *Unit Level* oder dem *Atomic Level* angehören. *Unit Level* zu den Aufgaben beschreiben Tätigkeiten, die von Menschen durchgeführt werden um ihre Arbeit zu tätigen. *Atomic Level* gehören dagegen Aufgaben, die durch Werkzeuge (technisches System) erledigt werden. Um ein Verständnis der atomaren Aufgaben im System zu erlangen ist es notwendig, diese zusammen im Kontext mit den komplexen Aufgaben zu betrachten.

Situation Die Beschreibung der situativen Aufgabenumwelt erfolgt durch die Analyse und Beschreibung der Umgebung zusammen mit den physischen, konzeptionellen und sozialen Parametern. Um die Organisation der Arbeit zu untersuchen wird die Beschreibung der Objekte aus der Umgebung des Systems zusammen mit ihren Relationen analysiert. So lässt sich beschreiben, wie die

Akteure miteinander interagieren und wie Objekte in deren Arbeit genutzt und manipuliert werden. Der Begriff des Objektes ist in diesem Ansatz breit gefasst. Es kann zum einen als ein Instrument, das die Aufgabenerledigung unterstützt, aber nicht ausschlaggebend für die Erledigung einer Aufgabe ist, gesehen werden. Zum anderen kann ein Objekt als Arbeitsgegenstand selbst wirken und damit essentieller Bestandteil einer Aufgabe sein.

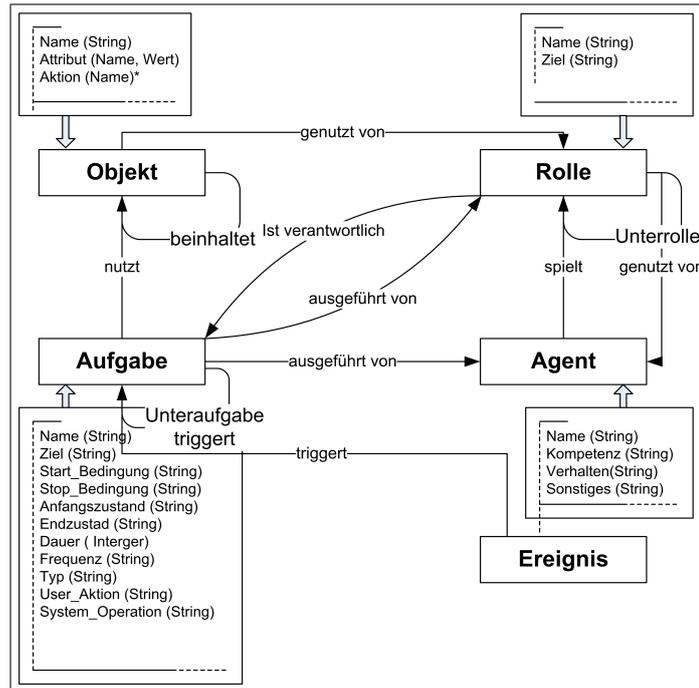


Abbildung 2.2.: Ontologie der Attribute der GTA. Angelehnt an [VWE98a]

Das Konzept der *GTA* wurde mit der Software *Euterpe* umgesetzt. *Euterpe* basiert auf einer Ontologie, die den Blick auf die Aufgabenwelt während einer Aufgabenanalyse beschreibt [VW99]. Sie ist die konzeptionelle Basis der Software. Die Ontologie definiert relevante Konzepte und Relationen und beschreibt, wie nötige Informationen und Attribute in der Modellierungsumgebung spezifiziert und strukturiert werden [VWE98b]. Ihre schematische Abbildung stellt die Graphik 2.2 dar.

Zu den Relationen gehört unter anderem die Relation *nutzt*. Sie beschreibt, welches Objekt von welcher Aufgabe gebraucht wird und wie die Nutzung erfolgt. Die Relation *triggert* ist die Grundlage um den Aufgabenfluss zu gestalten. Es wird mit ihr spezifiziert, wenn eine Aufgabe durch ein Ereignis gestartet wird. In diesem Ansatz werden verschiedene Trigger verwendet wie: *OR*, *AND*, *NEXT*.

Ein Agent wird über die Relation *spielt* mit dem Parameter Rolle verbunden, um zu spezifizieren, welche Rolle oder Rollen er im System bekleidet. Welche Aufgabe von einem Agenten ausgeübt wird, wird zwar mit der Relation *ausgeführt von*

spezifiziert, es ist jedoch nicht möglich festzustellen welche Instanz des Agenten diese Aufgabe genau ausübt. Dafür muss zuerst aus der relevanten Rolle die Instanz im Modell kreiert werden. Weiterhin kann die Verantwortung einer Rolle über eine Aufgabe mit der Relation *ist verantwortlich* geregelt werden. Auch der Gebrauch von Objekten wird eindeutig spezifiziert, indem die Relation *genutzt von* verwendet wird. So kann festgestellt werden, welches Objekt von wem gebraucht wird. Die Rollen zusammen mit den Zielen der Aufgaben werden in einer Hierarchie modelliert. Dies geschieht mit den Relationen *Unterrolle* und *Unterziel*. Damit lässt sich eine beliebige Granularität der beiden Parameter modellieren. Da die Aufgabe ein Ziel haben muss, ist selbstverständlich und wird mit der Relation *hat* spezifiziert.

Das vorgestellte Framework *GTA* mit seinen unterschiedlichen Sichten auf die Arbeitswelt erweitert die klassische Perspektive einer Aufgabenanalyse. *GTA* stellt mit seinem Ansatz eine wichtige Verbindung der Aufgabenanalyse zur computergestützten Gruppenarbeit dar. Die Darstellung der kooperativen Aufgaben ist auch eine der wichtigsten Funktionen des Frameworks. Das Werkzeug *EUTERPE* erlaubt einen praktischen Einsatz des Frameworks. Eine durchgeführte Aufgabenanalyse erlaubt bereits strukturelle Schwächen von Aufgaben, Unterschiede zwischen der formalen und tatsächlichen Durchführung von Tätigkeiten, ineffiziente Interaktionen in einer Organisation, Inkonsistenz bei Aufgabendurchführung wie auch Zuständigkeitsprobleme aufzudecken [VWE98b]. Ein anderes Konzept für das Bewerkstelligen einer Aufgabenanalyse bittet *GOMS*, indem die vor allem die Interaktion eines Benutzers eine zentrale Rolle spielt.

2.1.6. GOMS

GOMS ist ein Konzept, das zu einer methodischen Analyse von Aufgaben, die während einer Interaktion mit einer Benutzungsschnittstelle durchgeführt werden, genutzt wird. Zuerst wurde das Konzept von Card, Moran und Newell im Buch „The Psychology of Human-Computer Interaction“ im Jahre 1983 beschrieben [CNM83]. Das *GOMS*-Modell bindet erstmals eine psychologische Theorie der Mensch-Maschine-Interaktion in den Prozess des Softwareentwurfs mit ein. Mit dem Einsatz der Analyse, die auf empirischen Untersuchungen basiert, ist es möglich komplizierte und inkonsistente Bedienfolgen aufzuspüren und in späteren Phasen der Entwicklung zu beseitigen. Das Konzept ist zwar inzwischen in die Jahre gekommen, ist aber immer noch einer der bekanntesten theoretischen Ansätze im Bereich Mensch-Maschine Informatik. Die Idee des Konzepts ist ein *engineering model* menschlicher Leistungsfähigkeit, die nötig ist um eine bestimmte Aufgabe zu bewältigen, bereit zu stellen. Es erlaubt quantitative Vorhersagen über das Design zu treffen, inwieweit ein geschulter Nutzer eine bestimmte Aufgabe innerhalb eines Systems lösen kann und wie lange dies dauert [GK94], [GJA92]. Das Akronym *GOMS* steht für: ‘Goals, Operators, Methods and Selection Rules.

Ziele (*engl. goals*) beschreiben das, was ein Benutzer mit einem System innerhalb einer Aufgabe erreichen möchte. Eine klassische Definition dessen, was ein Ziel ist liefert Webster als „(...) *towards which effort is directed*“ [Web03]. Ziele werden oft in weitere Unterziele zerlegt, um eine bessere Struktur der Tätigkeiten zu bekommen. Damit bekommt die Gliederung der Ziele eine hierarchische Anordnung, was aber nicht in allen Facetten von *GOMS* Variationen zwingend notwendig ist.

Operatoren (*engl. operators*) sind atomare Aktionen, die eingesetzt werden, um das *Ziel* zu erreichen. Zu den Operatoren gehören perzeptuale Wahrnehmung, kognitive und motorische Handlungen. *Operatoren* verändern zum einen den internen mentalen Zustand eines Nutzers, zum anderen sind sie in der Lage den physischen Zustand eines Systems zu verändern. Ein wichtiger Parameter der *Operatoren*, der die Qualität der Vorhersage beeinflusst, ist die Ausführungszeit. Die Zeiten können auf Annäherungskonstanten, Wahrscheinlichkeitswerten oder Funktionsergebnissen basieren.

Methoden (*engl. methods*) stellen Sequenzen von Operatoren dar, die nötig sind, um ein *Ziel* zu erreichen. Welche *Methoden* einem Nutzer zur Verfügung stehen, legen die Funktionalitäten eines Systems fest. Ein *Ziel* kann mithilfe von mehreren *Methoden* im selben Modell, erreicht werden. Falls so ein Fall in einem Modell auftritt, werden *Auswahlregeln* genutzt.

Auswahlregeln (*engl. selection rules*) werden im *GOMS* Modell genutzt, um je nach Situation eine entsprechende *Methode* für die Aufgabendurchführung zu wählen. Die Regeln selbst werden subtil aus dem Kontext der Aufgabe erschlossen. Die *Auswahlregel* besitzt oft eine *Wenn-Dann* Form. Dabei beschreibt die linke Seite der Regel Bedingungen die erfüllt werden müssen, um die Regel zu feuern und eine entsprechende Aktion, die sich auf der rechten Seite der Regel befindet, durchzuführen.

GOMS wird geprägt durch eine vereinfachte Sicht auf die Interaktion des Benutzers mit dem Computer. Die ursprüngliche Variante *CMN-GOMS*, die in [CNM83, Kap. 5] vorgestellt wurde, verlangte eine strikte Goal-Method-Operation-Rule Struktur. Sie beinhaltet eine Hierarchie von Zielen und präsentiert Methoden in einer semi-formalen *pseudo-code* Notation mit Untermethoden und Bedienungen. Die einzelnen Schritte der Ausführung sind strikt sequenziell geordnet. Zusätzlich zu den erwähnten Elementen eines *GOMS* Modells wird in der *CMN-GOMS* Variante ein *Verify*-Operator verwendet. Er symbolisiert die mentale Überprüfung einer Interaktion mit dem System. Die Dauer der Ausführungszeiten der einzelnen Operatoren wurde von den Autoren in ihrem Buch vorgeschlagen [CNM83, S. 264]. Die Bearbeitungszeit einer Aufgabe wird durch die Aufsummierung der Ausführungsdauer von einzelnen Operatoren, unter Berücksichtigung der Zielhierarchie, berechnet. Die

ursprüngliche Präsentation von GOMS ließ genug Raum für weitere konzeptionelle Entwicklungen. So entstanden aus dem *CMN-GOMS* weitere Formen wie die: *KLM-GOMS*, *NGOMS* und *CPM-GOMS*, die im folgenden Abschnitt näher beschrieben werden.

KLM-GOMS

Eine simplifizierte Version des *GOMS* Modells stellt die *Keystroke-Level-Model* (kurz *KLM*) Version dar. Die Sicht der Interaktion vom Benutzer wird restriktiv auf sechs primitive *Keystroke* Operatoren verkleinert. Die bisherigen Bestandteile wie Ziele, Methoden und Auswahl von Regeln werden vernachlässigt. Um die Gesamt-Bearbeitungszeit einer Aufgabe zu berechnen, werden die sequenziell aufgelistete Zeiten der einzelnen Operatoren aufsummiert. Die Operatoren werden in sechs Gruppen unterteilt:

1. **Keying** steht für einen Tastendruck. Die Dauer hängt im Wesentlichen von der Schreibgeschwindigkeit eines Nutzers ab. Die durchschnittliche Geschwindigkeit wird mit $280msec$ berechnet.
2. **Pointing** steht für das Richten des Mauszeigers auf ein Ziel. Die geschätzte Dauer beträgt 1.1 Sekunden.
3. **Homing** wird für die Handbewegung z.B. zu der Tastatur oder Maus verwendet. Die geschätzte Dauer beträgt 0.4 Sekunden.
4. **Draw** bezeichnet das Zeichnen eines Linienabschnitts von einer Länge von 10 cm mit der Maus. Die geschätzte Dauer wird je nach Anwendung angepasst.
5. **Mental preparation** steht für eine Denkpause, die ein Nutzer braucht, um sich auf eine Aufgabe mental vorzubereiten. Die geschätzte Dauer beträgt 1.35 Sekunden.
6. **Response Time** ist die Antwortzeit des Systems und wird je nach System angepasst.

Die in den einzelnen Gruppen vorgeschlagenen Zeiten stammen aus empirischen Untersuchungen, die in [CNM83, Kap. 8] und [OO90] veröffentlicht wurden. Um eine Analyse mit dieser Variante von *GOMS* durchzuführen, werden dem Analysten zusätzlich mehrere einfache Heuristiken für die Anordnung der mentalen Operatoren zwischen den einzelnen Aktionen gegeben. Das *KLM* Modell erlaubt eine schnelle Abschätzung der Nutzzeiten eines Interfaces und ist trotz seiner Einfachheit dazu geeignet, die Effizienz von mehreren Benutzungsschnittstellen miteinander zu vergleichen. Die Trefferquote der abgeschätzten Zeiten beträgt laut [CNM83, S. 294] ca. 90%. Praktische Beispiele der Methode können in [JK96], [Kie01] gefunden werden.

Zu den Nachteilen der Methode gehört die Einschränkung, dass alle Aktionen in einer strikten Sequenz verlaufen und Verschachtelungen, Unterbrechungen von Zielen oder Parallelität von Aktionen eines Benutzers nicht berücksichtigt werden. Die Methode ist eher für die Untersuchung kleineren Modellen geeignet. Bei größeren Strukturen von Abläufen wird das Modell aufgrund fehlender Struktur zu komplex und unübersichtlich.

NGOMSL

Das Akronym *NGOMSL* steht für *Natural GOMS Language* und ist eine strukturierte Sprachnotation für Methoden und Auswahlregeln im *GOMS* Modell. Diese *GOMS* Variante wurde von Kieras und Polson Ende der 80er Jahre beschrieben [PK85], [BKP90b]. *NGOMSL* wurde entwickelt, um eine Notation des Modells mit einer möglichst natürlichen Sprache für deren Beschreibung zu definieren. Sie sollte einen hohen Grad an Zuverlässigkeit gewährleisten, ohne die in bisherigen *GOMS* Varianten syntaktisch bedingten Lasten. Das *NGOMSL* Modell beschreibt Interaktion mithilfe von Zielen, die sich in einer festen Hierarchie befinden; Methoden, Operatoren und Selektionsregeln. Anders als die bisherigen Analysemöglichkeiten von anderen *GOMS* Abwandlungen, welche die Ausführungszeit einer Aufgabe vorhersagen, können mit dieser Abwandlung des *GOMS* Modells auch die Zeiten für das Lernen einer Methode abgeschätzt werden.

Die Struktur des *NGOMS* Modells ist gegenüber der *CMN-GOMS* Variante präziser und formaler. Sie wird mithilfe einer Heuristik erstellt [Kie88]. Die Technik besteht aus einer *top-down, breadth-first* Erweiterung. Die Hauptziele werden dabei in Methoden bis zu den primitiven *KLM* Operatoren herunter gebrochen. Jede neue Ebene wird zunächst in die Breite konstruiert, d.h. bevor eine weitere Ebene untersucht wird, werden zuerst Ziele einer Ebene ermittelt. Diese Vorgehensweise hilft dem Analysten sich nicht in Details einer Prozedur zu verlieren und unterstützt das Aufspüren von gemeinsamen Methoden.

Die Ausführungszeiten einer Prozedur werden durch die Aufsummierung von Ausführungszeiten der genutzten Operatoren, unter Berücksichtigung der Zielhierarchie und der Selektionsregeln, berechnet. Zusätzlich zu der ermittelten Dauer wird für jede Produktionsregel eine 0.1 Sekunde addiert. Dies ist die Zeit, die ein Zyklus des kognitiven Prozessors benötigt. Diese Annahme kommt aus der kognitiven Komplexitätstheorie [KP99], [BKP90a], auf der die *NGOMSL* basiert. Die Theorie setzt einen vereinfachten, stufenartigen, seriellen Aufbau der Architektur voraus. Die Produktionsregeln sind in der Lage den Inhalt des Arbeitsgedächtnisses zu verändern oder führen die primitiven externen Operatoren durch. Die Bearbeitungszeit der Produktionsregeln wird in festen Größen definiert und sie werden vom Arbeitsgedächtnis aktiviert. Dabei verhält sich die Lernzeit für eine Methode (prozedurales Wissen) proportional zu der Summe der Lernzeiten der einzelnen Produktionsregeln. Dies ist die Grundidee der Berechnung von Lernzeiten, die bei Bedarf in eine reine

(*pure learning time*) oder ganze Lernzeit (*total learning time*), unterschieden werden [BK86]. Die dazugehörigen Zeiten wurden von Gong weiter untersucht und bestimmt [Gon93]. Produktionsregeln, die bereits in einem System gelernt worden sind, werden in der Abschätzung nicht mehr betrachtet [JK96], [Kie96]. Obwohl Analysen mit *NGOMSL* genutzt werden können um brauchbare Ergebnisse für Aufgaben auf einer abstrakten Ebene [KB91] zu gewinnen sind die quantitative Vorhersage von Lern- und Ausführungszeiten aussagekräftig, wenn die genutzten Methoden und Operatoren mit ihren Eigenschaften dem Benutzer bekannt sind.

Die zugrundeliegende kognitive Architektur verbessert zum einen die Qualität des Modells, zum anderen erfordert sie ausgearbeitete, komplette und präzise Methoden, inklusive wohlüberlegter Ziel- und Arbeitsgedächtnis-Manipulationen. Dies setzt vonseiten des Analysten ein Grundverständnis über die kognitiven Vorgänge voraus, was eine Barriere bezüglich des Nutzens der Methode bedeuten kann. Der praktische Einsatz der Methode wurde z.B. in [EM93], [GK94] beschrieben.

CPM-GOMS

Die *Cognitive-Perceptual-Motor-GOMS* (kurz *CPM-GOMS*) ist eine Analysemethode der GOMS Familie und wurde von Bonnie John entwickelt und in [BE88], [Joh90] beschrieben. Der Ansatz basiert auf dem *Model Human Processor* (kurz MPH) [CMN86]. MPH ist ein paralleles Multi-Prozessor Level Modell, mit dem die menschliche Informationsverarbeitung untersucht werden kann. Im Konzept von MHP können die Operatoren des kognitiven Prozessors, des perzeptuellen Prozessors und des motorischen Prozessors parallel arbeiten. Die einzelnen Prozessoren sind miteinander durch einen Informationsfluss verbunden. Dieser fängt mit dem wahrnehmenden Prozessor, der die Informationen erkennt und sie im Arbeitsgedächtnis abspeichert, an. Ein kognitiver Prozessor ist für die Verarbeitung der Informationen verantwortlich und erteilt dem motorischen Prozessor Befehle, die in körperlichen Aktionen münden. Die innere Struktur ist zwar sequenziell geordnet, die einzelnen Prozessoren sind jedoch in der Lage, mehrere unterschiedliche Aktionen gleichzeitig zu verrichten (z.B. gleichzeitig wahrnehmen und einen Knopf drücken).

Die geschätzte Zeit der Bearbeitung einer Aufgabe wird basierend auf der geschätzten Zeit der elementaren Operationen der drei Prozessoren berechnet. Der größte Vorteil der Variante liegt in der Fähigkeit das gelernte Verhalten unter Berücksichtigung von überlappenden Aktionen von verzahnten kognitiven, perzeptuellen und motorischen Operatoren, vorherzusagen. Dies kann jedoch zu überproportional optimistischen Ausführungszeiten führen, denn parallele oder verzahnte Ausführung ist zwar natürlicher, wird aber nicht während jeder Aufgabe konsequent durchgeführt [JK96, S. 23].

Während einer Aufgabenanalyse mit *CPM-GOMS* werden zuerst die Abhängigkeiten zwischen den Operatoren der einzelnen Prozessoren identifiziert und anschließend werden die Interaktionsschritte entsprechend der Aufgabe angeordnet.

2. Aufgabenanalyse und Aufgabenmodellierung

Die Operatoren inklusive deren Abhängigkeiten werden dafür in einem Zeitplan-Diagramm, einem, sogenannten PERT-Chart dargestellt. Dies ermöglicht eine detaillierte Darstellung einer Aufgabe. Ein Beispiel eines PERT-Charts, das mit der Software APEX konstruiert wurde, zeigt die Abbildung 2.3. Die Software wurde von der NASA erstellt, um automatische *CPM-GOMS*-Modelle zu unterstützen [JVM⁺02].

Neben APEX existieren auch weitere Softwarelösungen, die die unterschiedliche GOMS Varianten unterstützen. Dazu gehören unter anderem QGOMS [BSD96], CATHCI [Wil93], GLEAN [Kie95], CogTool [JPSK04] oder GOMSED [Wan02]. Die meisten Softwarelösungen wurden unter dem Gesichtspunkt von bestimmten Erweiterungen konzipiert und bis jetzt schaffte es keiner der Vertreter, eine Standardlösung im praktischen Design zu etablieren [BJB00].

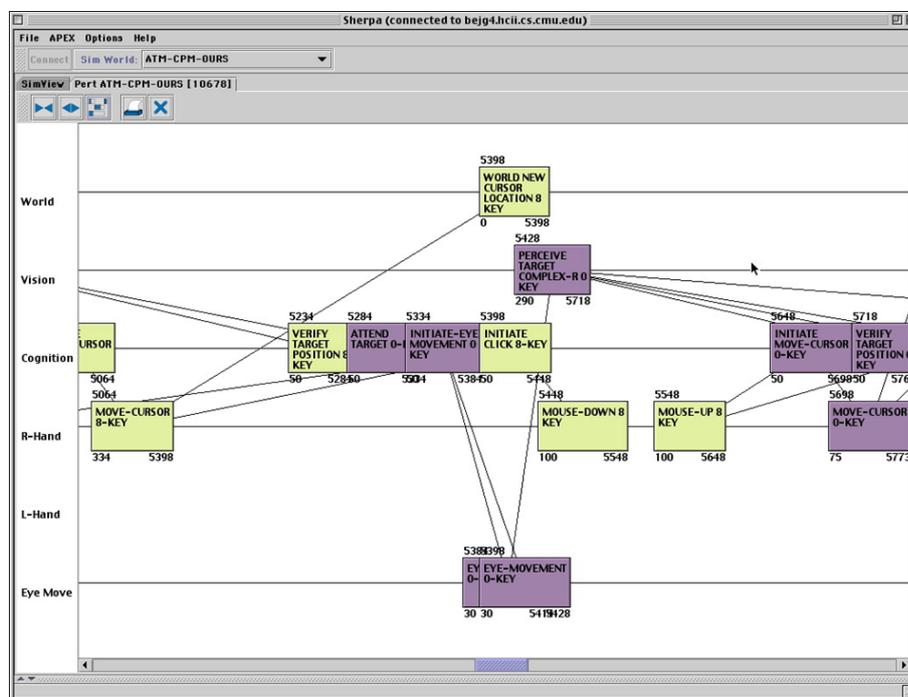


Abbildung 2.3.: Exrtahiertes PERT Chart aus dem PDL Code präsentiert in APEX.
Quelle: [JVM⁺02]

CPM-GOMS eignet sich besonders für die Modellierung von überlappenden Aktionen einer Aufgabe; bei strikt sequentiellen Aufgaben zeigen sich schnell die Grenzen dieser Methode. Für solche Aufgaben ist die *KLM* Variante die einfachere und liefert passable Ergebnisse. Desweiteren wird angenommen, dass der Benutzer sich mit der Oberfläche auskennt und weiß, wo er wann schauen soll. Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist der Aufwand mit dieser Technik zu arbeiten. Es wird verlangt, dass der Analyst ein gewisses Vorwissen über die Zusammenarbeit der Prozessoren besitzt. Dies bildet eine weitere Barriere für die Nutzung der Methode in der

Industrie. Trotz dieser Schwierigkeiten brachte der Einsatz von *CPM-GOMS* einer Telefongesellschaft jedes Jahr eine Ersparnis von 2 Millionen Dollar [GJA93].

Forscher, die die ersten *GOMS*-Modelle entwickelten, waren in den achtziger Jahren vom behavioristischen Konzept geprägt. Der Sachverhalt der behavioristischen Sicht wurde bereits im Jahre 1913 von John. B. Watson beschrieben [Wat13]. Demnach ist das Innenleben des Menschen nicht erfassbar und wird als eine *Blackbox* betrachtet. Das Verhalten des Menschen wird als Abfolge von Reizen und Reaktionen gesehen und mit einer *objektiven Methode* untersucht. Als Reize werden jegliche Veränderungen der Umgebung verstanden und auf diese sind dem Individuum mögliche Reaktionen auszuüben. Durch diese stark vereinfachte Sicht fehlte den Modellen am Anfang die Berücksichtigung der Eigenschaften vom Handeln eines Menschen. Dies änderte sich im Laufe der Jahre, in dem nach und nach die kognitive Forschung ihren Einsatz in HCI gefunden hat [Bor02]. Die Anfänge der Integration von Erkenntnissen aus der kognitiven Forschung in die Analyse von Aufgaben zeichnete das bereits vorgestellte *CPM-GOMS* Modell. Im weiteren Abschnitt wird kurz auf die Rolle der kognitiven Aufgabenanalyse eingegangen.

2.1.7. Kognitive Aufgabenanalyse

Die Bezeichnung *Kognitive Aufgabenanalyse* (engl. *Cognitive Task Analysis, CTA*) tauchte zum ersten Mal in den späten 70er Jahren auf und beinhaltete Ansätze zur Analyse von komplexen Aufgaben [Gal79]. In den 50er und 60er Jahren war das Interesse der Analysten auf Kontrollaufgaben in einem System gerichtet wie z.B. die Lenkung eines Flugzeugs. Erst mit der CTA wuchs der Wunsch Entscheidungsaufgaben zu untersuchen, die unter bestimmten Rahmenbedingungen in einem System auftreten [MH08].

Chipman u.a. stellen eine klare Verbindung zwischen der traditionellen Aufgabenanalyse, deren Methoden in dem ersten Teil des Abschnittes bereits beschrieben wurde, und der kognitiven Aufgabenanalyse her. Sie wird wie folgt definiert: „*Cognitive Task Analysis is the extension of traditional task analysis techniques to yield information about the knowledge, thought processes and goal structures that underlie observable task performance. (...) overt observable behavior and the covert cognitive functions behind it [to] form an integrated whole*“ [CSS00].

Die kognitive Aufgabenanalyse beschäftigt sich mit den intellektuellen (internen) Abläufen von Benutzern, die eine bestimmte Tätigkeit ausführen sollen. Dabei identifiziert sie optimale kognitive Prozesse und untersucht die Organisation des Wissens, automatische und repräsentative Fähigkeiten, Taktiken für das Lösen eines Problems, Entscheidungsstrukturen, wie auch Strategien für Planung und Überwachung der Leistungsfähigkeiten eines Systembenutzers [SRK97, S. 10-20].

Im Fokus der Untersuchung zur HCI liegen die Verbesserung der Effizienz und die Schwachstellenaufdeckung, die potentielle Fehlerursachen während einer Interaktion sein können [RBJY00]. Die Umorganisierung einer Interaktion erfolgt durch

eine geeignete Unterstützung von kognitiven Prozessen und Entscheidungen unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit eines Nutzers. Die kognitive Aufgabenanalyse untersucht anhand von geeigneten kognitiven Modellen die Wissensstruktur eines Menschen. Als Rahmen dienen hier häufig kognitive Architekturen wie ACT-R [LAB01] oder SOAR [LNR87], die ein generelles Wissensformat und grundlegende mentale Prozesse definieren. Als kognitive Aufgabenmodelle werden Modelle bezeichnet, mit denen die mentalen Prozesse und Wissensstrukturen beschrieben werden, über die ein Mensch verfügt, um eine Aufgabe durchzuführen. Unterstützt wird die Annahme durch Theorien wie die *TKS (Task Knowledge Structure)* [JJWS88], die davon ausgeht, dass die innere Wissensstruktur eines Systemnutzers seiner Aufgabenstruktur entspricht.

Das menschliche Verhalten wird dabei mithilfe von kognitiven Architekturen, die als softwaretechnische Implementierung vorliegen, simuliert, um daraus Aussagen über Erlernbarkeit von Benutzungsschnittstellen, Transfer und Organisation von Wissen, aber auch Gedächtnisbelastung und Fehlervermeidung in einer komplexen und dynamischen Arbeitsumgebung zu erlangen.

Die Ansätze der klassischen wie auch der kognitiven Aufgabenanalyse sind nicht unumstritten. Suchman zum Beispiel kritisiert solche Vorgehensweisen und argumentiert, dass ein umfassendes Verständnis von menschlichen Aktionen weder durch rein ethnographische Methoden der Beobachtung, noch aufgrund des Benutzerwissens vollständig aufgedeckt werden kann [Suc87]. Die Kritik richtet sich vor allem gegen die Vernachlässigung des situativen Parameters einer Aufgabe, der zur Charakterisierung zusammen mit dem beobachtbaren Verhalten und dem mentalen Zustand der handelnden Person in den gegenseitigen Beziehungen zueinander für die Aufgabenanalyse herangezogen werden soll. Eine weitere Kritik, die an die kognitive Aufgabenanalyse gestellt wird, ist der hohe Aufwand, der betrieben werden muss, um solche Analysen durchzuführen.

Trotz dieser und weiterer Kritikpunkte, wie etwa Validierungs- [Hal07] oder Falsifizierungsprobleme [Wex78] der kognitiven Architekturen, spielt deren Einsatz in der Sicherheitsanalyse und dem Design von sicherheitskritischen Systemen eine wichtige Rolle [Cac98]. Erfolgreiche Beispiele liefern [SRK97] oder [LUJ05] aus der Luftfahrt und [Mag08] oder [JLR08] aus der Medizin.

2.2. Aufgabenmodellierungsansätze

Aufgabenmodellierung beschäftigt sich mit dem Modellieren von relevantem Wissen eines Systembenutzers. Dies bezieht sich auf Systeme, die bereits existieren oder sich erst im Entwurfsstadium befinden. Im folgenden Abschnitt werden Ansätze vorgestellt, die sich damit beschäftigen, wie solches Wissen modelliert, strukturiert und dokumentiert werden kann.

Aufgabenmodellierung transformiert während einer Aufgabenanalyse die gesam-

melten benutzerrelevanten Informationen in strukturierte Teile des Aufgabenwissens. Diese Transformation ist nötig, um das Aufgabenwissen so abzubilden, dass es für das Systemdesign verwendet werden kann.

Nicht selten gehören Aufgaben, die untersucht werden sollen zu komplexen Systemen, deren vollständige Erfassung mehrere Repräsentationen benötigt. Mit unterschiedlichen Sichten ist es möglich diverse Facetten von Aufgaben und deren Umgebung abzubilden. Deswegen ist es auch von Vorteil unterschiedliche Repräsentationen des Aufgabenwissens zu verwenden. Vor allem bei einer Analyse von komplexen Systemen ist die Darstellung wie auch Beherrschung der Komplexität ein bedeutender Faktor. Idealerweise wird eine Sammlung von Repräsentationen eines Systems, die alle wichtigen Aspekte und Sichten besitzen, einem Systemdesigner zur Verfügung gestellt. Auf Basis dieser Informationen kann dann ein System neu- oder umgestaltet werden. Diese Anforderung kann jedoch schnell zu unübersichtlichen Ansätzen führen. Vor allem dann, wenn es zu Überlappungen und damit zu unübersichtlichen Repräsentationen eines Systems kommt [Wel01, S. 47-63]. Ergebnisse solchen Vorgehens sind impraktikable Methoden zur Spezifikation von Aufgabenwissen.

In der Praxis werden intelligente Lösungen, die mit einer kleinen Sammlung von möglichst nicht überlappenden Sichten zur Dokumentation des Aufgabenwissens auskommen, gefordert. Eine der Möglichkeiten den Anforderungen gerecht zu werden, ist die Verwendung von hierarchischen Aufgabenmodellen. Hierarchische Aufgabenmodelle werden eingesetzt, um eine möglichst korrekte und vollständige Spezifikation der Aufgaben zu liefern. Bei der Modellierung erfolgt die Strukturierung und Visualisierung von Aufgaben. Das Ergebnis besteht aus einer Instanz eines Aufgabenmodells.

Existierende Aufgabenmodellierungsansätze (z.Bsp. [BG07], [BBS99a], [LPVL02], [GFC02], [SP04], [MS07]) erlauben durchweg die Spezifikation der Gliederung von Aufgaben in Unteraufgaben und deren relative zeitliche Anordnung. Es entsteht eine Aufgabenhierarchie, die eine detaillierte Beschreibung der Erledigung einer komplexen Aufgabe durch einen oder mehrere menschliche Benutzer darstellt. Aufgabenmodelle werden als semi-formale Strukturen charakterisiert, da sie formal definierte Strukturen (Hierarchie, temporale Relationen) in Beziehung setzen zu informalen Elementen (die Beschreibung der eigentlichen Aufgaben und manipulierten Objekten).

Aufgabenmodelle werden in frühen Phasen des Systementwurfs eingesetzt, [PLVL03], beim User Interface Entwurf [Pue96], [SLN92], Projekt Mefisto¹ aber auch zur Analyse und dem Entwurf von Abläufen an industriellen oder administrativen Arbeitsplätzen [SP04], [CGS⁺08]. Die Ansätze unterscheiden sich im wesent-

¹The MEFISTO (Modelling, Evaluating and Formalising Interactive Systems using Tasks and interaction Objects) Projekt wirkte bei der Gestaltung von Benutzeroberflächen für sicherheitskritischen interaktive Systeme unter besonderer Berücksichtigung der *Air Traffic Control*, (ATC) Anwendungen. Quelle: <http://giove.isti.cnr.it/projects/mefisto/Overview.html>

lichen bezüglich der Möglichkeiten, Aufgaben oder darin Aufgabenbearbeitung mit ergänzenden Informationen zu versehen: Dies betrifft etwa die Möglichkeit, Rollen oder Akteure, die manipulierten Objekte, zusätzliche Vorbedingungen für Aufgaben, Effekte von Aufgaben auf die Umgebung oder auch den Informationsaustausch zwischen Aufgaben bzw. den beteiligten Akteuren festzulegen. In der Literatur können weitere Parameter in Schablonen (*engl. templates*) gefunden werden, welche ein Aufgabenmodell beinhalten kann [COU+94], [GGMA09].

Ein wichtiger Teil der Ausarbeitung beschäftigt sich mit der Frage nach einer Erweiterung von hierarchischen Aufgabenmodellen. Die Anforderungen, die an solche Erweiterung gestellt werden, sind die Strukturierung und Spezifikation von Informationen zur Aufgabenanalyse von soziotechnischen sicherheitskritischen Systemen. Deswegen werden im folgenden Abschnitt ausgewählte Ansätze zur Modellierung von hierarchischen Aufgabenmodellen vorgestellt, um ihre Zweckmäßigkeit für solche Systeme zu untersuchen.

2.2.1. CTT

Eines der bekanntesten Ansätze der hierarchischen Aufgabenmodelle ist das *Concure Task Trees (CTT)* Modell. Das *CTT* wurde in der Arbeitsgruppe von Fabio Paterno am Institute of Information Science and Technologies in Pisa ISTI-CNR² entwickelt. Das Ziel der Entwicklung war eine wohldefinierte, aufgabenzentrierte Notation, welche eine Beschreibung von Benutzerschnittstellen in unterschiedlichen Phasen der Systementwicklung, gewährleistet [PMM97].

Die ersten Ansätze der Modellierung wurden inspiriert durch die Spezifikationsprache *LOTOS (Language Of Temporal Ordering Specification)* [BB87]. *LOTOS* ist eine formale Sprache, die Zustandsveränderungen und das ereignisgetriebene Verhalten eines Systems zu beschreiben erlaubt.

Zu der *CTT* Notation existiert auch eine intuitive graphische Modellierungsumgebung *Concure Task Trees Environment (CTTE)* [GFC02], welche eine leicht verständliche Präsentation der aufgabenwichtigen Informationen ermöglicht. Die Notation selbst zeichnet sich durch ihre Flexibilität aus, mit der es möglich ist, Benutzer-, System- und Interaktionsaufgaben mit verschiedenen temporalen Relationen und Vorbedingungen zu versehen. Eine besondere Stärke des Ansatzes ist die Fähigkeit kooperative Aufgabenmodelle zu konstruieren.

Elemente von CTT-Modellen

CTT basiert auf folgenden fünf Konzepten: *Aufgaben*, *Objekte*, *Aktionen*, *Operatoren* und *Rollen*. Die *Aufgaben* zählen zu den Hauptelementen eines *CTT*-Modells. Es gibt vier unterschiedliche Aufgabentypen: *Benutzeraufgaben*, *Anwendungsaufgaben*, *Interaktionsaufgaben* und *abstrakte Aufgaben*. Die *Benutzeraufgaben* beschreiben

²ISTI-CNR <http://www.isti.cnr.it>

Tätigkeiten, die von den Benutzern ausgeführt werden. Sie werden zum Beispiel in Situationen gebraucht, in denen eine kognitive Aktivität wie *Denken über eine Lösung nach*, modelliert werden soll. Mit den *Anwendungsaufgaben* werden Aufgaben beschrieben, die ganz von einem System übernommen werden. Wie zum Beispiel *Berechnungen in einer Datenbank*. Die *Interaktionsaufgaben* bezeichnen Aufgaben, die während einer Interaktion mit dem System passieren, zum Beispiel das Drücken eines Interaktionselements auf einer Oberfläche. Die letzte Gruppe der Aufgaben bilden die *abstrakten Aufgaben*. Es sind Aufgaben, die bei der Modellierung nicht eindeutig einer Gruppe zugeordnet werden können oder sollen. Ein Grund dafür kann unter anderem die Abstraktionsebene einer Aufgabe sein.

Jede Aufgabe wird mit einem eindeutigen Namen versehen. Im *CTT* Modell dürfen Aufgaben nicht gleich benannt werden. Diese Restriktion erweist sich in der Praxis als störend, da es durchaus Systeme gibt, in denen gleiche Aufgaben in unterschiedlichen Teilsystemen mehrfach vorkommen. Bei der Modellierung jedoch ist es notwendig solche Aufgaben entsprechend umzubenennen.

Im *CTT* Modell ist es möglich *Objekte* zu definieren. Objekte sind Einheiten, die durch *Aktionen* der Aufgaben manipuliert werden. Aufgrund der Manipulation ändern sie den derzeitigen Zustand. *CTT* bitte die Möglichkeit zwischen zwei Arten von Objekten zu unterscheiden. Es gibt die *Benutzungsschnittstellen-* und die *Applikationsobjekte*. Zu den Objekten einer Mensch-Maschine Schnittstelle gehören zum Beispiel Buttons und Menüs. Diese sind sogenannte wahrnehmbare Objekte. Die Applikationsobjekte gehören zu einer Applikation, es sind sogenannte interne Objekte, als Beispiel sei hier eine Applikationsdatenbank benannt.

Ein Objekt besitzt mehrere Attribute, die der eindeutigen Spezifikation dienen. Zu den Attributen gehören: *Objektname*, *Klasse*, *Zugriffsmodus*, *Kordialität* sowie die *Ein- und Ausgabe-Aktionen*. In einem *CTT* Modell existieren keine semantischen Verbindungen zwischen den Objekten und dem Modell selbst. Der Ansatz verfügt über kein eigenes Objektmodell in dem Zusammenhänge zwischen den einzelnen Objekten spezifiziert werden können.

Ähnlich den Objekten werden auch die Vorbedingungen einer Aufgabe informal im Modell definiert. Auch in diesem Punkt ist es Aufgabe des Benutzers, die Einhaltung der jeweiligen Vorbedingungen sicherzustellen, da keine logische Überprüfung der Zusammenhänge zwischen den Vorbedingungen und den Aufgaben stattfindet. Dies kann zu Inkonsistenzen im Modell führen [MZ05].

Um eine eindeutige Reihenfolge in der die Aufgaben im Modell ausgeführt werden zu gewährleisten, verfügt *CTT* über temporale Operatoren. Die Operatoren legen die Reihenfolge von benachbarten Aufgaben der gleichen Dekompositionsebene eines Modells fest. Sie wurden formal definiert und für Verifikationszwecke in die *LOTOS*-Notation transformiert [PS03]. Eine vollständige Auflistung der temporalen Operatoren, die in *CTT* verfügbar sind, beinhaltet die Tabelle 2.1. Des Weiteren liefert *CTT* weitere zeitliche Attribute einer Aufgabe mit denen es möglich ist, Aussagen über die Frequenz, in der eine Aufgabe verwendet wird und die minimale,

maximale wie auch durchschnittliche Ausführungszeit zu spezifizieren [GFC02, P. 802].

Bezeichnung	Symbol	Beschreibung
Unabhängige Nebenläufigkeit	$T1 T2$	Aktionen, die zu zwei unabhängigen Aufgaben gehören. Aufgaben werden in einer beliebigen Reihenfolge durchgeführt.
Auswahl	$T1\boxed{}T2$	Es ist möglich zwischen den Aufgaben zu wählen. Es wird nur eine Aufgabe ausgeführt.
Nebenläufigkeit mit Informationsaustausch	$T1 \boxed{} T2$	Aufgaben werden nebenläufig ausgeführt, müssen sich aber zwischendurch synchronisieren, um ihre Informationen auszutauschen.
Deaktivierung	$T1 > T2$	Aufgabe $T1$ wird deaktiviert, wenn die erste Aktion von $T2$ ausgeführt wird.
Freigabe (Sequenz)	$T1 \gg T2$	Die Ausführung von $T2$ ist erst nach der Ausführung von $T1$ möglich.
Freigabe mit Informationsaustausch	$T1\boxed{} \gg T2$	Die Ausführung von $T2$ erfolgt nach $T1$, zusätzlich kommt es zum Informationsaustausch.
Unterbrechung	$T1 > T2$	$T2$ kann die Aufgabe $T1$ blockieren, bis sie selbst ausgeführt wird, dann kann $T1$ wieder aktiviert werden.
Iteration	T^*	Iteration bedeutet, dass eine Aufgabe immer wieder von Anfang an ausgeführt wird, bis sie von einer anderen Aufgabe unterbrochen wird.
Endliche Iteration	$T(n)$	Die Schritte der Iterationen sind bekannt und werden mit einer ganzen Zahl gekennzeichnet.
Optionale Aufgabe	$[T]$	Die Aufgabe mit dieser Relation kann, aber muss nicht ausgeführt werden. Die Ausführung ist optional.

Tabelle 2.1.: Temporale Operatoren in CTT, angelehnt an [GFC02, S. 812]

Aufgabenmodellierung mittels CTTE

Die Modellierung eines hierarchischen Aufgabenmodells mittels *CTTE* (siehe Abbildung 2.4) geschieht in drei Schritten [Pat99]. Im ersten Schritt erfolgt eine logische Dekomposition der Hauptaufgabe. Dabei wird die Wurzelaufgabe in einer hierarchischen Struktur aus Unteraufgaben bis auf einzelne Aktionen verfeinert. Als Ergebnis entsteht eine baumähnliche Struktur. Im nächsten Schritt werden die temporalen Operatoren zwischen Aufgaben auf derselben Abstraktionsebene identifiziert. Im

letzten, dritten Schritt werden Objekte identifiziert und den Aufgaben hinzugefügt.

Simulator und Szenarien in CTTE

Ob nach der Modellerstellung die richtigen temporalen Relationen zugeordnet wurden und ob das Modell den Vorstellungen des Designers entspricht, kann mit dem Simulator überprüft werden. Der eingebaute Simulator im CTTE ermöglicht eine schrittweise Betrachtung des Aufgabenmodells. Das Konzept (*Enabled Task Sets* [GFC02]) sieht vor, dass dem Benutzer eine Menge von Aufgaben, die in einem Modell gerade als ausführbar zur Verfügung gestellt werden, präsentiert werden, die dann von ihm zur Ausführung frei gegeben werden. Währenddessen wird das Verhalten des Modells auf mögliche Inkonsistenzen gegenüber der Spezifikation semi-automatisch überprüft. Darüber hinaus können, während ein Benutzer ein Modell interaktiv inspiziert, Anforderungen an die Interaktionselemente einer Applikation im Vorfeld überprüft werden.

Der Designer wählt eine auszuführende Aufgabe und ermittelt mithilfe des Simulators, welche Aufgaben aus der Menge der Aufgaben als nächstes ausgeführt werden können. Die Auswahl wird durch die im Modell verankerten temporalen Relationen der Aufgaben festgelegt. Durch dieses Vorgehen lassen sich bereits vorbereitete Szenarien durchspielen und neue Szenarien für weitere Untersuchungen abspeichern. Neben dem Simulator beinhaltet der Editor eine Erweiterung, mit welcher der Benutzer eine Erreichbarkeitsanalyse durchführen kann. In dieser Analyse des Modells wird überprüft, ob von einer festgelegten Startaufgabe eine mögliche Ausführung entlang eines vorgegebenen Pfades existiert.

Kooperative Modelle

Aufgrund der fortschreitenden Wichtigkeit von Aufgaben, die in Gruppen abgewickelt werden, bietet CTTE die Möglichkeit einer Modellierung von kooperativen Aufgaben. Eine kooperative Aufgabe ist eine Aufgabe, die Aktivitäten von mehr als einem Nutzer des Systems erfordert. Dieser Sachverhalt wird in den kooperativen Modellen dargestellt. Sie bieten die Möglichkeit die Aufgaben aus zwei verschiedenen Perspektiven zu betrachten. Die erste Perspektive ist die Sicht auf die einzelnen Rollen, die zweite ist die globale Sicht auf alle Rollen mit dem globalen Ziel einer Oberaufgabe. Die Idee dabei ist es, jeder einzelnen Rolle ein eigenes Aufgabenmodell zuzuordnen, welches Aufgaben dieser bestimmten Rolle spezifiziert. Die Kooperation der einzelnen Rollen (Benutzer) wird dann mithilfe eines zusätzlichen Modells mittels kooperativer Aufgaben dargestellt. Diese Kategorie von Aufgaben wird genutzt, um in einem Aufgabenmodell zu markieren, dass eine bestimmte Aufgabe von mehreren Rollen bearbeitet wird.

Zu den Vorteilen einer solchen Darstellung gehört die Übersichtlichkeit im Modell. Jede Rolle kann separat betrachtet werden. Der Informationsaustausch zwischen den

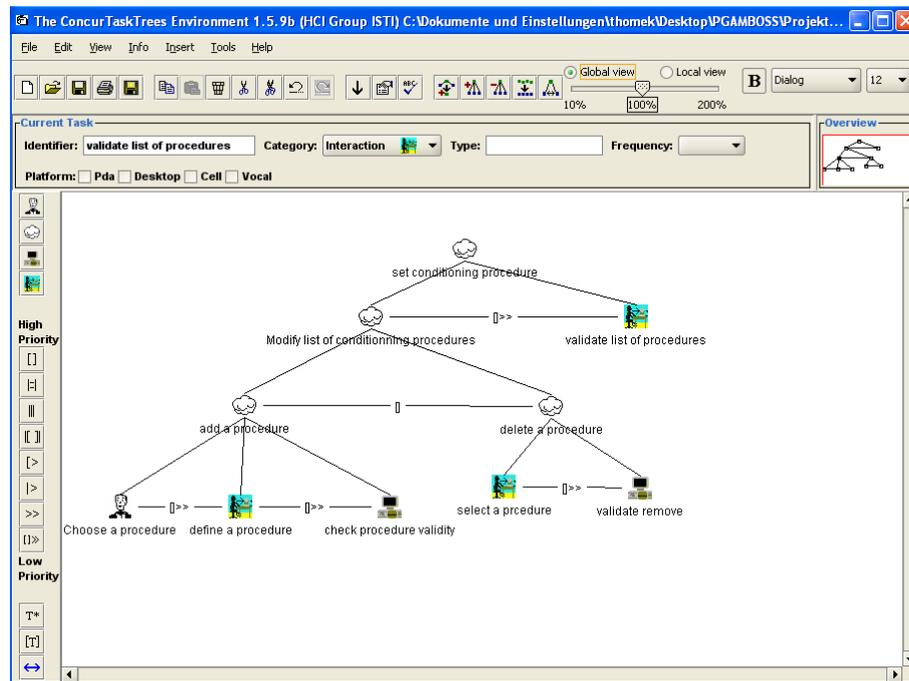


Abbildung 2.4.: Aufgabenmodell eines Sattelitenkontrollraum in der Notation von CTTE (Ausschnitt)

einzelnen Rollen kann leicht nachvollzogen werden.

2.2.2. VTMB

Der *Visual Task Model Builder (VTMB)* ist eine Modellierungsumgebung, um hierarchische Aufgabenmodelle interaktiv zu erstellen [BBS99a], [BBS99b]. Die Modellierungsumgebung ermöglicht die Erstellung von hierarchischen Aufgabenmodellen zusammen mit einer Objektstruktur. Die Objekte bilden das Systemverhalten ab und steuern zusammen mit den temporalen Relationen und Bedienungen das Modell. *VTMB* verfügt über einen Simulator.

Anders als in *CTT* wurden in *VTMB* die temporalen Operatoren, die die Ausführungsreihenfolge von Aufgaben steuern, jeweils im Vaterknoten des Modells verankert. Ein temporaler Operator steuert damit die Ausführungsreihenfolge von allen direkten Söhnen eines Vaters, die sich auf der nächst niedrigeren Abstraktionsebene befinden. Die Tabelle 2.2 zeigt die verfügbaren temporalen Operatoren von *VTMB*.

Bezeichnung	Beschreibung
Unrestricted	Beliebige Reihenfolge von Aufgaben.
Sequence	Alle Aufgaben müssen nacheinander ausgeführt werden.
Random Sequence	Ausführung erfolgt strikt nacheinander, aber in beliebiger Reihenfolge.
Parallel	Alle Aufgaben werden parallel in beliebiger Startreihenfolge ausgeführt.
Selection	Es wird genau eine Aufgabe aus mehreren Unteraufgaben ausgewählt.

Tabelle 2.2.: Temporale Operatoren in *VTMB*

Zusätzlich zu den temporalen Beziehungen werden die Aufgaben durch Vor- und Nachbedingungen gesteuert. Die Bedingungen sind direkt mit dem integrierten Objektmodell verbunden. Dies ist ein weiterer Vorteil des Ansatzes gegenüber *CTTE*. *VTMB* verfügt über ein ausgereiftes, hierarchisch strukturiertes Objektmodell, in dem Beziehungen zwischen Objekten eindeutig definiert und mit einem Abhängigkeitsdiagramm graphisch dargestellt werden können. Mit den Attributen der Objekte lassen sich Abbruchbedingungen für iterative Aufgaben festlegen.

VTMB sieht zwei Aufgabentypen vor. Der Modellierer hat die Auswahl zwischen System- und Benutzeraufgaben. Diese Eigenschaft lässt sich zwar im Modell festlegen, ist aber in der visuellen Darstellung des Modells leider nicht sichtbar. Des Weiteren können die Systemaufgaben mit zeitlichen Restriktionen für das Starten und Beenden von Aufgaben versehen werden.

Nach der Erstellung des Modells besteht die Möglichkeit das erstellte Modell zu simulieren. Das Aufgabenmodell wird in ein ODSN transformiert und von einem ODSN-Interpreter ausgeführt [Szw97]. Die Umgebung *VTMB* zeigt dabei den aktuellen Ausführungszustand von Aufgaben, Objekte die gerade aktiv sind und welche Bedienungen aktiv das Modell steuern. Der Benutzer kann während der Simulation die Aufgaben starten und stoppen und damit über den Fortschritt der Simulation entscheiden.

2.2.3. KMAD

Ein weiterer Ansatz, der die Richtung von Objektintegration in die hierarchischen Aufgabemodelle darstellt, ist das **K-MAD** (*Kernel of Model for Activity Description*) Modell. Ziel des Ansatzes ist es die Aspekte der Ergonomie während der Systementwicklung zu unterstützen. Als Zielpersonen sind vor allem Experten aus dem Ergonomie- und dem HCI-Bereich gedacht [BLAS06]. Das Modell basiert auf drei Konzepten:

Aufgabe, die von einer ausführenden Einheit durchgeführt wird und den Zustand von Objekten während ihrer Durchführung verändert. Beschrieben wird eine

Aufgabe mit Parametern wie *Name*, *Nummer*, *Dauer*, *Ziel*, etc. Zusätzlich können Aufgaben unterschiedlichen *Prioritätsstufen*: *sehr bedeutend*, *etwas bedeutend*, *nicht sehr bedeutend* zugeordnet werden. Mit Parametern wie *optional* oder *zwingend* ist es möglich, die Erforderlichkeit einer Aufgabe im Modell festzulegen. Weiterhin ist es möglich einer Aufgabe die *Auszuführende Einheit* (Benutzer, System, Abstrakt, Interaktiv) zuzuweisen und die *Häufigkeit* (hoch, mittel, gering), mit der sie ausgeführt wird. Desweiteren werden Aufgaben mit Vor- und Nachbedingungen verbunden, um Abhängigkeiten im Modell ausdrücken zu können. Eine Aufgabe kann zusätzlich ein Ereignis generieren oder durch ein Ereignis generiert werden. Darüber hinaus können Aufgaben unterschiedlichen Gruppen zugeordnet werden.

Ausführende Einheit kann als ein *System*, ein *Benutzer* oder als *unbekannt* definiert werden. Eine Aufgabe wird als *interaktiv* definiert, wenn ein *System* gemeinsam mit einem *Benutzer* eine Aufgabe durchführt. Sollte eine ausführbare Einheit keiner Aufgabe zugeordnet werden, so wird dieser Aufgabe der Status *abstrakt* zugeordnet.

Objekte spielen in diesem Ansatz eine besondere Rolle [CGS⁺08]. Die Handhabung von *Weltobjekten* in *K-MAD* erlaubt das Erfassen von physikalischen und digitalen Objekten sowie das Definieren von Zuständen vor und nach der Ausführung von Aufgaben[CDB07]. Objekte werden als *abstrakte* und *konkrete*, also instanziierte Objekte handgehabt. Jedes Objekt in einem Modell gehört zu einer Aktivität eines Benutzers und kann mit seinem Zustand Bedienungen von Aufgaben beeinflussen. Die Attribute eines Objektes sind *boolean*, *string* und *integer*.

Die temporalen Relationen befinden sich ähnlich wie in *VTMB* im Vaterknoten eines hierarchischen Aufgabenmodells. Die Tabelle 2.3 zeigt die verfügbaren temporalen Operatoren von *KMAD*.

Bezeichnung	Beschreibung
Enabling	Sequentielle Reihenfolge von Unteraufgaben (von links nach rechts im Modell).
Concurrent	Gleichzeitige Ausführung von Unteraufgaben.
Choise	Nur eine Unteraufgabe darf ausgeführt werden.
No order	Die Reihenfolge der Ausführung ist beliebig.
Elementary	Bezeichnet eine atomare Aufgabe.

Tabelle 2.3.: Temporale Operatoren in *K-MAD*

Um die hierarchischen Modelle des *K-MAD* Ansatzes interaktiv zu erstellen, wurde die *K-MADe*³ Modellierungsumgebung erstellt. Mit *K-MADe* ist es möglich unterschiedliche Ebenen von Aufgabenbeschreibungen zu modellieren. Dem Benutzer stehen mehrere Editoren für die Erfassung von unterschiedlichen Facetten eines Aufgabenmodells zur Verfügung. Dazu zählen unter anderem der interaktive graphische Aufgabeneditor, ein Editor für die weitere Spezifikation von Aufgaben, ein Editor für die Beschreibung von Entitäten (Objekte, Benutzer und Ereignisse) und ein Editor der Bedienungen. Der Bedienungeditor ermöglicht es dem Benutzer, detaillierte, formale mathematische Ausdrücke basierend auf der B-Semantik [Lan96] zu erstellen.

KMADe besitzt einen Simulator, der vor allem die Zusammenhänge zwischen Aufgaben und Objekten verdeutlicht. Während der interaktiven Simulation können die Start- und Endbedienungen von Aufgaben im Hinblick auf die involvierten Objekte untersucht werden. Zusätzlich werden die *konkreten* Objekte, Ereignisse und die ausführende Einheiten eingeblendet. Bevor jedoch ein Modell simuliert und interaktiv von einem Benutzer validiert werden kann, werden logische Prüfungen vom erstellten Modell durchgeführt. *KMADe* bildet ein mächtiges Werkzeug für die Modellierung von hierarchischen Aufgabenmodellen. Seine Komplexität und der damit verbundene schwierige Einstieg in die Modellierung [CGS⁺08, S. 27] stehen dem Einsatz in der Industrie zu erlangen jedoch im Weg.

2.2.4. TOMBOLA

Eine weitere Entwicklung zur Erstellung von hierarchischen Aufgabenmodellen stellt die Beschreibungssprache *TOMBOLA* dar. Sie entstand an der Universität Paderborn während der Forschungsarbeiten von Holger Uhr [Uhr03]. Die Aufgaben werden ähnlich dem *CTT* Ansatz in einem baumartigen, hierarchischen Aufgabenmodell verfeinert und durch temporale Relationen in Beziehung gesetzt.

Eine Besonderheit von *TOMBOLA* ist das Einbeziehen von Modelldaten, die beim Aufgabenablauf entstehen. Das fertige Modell kann genauso wie bei *CTTE* durch einen graphischen Editor *GAME* erstellt und untersucht werden. Bevor die Simulation durchgeführt wird, überprüft die Software das Modell mithilfe der sogenannten Produktionsregeln auf die syntaktische Korrektheit; danach kann der auf Petri-Netzen basierte Simulator das Modell ausführen.

Die Sprache *TOMBOLA* ist eine Spezifikationssprache für Aufgabenmodelle. In *Tombola* lassen sich sowohl die temporale Relationen der Aufgaben als auch ein reichhaltiges Objektmodell beschreiben. Mit dem Objektmodell lässt sich die Ausführung von Aufgaben an Bedingungen über Objekte knüpfen; diese können durch die Effekte von Aufgaben verändert werden. Dank einer Verbindung von *internen*

³Kernel of Model for Activity Description Environment ist verfügbar unter <http://kmade.sourceforge.net/>

und *externen* Unteraufgaben zum Modell, lassen sich komplexe Modelle leicht unterteilen und in einzelne Module untergliedern.

Die Sprache *TOMBOLA* nutzt *Tokens* um darauf die Produktionsregeln aufzubauen. Tokens sind entweder *Terminalsymbole* und werden wörtlich als Produktionsregel angegeben, oder als *komplexe* Tokens durch reguläre Ausdrücke spezifiziert. Die Sprache beinhaltet folgende Tokenstypen:

< *INTEGER_LITERAL* >

< *BOOLEAN_LITERAL* >

< *STRING_LITERAL* >

Sie stehen für Literale der angegebenen Datentypen und sind äquivalent zu der Programmiersprache *Java* aufgebaut. Um ein Aufgabenmodell zu beschreiben wird bei *Tombola* eine *XML*-ähnliche Eingabedatei erstellt. Diese besteht aus einer Startdeklaration, einer Folge von Klassendeklarationen und Aufgabendeklarationen. Die Startdeklaration definiert den Namen der Hauptaufgabenklasse und eine Liste mit Ausdrücken als Parameterwurzel der Hierarchie.

Weiterhin ist es möglich in *TOMBOLA*, neben den primitiven Datentypen *int*, *boolean* und *string*, auch eigene Klassen zu definieren. Zu diesen Klassen werden dann Objektinstanzen gebildet. Eine eigene Klasse wird definiert durch den Klassennamen, eine optionale Oberklasse und eine Liste von Instanzvariablen.

TOMBOLA ermöglicht zusätzlich auch die Deklaration von Aufgaben; diese besteht dann aus dem Namen der Aufgabenklasse, gefolgt von der Liste der formalen Parameter, die optional zu der Aufgabenspezifizierung gewählt werden können.

Ähnlich dem bereits vorgestellten *CTT* Ansatz besitzt auch *Tombola* ein reichhaltiges Vokabular für Aufgabenmodelle samt temporalen Relationen. Dabei befinden sich die temporalen Relationen anders als bei *CTTE* nicht zwischen den benachbarten Aufgaben, sondern so wie in *KMAde* in dem jeweiligen Knoten der Vateraufgabe. Die temporalen Relationen, die von *Tombola* angeboten werden, zeigt Tabelle 2.4.

Bezeichnung	Beschreibung
ATOM	Aufgaben dieses Typs bilden die Blätter des Aufgabenbaums.
SEQ	Die Nacheinanderausführung der Unteraufgaben erfolgt in der angegebenen Reihenfolge.
SER	Die Unteraufgabenausführung erfolgt in einer beliebigen, vom Benutzer zur Simulationszeit zu bestimmenden Reihenfolge (nacheinander).
ALT	Es wird genau eine der Unteraufgaben ausgeführt.
OPT	Es wird eine oder keine Aufgabe der Unteraufgaben ausgeführt.
PAR	Die Unteraufgaben werden in einer beliebigen Reihenfolge ausgeführt.
SIM	Die Ausführung der Aufgaben erfolgt simultan; analog die Start- und Endzeitpunkte.

Tabelle 2.4.: Temporale Operatoren in TOMBOLA

Tombola ist eine mächtige Modellierungssprache, in der Objekte einen wichtigen Aspekt darstellen. Während der Simulation besteht die Möglichkeit, Objekte und ihre Parameter interaktiv zu beeinflussen. Der Simulator führt die Aufgaben eines Modells Schritt für Schritt durch. Der Benutzer ist währenddessen in der Lage Eingaben interaktiv zu tätigen. Diese werden dann in der weiteren Ausführung des Modells berücksichtigt. Bei dieser Funktion wurde bei der Entwicklung von Tombola vor allem an die Simulation von interaktiven Webseiten gedacht, bei denen der Benutzer die Möglichkeit hat HTML-Formulare zu benutzen.

Die Sprache Tombola wurde zuerst als eine rein formale, textuelle Beschreibung des Daten- und Aufgabenmodells entwickelt. Leider war der Nutzen für Nicht-Experten ohne Programmierkenntnisse deutlich eingeschränkt. Die Mächtigkeit der Sprache konnte dadurch nicht ausgenutzt werden. Zwar lässt sich der Kontrollfluss durch die Relationen, Schleifenkonstrukte und die Interaktion mit den Objekten aus dem Datenmodell regulieren, doch die Textform ist fehleranfällig und eine Erkennung der hierarchischen Struktur ist nur mühsam nachvollziehbar.

Dank der visuellen Umgebung *GAME* ist es möglich einen Benutzer einfacher in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Zwar ist die Notation nicht so intuitiv wie bei *CTTE*, bei dem die Mitwirkung eines Benutzers nach einer kleinen Einführung in die Semantik des Modells ermöglicht wird, es kann jedoch mit *GAME* eine einfachere Handhabung von TOMBOLA-Modellen erreicht werden.

2.2.5. AMBOSS

Das Akronym **AMBOSS** steht für **A**ufgaben**M**odellierung zur **B**edingung von Sicherheitskritischen **S**ystemen und wurde an der Universität Paderborn im Rahmen einer Projektgruppe⁴ unter dem gleichen Namen entwickelt. Ziel war es, eine Modellierungsumgebung, die insbesondere eine komfortable Modellierung von hierarchischen Aufgabenmodellen, mit Integration von Parametern für sicherheitskritische soziotechnische Systeme ermöglicht, zu entwickeln.

In diesem Ansatz findet unter anderem die Kommunikation eine besondere Beachtung. Für die Modellierung von Kommunikationsvorgängen wurde ein eigenständiges Kommunikationsmodell entwickelt [MS08]. Ein fertiges hierarchisches Aufgabenmodell lässt sich mithilfe eines integrierten Simulators ausführen und die jeweiligen Parameter der Aufgabe können dann in Bezug zueinander betrachtet werden. So ist es möglich Schwachstellen eines Systems und deren Ursache interaktiv zu analysieren. Im Folgenden werden einzelne Aspekte des Ansatzes beschrieben. Bevor jedoch die visuelle Notation der Modellierungsumgebung vorgestellt wird, soll ein Überblick über das Konzept des erweiterten Aufgabenmodells gegeben werden.

Elemente des Modells

AMBOSS ist eine klassische Umgebung für die Entwicklung von hierarchischen Aufgabenmodellen (*engl. Hierarchical Task Model kurz HTM*). In Mittelpunkt eines solchen Aufgabenmodells befindet sich die **Aufgabe**. Die Hauptaufgabe eines hierarchischen Aufgabenmodells wird während der Modellierung in weitere Ebenen eines Aufgabenbaumes verfeinert bis die Ebene von *atomaren* Aufgaben erreicht wird. Weiterhin ist es möglich eine Aufgabe als *kritisch* oder *unkritisch* in einem Modell auszuzeichnen. In die bislang implementierte Version des Ansatzes wurden *Rollen*, *Barrieren*, *Aufgabenobjekte*, *Aufgabentopologie* und *Nachrichten* als zusätzliche Konzepte des Aufgabenmodells integriert [GMP⁺08]. Mit diesen zusätzlichen Parametern lässt sich eine Aufgabe eindeutig in einer Arbeitsumgebung spezifizieren. Ein Metamodell des Ansatzes stellt die Abbildung 2.5 dar.

So können in AMBOSS zum Beispiel -wie in den anderen bereits erwähnten Umgebungen in 2.2.1 und 2.2.3 - **Rollen** von Akteuren in einer Rollenhierarchie spezifiziert werden. Es ist möglich, einem Akteur mehrere Rollen zuzuweisen. Bei AMBOSS gibt es drei Typen von Rollen, die eine Aufgabe ausführen: *human*, *system* und *abstract*. Letztere wird eingesetzt, wenn die Zuordnung von Rollen nicht eindeutig möglich ist. Zusätzlich lassen sich die *Untertypen* der Rollen (Sacharbeiter oder Manager) genauso wie *Instanzen* (solche wie Sachbearbeiter Kowalski oder Manager Meier) bilden, um einen Akteur eindeutig zu spezifizieren.

Eine Besonderheit in **AMBOSS** ist die Übertragung von *Rollenzuordnung* bei

⁴Beschreibung der Projektgruppe ist zu finden unter <http://mci.cs.uni-paderborn.de/pg/amboss>

Sohnunteraufgaben auf die *Vateraufgaben*. Eine Rolle, die einer Unteraufgabe im Modell zugeordnet wird, nimmt automatisch einen Einfluss auf die Vateraufgabe und wird als ihre Ausführungseinheit übernommen. Im weiteren Verlauf des Textes wird dieser Sachverhalt als *Vererbung* in einem *HTM* bezeichnet. Desweiteren kann der Verantwortungsbereich einer Rolle bezüglich einer Aufgabe spezifiziert werden. Da nicht alle Personen, die eine Aufgabe ausführen, auch direkte Verantwortung über die Aufgabe besitzen, ist es möglich diesen Sachverhalt im Modell zu vermerken. Dies ist besonders in solchen Situationen hilfreich, in denen zum Beispiel eine bestimmte Aufgabe im System (zum Beispiel Krankenhaus) von einer Rolle (Krankenschwester) ausgeführt wird, die Verantwortung über die Aufgabe aber eine andere Rolle (zum Beispiel ein Oberarzt) trägt. Dieses ausgeprägte *Rollenmodell* ermöglicht bei der Analyse von Kommunikation eindeutige eine Feststellung, welche Rolle von wem, mit welchen Informationen im System versorgt wird und diese weiter kommuniziert.

Zusätzlich bezieht AMBOSS ein Konzept von **Objekten** ein, wodurch die Möglichkeit besteht, Objekte, die von Aufgaben modifiziert werden, zu spezifizieren. Es gibt zwei Typen von Objekten: physikalische und nicht-physikalische (Informationsobjekte). Eine hierarchische Struktur unterstützt die Gliederung von Objekten mit ähnlichen Eigenschaften. Objekte können in AMBOSS mit den topologischen Eigenschaften einer Arbeitsumgebung verbunden werden. Damit ist es möglich eine Aussage darüber zu treffen, ob ein Objekt in einem Raum zugelassen oder verboten ist, ob ein Objekt beweglich oder fest in einem Raum verankert ist und mit welcher Aufgabe es verbunden ist. Wenn eine Aufgabe den Zustand eines Objektes modifiziert, so wird der Zugriff als *schreibend* beschrieben, ansonsten kann sich eine Aufgabe von einem Objekt auf das *Lesen* des Zustands beschränken.

Eine besondere Art von Objekten, die in AMBOSS spezifiziert werden sind **Barrieren**. Grundsätzlich ist eine Barriere ein Hindernis, das zwischen der Gefahrenquelle und dem gefährdeten Objekt (sensiblen Bereich) zum Schutz des Objektes aufgestellt worden ist um ihn vor den Auswirkungen, die aus der Gefahrenquelle entstehen (während der regulären Arbeit aber auch nach einem Unfall), zu schützen [Hol04]. Hollnagel unterscheidet zwischen *schützenden* und *präventiven* Barrieren und definiert Barrieren als: „*equipment, constructions, or rules that can stop the development of an accident*“ [Hol99]. Zu beiden Gruppen gehören Barrieren, die vor allem durch das menschliche Verhalten (engl. Human factors/organisational) zustande kommen [GHG⁺06]. In der Literatur befinden sich zusätzliche Klassifizierungen der Barrieren nach *passiven, aktiven und prozeduralen* [VC06], [Hol99], aber auch nach *materiellen, funktionalen, symbolischen* und *immateriellen* [ZCV04] Barrieren.

Im AMBOSS werden Barrieren ähnlich zu den erwähnten Klassifizierungen auch als Aktionen, die zum Schutz eines Objektes dienen, definiert. Es sind sogenannte *prozedurale Barrieren* [Hol99]. Da der Modellierer frühzeitig über kritische Situationen nachdenken soll, fordert AMBOSS für jede Aufgabe, die als kritisch spezifiziert wurde, eine Barrierenpflicht. Es kann zusätzlich modelliert werden, ob eine Barriere *umgangen* oder *nicht umgangen* werden kann. In der Modellierungsumgebung selbst

2. Aufgabenanalyse und Aufgabenmodellierung

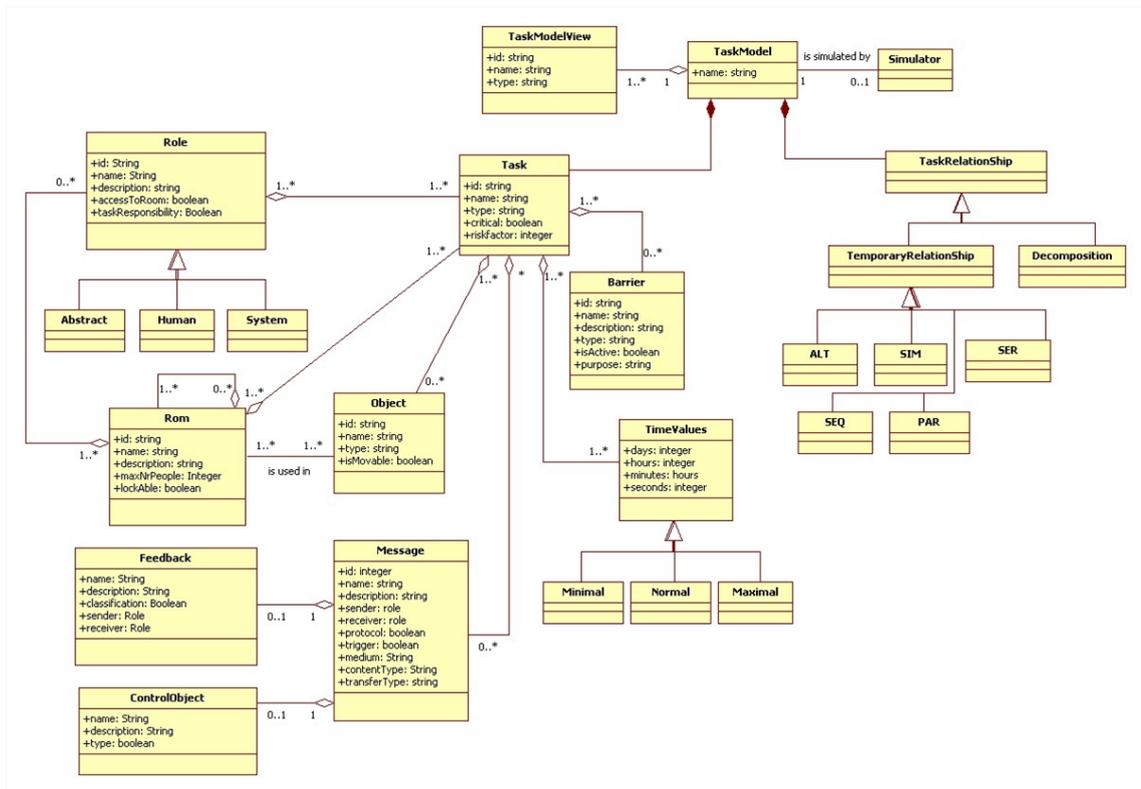


Abbildung 2.5.: Metamodell von AMBOSS

kann dies farblich gekennzeichnet werden. Zusätzlich werden Barrieren in AMBOSS nach ihrem Typ: *physikalisch*, *Überwachung*, *Warnung*, *Ausrüstung*, *Arbeitsablauf*, *Wissen* und ihrem Zweck: *Vorbeugung*, *Kontrolle*, *Schadensreduktion* klassifiziert.

Barrieren können *aktiviert* werden. Damit ist es möglich Barrieren zu einem bestimmten Zeitpunkt im Modell zu aktivieren; so kann der Einsatz von Barrieren präzise definiert werden. Zusammen mit den Parametern der Kommunikation, die überprüft werden festzustellen, ob eine Aufgabe die notwendige Information bereits erhalten hat oder nicht, lassen sich Vorbedingungen der Aufgaben festlegen. Die daraus resultierende Dynamik erhöht deutlich die Mächtigkeit des Modells, indem Vorbedingungen für Aufgaben, direkt mit dem kontextuellen Hintergrund des soziotechnischen Systems verbunden werden. Das Modell ist mit diesen Maßnahmen in der Lage, genauen Überblick über die Sicherheitsmaßnahmen, die zu einer bestimmten Zeit in einem System vorzufinden sind, wiederzugeben.

In AMBOSS wurde auch das Konzept von Räumen hinzugefügt. Die Integration der *Topologie* in ein Aufgabenmodell ermöglicht wichtige Eigenschaften einer Arbeitsumgebung zu modellieren. Unter anderem ist es möglich zu spezifizieren, an welcher Stelle in der Arbeitsumgebung eine Aufgabe durchgeführt wird, welches Objekt wo benutzt wird oder vorhanden ist. Weiterhin kann aus einem so ange-

reicherten Aufgabemodell die räumliche Relation zwischen den einzelnen Aufgaben entnommen werden. Die Definition des Raums im Modell wird zunächst offen gehalten. (Für genaue Definition eines Raums in HTM siehe Kap. 6.4.7) Ein Raum ist zuerst ein abstrakter Gegenstand während der Modellierung. Es kann ein Flur im Krankenhaus, ein Flugzeug oder ein Büro sein. Für seine Identifikation besitzt ein Raum einen eindeutigen Namen, eine Information darüber, ob er abschließbar oder nicht ist und wie viele Personen hinpassen. Das Modell erlaubt Rollen mit Räumen zu verbinden. Des Weiteren kann definiert werden, ob eine bestimmte Person (oder Rolle) Genehmigung für den Eintritt eines bestimmten Raums besitzt oder nicht.

In *AMBOSS* können Aufgaben explizit als sicherheitskritisch eingestuft werden. Es wird hierzu jeder Aufgabe ein numerischer Wert, der sogenannte Risikofaktor, zugeordnet, der sich aus Schätzungen der Wirkung von Fehlern bei der Erledigung der Aufgabe zusammensetzt. Dazu werden die Wahrscheinlichkeit des Eintretens und die Entdeckbarkeit des fehlerhaften Ablaufs bewertet und es wird eingeschätzt, wie gravierend die Folgen wären. Hierzu wird jeweils ein Wert auf einer Skala von 1 bis 10 zugewiesen [Sto96] - die drei Zahlen miteinander multipliziert ergeben den Risikowert, wodurch sich eine summative Einschätzung des vorhandenen Risikos ergibt. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor bei der Ausführung sicherheitskritischer Aufgaben ist das Zeitverhalten. Zu diesem Zweck erlaubt *AMBOSS* die Angabe *minimaler*, *maximaler* und *durchschnittlicher Zeitdauern* für die Ausführung einer Aufgabe.

Bezeichnung	Beschreibung
ATOM	Aufgaben des Typs bilden die Blätter des Aufgabebaumes.
SEQ	Die Nacheinanderausführung der Unteraufgaben erfolgt in der angegebenen Reihenfolge.
SER	Die Unteraufgabenausführung erfolgt in einer beliebigen, vom Benutzer zur Simulationszeit zu bestimmenden Reihenfolge (nacheinander).
ALT	Es wird genau eine der Unteraufgaben ausgeführt.
OPT	Es wird eine oder keine Aufgabe der Unteraufgaben ausgeführt.
PAR	Die Unteraufgaben können in einer beliebigen Reihenfolge gestoppt und gestartet werden.
SIM	Alle Unteraufgaben müssen gestartet werden, bevor eine Unteraufgabe gestoppt werden kann.

Tabelle 2.5.: Temporale Operatoren in *AMBOSS*

Mit *AMBOSS* lassen sich Spezifikationen der Gliederung von Aufgaben in Unteraufgaben und deren temporale Anordnung erstellen. Durch das Modellieren entsteht ein hierarchisches Gefüge von Aufgaben, anhand derer zu erkennen ist, wie die Auf-

gaben durchgeführt werden sollen. Abbildung 2.6 zeigt die Notation vom AMBOSS zusammen mit den **temporalen Relationen** die in den Vaterknoten zu finden sind. Eine tabellarische Auflistung der verfügbaren temporalen Operatoren zeigt die Tabelle 2.5

Um einem System Dynamik zu verleihen ist es notwendig, dass alle Akteure, die menschlichen wie auch diejenigen technischer Art, mit entsprechenden Informationen versorgt werden. Deswegen erlaubt AMBOSS eine Darstellung von Kommunikationsvorgängen, in denen die **Kommunikation** mit ihren wichtigsten Parametern modelliert wird. *Amboss* verfügt über ein eigenes Kommunikationsmodell [MS08], [MS07], welches an das Modell von Shannon und Weaver angelehnt wurde [Sha48]. Das vollständige Kommunikationsmodell wird in 6.4 beschrieben. Im folgenden Abschnitt soll bereits ein Überblick des Modells der Kommunikation, die zwischen Sender und Empfänger stattfindet, gegeben werden.

Als Kommunikation agieren in *AMBOSS* Nachrichtenobjekte, die mit kommunizierenden Aufgaben verknüpft werden. Die *Nachrichtenobjekte* beinhalten Informationen darüber, *wer* mit *wem*, *wie* und *warum* Informationen austauscht. Zusätzlich ist es möglich, Sicherheitsmechanismen und weitere Details eines Kommunikationsvorgangs zu spezifizieren, so dass ein reichhaltiges Kommunikationsmodell eines sicherheitskritischen Systems entsteht. Es werden mehrere Kommunikationsparameter spezifiziert. Unter anderem ist es möglich, das *Medium*, mit dem eine Nachricht einer anderen Aufgabe mitgeteilt wird, als auch deren Inhalt zu beschreiben. So werden dem Modellierer Möglichkeiten gegeben, zum Ausdruck zu bringen, ob die Information in einer *graphischen Form*, als *Geste* oder als *Text* erfolgt. In Situationen, in denen Resonanz oder Bestätigung des Erhalts einer Nachricht nötig ist, wird in diesem Ansatz der Vorgang eines *Feedbacks* modelliert.

Falls während der Modellierung die Entscheidung getroffen wird, dass ein Feedback eine bedeutende Rolle für einen bestimmten Kommunikationsvorgang spielt, so kann der Vorgang eines Feedbacks zusätzlich mit einer qualitativen Aussage definiert werden. Diese Option spielt in der Modellierung von kritischen Systemen eine wichtige Rolle, da sie zum einen angibt, ob ein bestimmter Akteur die für ihn angedachte Informationen wahrgenommen hat und zum anderen ermöglicht eine Abschätzung über die Qualität des Feedbacks zu geben. Bildlich gesprochen ist der Modellierer in der Lage eine Aussage zu treffen, ob ein Feedback erforderlich ist und wenn ja, ob dies auch ausreichend für diesen bestimmten Vorgang ist.

Weiterhin ist es möglich zu spezifizieren, ob der *Transfer* eines Kommunikationsvorgangs *synchron* oder *asynchron* zwischen den Aufgaben erfolgt. Bei einer synchronen Informationsmitteilung bekommt der Empfänger sofort seine Information, bei der asynchroner Kommunikation rechnet der Modellierer mit gewissen Verzögerungen. Zusätzlich ist die Möglichkeit gegeben, Aussagen über die Existenz eines *Kommunikationsprotokolls* zu modellieren. Mit diesem Parameter ist der Modellierer in der Lage zu sagen, ob die beiden Kontrahenten eine vorgesehene Absprache über die Art der Freiheitsgrade bezüglich der Kommunikation anhalten (sollen) oder

nicht.

Schließlich gibt es die Möglichkeit, Nachrichtenvorgänge ähnlich den Aufgaben als *kritisch* kennzeichnen zu lassen und ein zusätzliches Sicherungskonzept (Kontrollobjekte) zur Überprüfung der Korrektheit der übermittelten Daten zu verwenden. Ähnlich dem Konzept einer qualitativen Abschätzung, das bereits bei dem Feedback beschrieben wurde, ist es auch bei den *Kontrollobjekten* möglich, diese als *sicher* oder als *unsicher* zu vermerken.

Notation

AMBOSS stellt dem Benutzer eine interaktive Modellierungsumgebung, mit der intuitiv hierarchische Aufgabenmodelle erstellt werden können, zur Verfügung. Die Abbildung 2.6 zeigt die Darstellung der Aufgaben, wie sie in *AMBOSS* erstellt werden kann, in einem Baum. Um dem Benutzer eine möglichst große Freiheit in der Gestaltung eines Modells zu lassen, ist es möglich, die Aufgaben, bevor sie in einer Hierarchie angeordnet werden, zuerst beliebig auf der Fläche des Editors zu platzieren. Nachdem die Aufgaben miteinander verbunden wurden, übernimmt die Anordnung der Aufgaben an eine geeignete Stelle im Baum ein eigener Darstellungsalgorithmus. Soll die vorgestellte Anordnung verändert werden, so lassen sich die Knoten des Modells entlang der horizontalen wie vertikalen Achse innerhalb des Baums verschieben und anpassen.

Eine Aufgabe wird in Form eines Rechtecks mit ihrem Namen, der temporalen Relation und den bereits erwähnten Parametern *Risikofaktor*, *Barriere*, *Objekt*, *Zeit und Rollenzuordnung*, die als Symbole eingeblendet werden, dargestellt. Je nach Zuordnungsstatus der einzelnen Parameter erfolgt eine Einfärbung der Piktogramme mit einer festgelegten Farbkodierung. Dabei werden die Farben *grün*, *gelb* und *rot* verwendet. Sollte zum Beispiel eine Aufgabe als *kritisch* angesehen werden, so besteht die Möglichkeit diese mit einer roten Schrift (siehe Abbildung 2.6) zu versehen. Die rote Kodierung der kritischen Aufgaben wird auch innerhalb des Simulators verwendet und steht für kritische Kommunikation, die als ovale (siehe Graphik der *AMBOSS* Notation 2.6) zwischen den Aufgaben gekennzeichnet wird.

Zusätzlich zum Hauptdarstellungsfenster, in dem der Benutzer eine Baumdarstellung seines Modells betrachtet, existieren für jeden Parameter einer Aufgabe weitere Ansichten, in denen detaillierte Informationen über die Parameter zu finden sind. In den einzelnen Sichten gibt es auch die Möglichkeit, Parameter, wie *Zeit* oder *Raum* zu verändern. Nach der Veränderung erfolgt sofort eine Synchronisierung mit der zentralen Baumsicht. Diese Lösung ermöglicht eine gleichzeitige Betrachtung der Anordnung der Aufgaben im Baum und gewährleistet einen tieferen Einblick in die Einstellungen der einzelnen Parameter. Vor allem in besonders großen Modellen, in denen die Wahrscheinlichkeit, sich zu verlieren, relativ groß ist, ist eine ganzheitliche Betrachtung von Vorteil.

2. Aufgabenanalyse und Aufgabenmodellierung

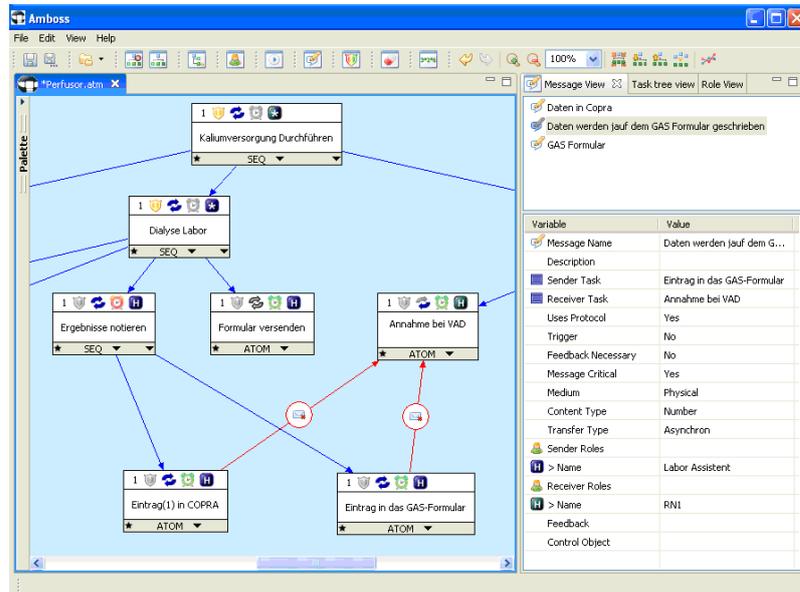


Abbildung 2.6.: Notation eines Aufgabenmodells mit AMBOSS, Quelle: [MS08, S. 40]

Simulator

Ein fertiges abstraktes Aufgabenmodell kann innerhalb dieser Modellierungsumgebung simuliert werden. Dadurch wird bereits während der Entstehungsphase eines generischen Szenarios das daraus entstandene Aufgabenmodell interaktiv analysiert. Die so gefundenen Inkonsistenzen können, noch bevor die endgültige Untersuchung stattfindet, korrigiert werden, was sich am Ende in der Ersparnis von kostbaren Ressourcen widerspiegelt. Das integrierte Simulationskonzept beruht auf der Idee der „Enabled Task Sets“ [GFC02], welche zu jedem Zeitpunkt die gerade ausführbaren Aufgaben anzeigt. Bei Aufgaben, deren Reihenfolge nicht automatisch aus der temporalen Relation zu entnehmen ist, wie zum Beispiel bei der Relation „Alternative“, wird die Reihenfolge durch den Benutzer festgelegt und die Simulation fortgesetzt.

Während der Simulation ist es möglich, mehrere Parameter der aktiven Aufgabe, die gerade simuliert wird, interaktiv zu betrachten und im Kontext der anderen Parameter der betrachteten Aufgaben zu untersuchen. So zum Beispiel ist der Benutzer in der Lage den Ablauf der Kommunikation zwischen den einzelnen Aufgaben zu überblicken, da diese Eigenschaft des Modells zusammen mit anderen Parametern wie: *Barrieren*, *Rollen*, *Objekte*, *Topologie* und *Vorbedingungen* der Aufgaben mit-simuliert wird. Bei der Simulation der Kommunikation ist es zusätzlich möglich, das *Protokoll* des Kommunikationsflusses zu verfolgen. Dafür werden die letzten Schritte des Informationsaustausches in einem separatem Fenster angezeigt. Diese Funktion es, ermöglicht einige Schritte in die Vergangenheit der Kommunikation zu blicken und daraus Rückschlüsse nicht nur über die derzeit fließenden Informationen allein,

sondern auch über die kontextuellen Hintergründe der Kommunikation selbst zu schließen. Jeder Simulationsvorgang lässt sich als eigenständiges Szenario abspeichern und zusammen mit einem Aufgabenmodell für weitere Untersuchungen wieder *abspielen*.

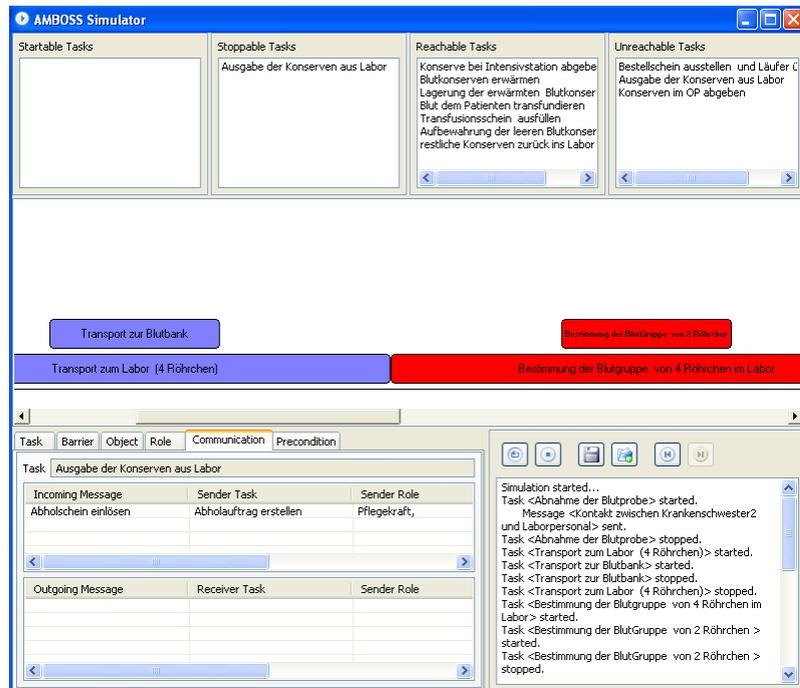


Abbildung 2.7.: Beispiel des Simulators in AMBOSS, Quelle: [MS08, S. 41]

AMBOSS-A

Die Modellierungsumgebung verfügt neben dem Editor zur Erstellung von hierarchischen Aufgabenmodellen und einem Simulator auch über eine visuelle Anfragesprache. Die visuelle Anfragesprache beschreibt Beziehungsmuster in den *AMBOSS*-Aufgabenmodellen und versetzt den Analysten in die Lage, konkrete Beziehungsstrukturen im Aufgabenmodell in einer abstrakten Form als Beziehungsmuster zu beschreiben und zu finden. Damit ist es möglich, nach gezielten Relationen in einem Aufgabenmodell zu suchen und mögliche Schwachstellen eines Systems zu finden. Weitere Details des Konzeptes können in [GMP⁺08] gefunden werden.

Obwohl *AMBOSS* zu den jüngsten Ansätzen gehört, wurde er in der Lehre unter anderem bei Professor Leon Urbas⁵ und als Modellierungssoftware in dem europäischen Forschungsprojekt HUMAN⁶ [FML08], [MRM10] eingesetzt. Der mögliche

⁵<http://www.et.tu-dresden.de/ifa/index?id=1001>

⁶ Ziel des Projektes HUMAN ist die Entwicklung eines virtuellen Piloten-Modells, mit dem Pilotenfehler, die während der Interaktion zwischen Pilot und Cockpit auftreten, vorhergesagt

praktische Einsatz der Modellierungsumgebung wurde auch der Industrie vorgestellt, siehe [MR09a], [MR09b].

2.3. Zusammenfassung

Im Kapitel 2 wurden die wichtigsten Ansätze der Aufgabenmodellierung und der Aufgabenanalyse vorgestellt. Diese verdeutlichen, dass die bisherigen Ansätze keine geeigneten Möglichkeiten für die Modellierung und Analyse eines sicherheitskritischen Systems, welches seinen Fokus auf die Kommunikation legt, bieten. Das Kapitel beinhaltet die wichtigsten Ansätze der Aufgabenanalyse, wie auch die Repräsentanten der Aufgabenmodellierung, die das Themengebiet der Ausarbeitung wesentlich tangieren.

Im ersten Teil des Kapitels wurden verschiedene Aufgabenanalyseansätze mit ihren Stärken und Schwächen vorgestellt. Jeder dieser Ansätze beinhaltet seine eigene Sicht um jeweilige Aspekte der Aufgabendurchführung zu identifizieren. Aus den Beschreibungen der Ansätze kann entnommen werden, dass die Konzepte allgemein gehalten und nicht explizit für die Untersuchung von soziotechnischen sicherheitskritischen Systemen entwickelt wurden. Im Hinblick auf die Aufgabenmodellierungsansätze, die vorgestellt wurden und die eine strukturelle Beschreibung der gesammelten relevanten Informationen eines Systems ermöglichen, zeichnet sich mit einer Ausnahme der gleiche Trend ab. Untersuchungen und Gegenüberstellungen von Aufgabenmodellen anderer Autoren [LV90], [GGMA09], [BBP⁺00] führen zu ähnlichen Ergebnissen und zeigen gleiche Tendenzen auf.

Die vorgestellten Ansätze der Aufgabenmodellierung erstellen entsprechende Aufgabenmodelle unter Berücksichtigung von vier Dimensionen [DO94]. Die erste Dimension bilden die *Ziele*, die mit Aufgaben erreicht werden sollen. Die zweite Dimension besteht aus einer *zeitlicher Abfolge* von Aktivitäten (temporale Relationen). Eine weitere Dimension bilden die *Agenten* oder die ausführbaren Einheiten, die die Aufgaben durchführen. Die *vierte* und letzte Dimension besteht aus *Objekten*, die durch die Aufgaben verändert werden. Anhand dieser Dimensionen werden in den meisten Ansätzen der Aufgabenmodellierung Aufgaben identifiziert und strukturiert. Den Modellen fehlen jedoch weitere wichtige Dimensionen, um sie in soziotechnischen sicherheitskritischen Systemen nutzen zu können. Deswegen wurden bereits in AMBOSS zwei weitere Dimensionen eines Aufgabenmodells vorgeschlagen. Die eine ist die Dimension der *Kommunikation* und die zweite Dimension bildet die *Sicherheit* (*engl. Safety*).

Die Dimension der Kommunikation spielt eine ausschlaggebende Rolle, wenn in

werden können.

Laufzeit 01.03.2008 – 28.02.2011, Kooperations-Partner: Airbus S.A.S., Alenia Aeronautica, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., TNO Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, Université catholique de Louvain, OFFIS e.v. <http://www.human.aero/>

einem Modell festgehalten werden soll, welche Informationen wo und wann in einem System verfügbar und verwendbar sind - um zu erkennen wie ein System tatsächlich funktioniert. Ein weiterer Grund, der für diese Dimension spricht, ist die Rolle fehlerhafter Kommunikation als Ursache für Unfälle. Zahlreiche Beispiele katastrophaler Auswirkungen solcher Kommunikation können in der Literatur aus den Bereichen der Medizin [CB02] oder der Luftfahrt [Lan01] gefunden werden. Um die Kommunikation sachgerecht zu modellieren, spezifizieren und zu analysieren, reichen die vorgestellten Ansätze nicht aus. Für diesen Zweck wird im Kapitel 6.4.1 ein eigenständiges Kommunikationsmodell vorgeschlagen und entwickelt.

Um Aufgaben für sicherheitskritische Systeme zu modellieren ist es notwendig, eine weitere Dimension in einem Aufgabenmodell zu berücksichtigen. Es wird eine Dimension benötigt, mit der die Aufgaben unter dem Aspekt ihrer Kritikalität modelliert werden können. Bis jetzt ermöglicht lediglich der Ansatz von *AMBOSS* Parameter wie *Rechtzeitigkeit*, *Verantwortlichkeitsbereiche* und *Barrieren* zu berücksichtigen. Auch die Berücksichtigung von bereits angesprochenen Kommunikation als kritischen Kommunikationsvorgang stellt lediglich *AMBOSS* einem Modellierer zur Verfügung. Dies sind die wesentlichen Gründe, die für den Einsatz von der Modellierungsumgebung *AMBOSS* für die Strukturierung und initiale Spezifikation der Aufgaben während der Evaluierung der erarbeiteten Analyseverfahren, die im Kapitel 6.7 vorgestellt wird, sprechen.

Ein weiterer Grund, der für den Einsatz von *AMBOSS* spricht, ist die Erfüllung der Anforderung, die an eine Modellierungsumgebung von Aufgabenmodellen in [GFC02, S. 798] gestellt wurde. Zu dieser Anforderung zählen vier Punkte; flexible und aussagekräftige Notation des Modells, systematisches Vorgehen bei der Erstellung von Modellen, die Wiederverwertung von bereits erstellten Lösungen und als letzter Punkt die Verfügbarkeit einer Softwarelösung, die in mehreren Softwareentwicklungsphasen das Entwicklungsteam unterstützt. Die bereits veröffentlichten Fallstudien [MR09a], [Mis10] zeigen, dass diese Punkte bereits erfüllt sind.

Im Fokus der vorgestellten Modellierungsansätze stehen die hierarchischen Aufgabenmodelle. Für die Strukturierung der gewonnenen Systeminformationen stehen durchaus weitere Lösungen repräsentativ für. Wie zum Beispiel die Petri Netz basierten Ansätze Colored Petrinetz (CPN) [Kon03], PetShop [BNPB06] oder Micro Saint Sharp [BS03]. Diese Ansätze verfolgen jedoch einen linearen Modellierungsansatz und werden im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht berücksichtigt.

Nachdem im Kap 2 die wichtigsten Ansätze der Aufgabenanalyse und der Aufgabenmodellierung aufgeführt wurden und die Diskussion ihr Augenmerk auf die fehlende Unterstützung von Aufgabenmodellierung eines sicherheitskritischen Systems gelegt hat, folgt nun im Kapitel 3 die Erklärung dessen, was ein sicherheitskritisches System ist und wie die Komplexität solcher Systeme das Vorkommen von Fehlern begünstigt.

3. Soziotechnische Systeme

Im folgenden Kapitel sollen Systeme, in denen Mensch und Maschine zusammen in einer Arbeitsumgebung kooperieren, charakterisiert werden. Um die soziotechnischen Systeme im Hinblick auf ihre Eigenschaften zu beschreiben, wird Bezug auf die *Normal Accident Theory* genommen. Darüber hinaus wird der Begriff der Sicherheit und der des sicherheitskritischen Systems definiert. Es ist wichtig, dass die Handlungsfähigkeit solcher Systeme nicht gelähmt wird und dass ein möglicher Schaden erst gar nicht auftritt oder minimal gehalten wird. Diesbezüglich werden im zweiten Teil des Kapitels die Rolle des Sicherheitsmanagements und die Bedeutung der Organisationskultur herausgestellt. Im Anschluss wird die Rolle des Organisationslernens anhand von Beinahe-Unfällen beleuchtet und es wird auf mögliche Kosten von Fehlern in sicherheitskritischen Systemen hingewiesen.

3.1. Charakterisierung soziotechnischer Systeme

Die Systeme, auf die in dieser Ausarbeitung der Fokus gelegt wird, werden als *soziotechnische* Systeme bezeichnet. Diese Systeme sind dadurch charakterisiert, dass sie einerseits technische Komponenten (*Maschinenanlagen, Computer, Werkzeuge*), andererseits agierende Menschen, die als Akteure eines Systems handeln, beinhalten. Die Akteure kooperieren miteinander und bearbeiten Aufgaben; unter anderem in Form der Bedienung von technischem Gerät. Beispiele für solche Systeme sind: das *Cockpit eines Flugzeugs, der Leitstand eines Kernkraftwerks* oder der *Operationsaal im Krankenhaus*. Es sind Systeme in denen parallel zu den technischen Komponenten ein soziales System besteht, welches sich aus den Organisationsmitgliedern, ihren Erwartungen und Bedürfnissen, zusammensetzt. Diese Systeme stellen ein Geflecht aus *sozio-emotionalen* Bedürfnissen der einzelnen Individuen dar und sollen für ein besseres Verständnis der Abläufe einer ganzheitlichen Betrachtung unterzogen werden [Whi09]. Die beiden Komponente (Mensch und Maschine) existieren in einer gegenseitigen Symbiose und nur eine beidseitige Optimierung kann eine Verbesserung der Sicherheit bringen [Rie82].

Der soziotechnische Systemansatz nimmt seinen Ursprung in Untersuchungen vom Trist und Tavistock Institut¹ in den 50ern im Bereich des Bergbaus. Es wurde fest-

¹*The Tavistock Institute ist ein Forschungsinstitut. Seit 1946 Ableger der Tavistock Clinic. Die ursprüngliche Bezeichnung war: The Tavistock Institute of Human Relations. <http://www.tavistock.org/>*

gestellt, dass die soziale Komponente eines Systems nicht mehr mit dem Taylorismus vereinbart werden kann [TB51]. Die Betrachtung der sozialen und technischen Komponente als zwei separate Systeme war nicht mehr zeitgemäß. Die gewonnenen Erkenntnisse zeigten, dass eine Optimierung der Arbeit ausschließlich unter Beachtung der technischen Ausführung, ab einem gewissen Stand, zu keiner Verbesserung mehr führte.

Die Soziotechnische Theorie basiert auf der allgemeinen Systemtheorie [Ber68], die das System als eine Komposition von mehreren autonomen, aber doch ineinandergreifenden Teilen, die als Ganzes reziprok und zielgerichtet interagieren betrachtet. Das System wird in diesem Ansatz nicht auf seine einzelnen Teile reduziert. Die Systemtheorie erkundet vielmehr die Sachverhalte, die durch die Interaktion von Komponenten mit ihrer Dynamik einschließlich ihrer Rückkopplungsmechanismen und Vorwärtsschleifen, entstehen.

Ulich charakterisiert das Konzept des soziotechnischen Systems ausgehend von der Arbeitspsychologie und stellt das Systemdenken in den Vordergrund [Ebe05]. Ein soziotechnisches System wird als ein offenes und dynamisches System gesehen und kann in weitere Untersysteme unterteilt werden. Die Dynamik eines soziotechnischen Systems wird nach [Rou81] durch die Änderung des Systemzustands charakterisiert. Die Änderung geschieht auf Grund von zwei Hauptparametern. Zum einen durch das (Eigen-)Verhalten des *technischen* Systems und zum anderen durch *menschliche* Eingriffe in das jeweilige System. Eine mögliche Untergliederung solcher Systeme zeigt die Abbildung 3.1.

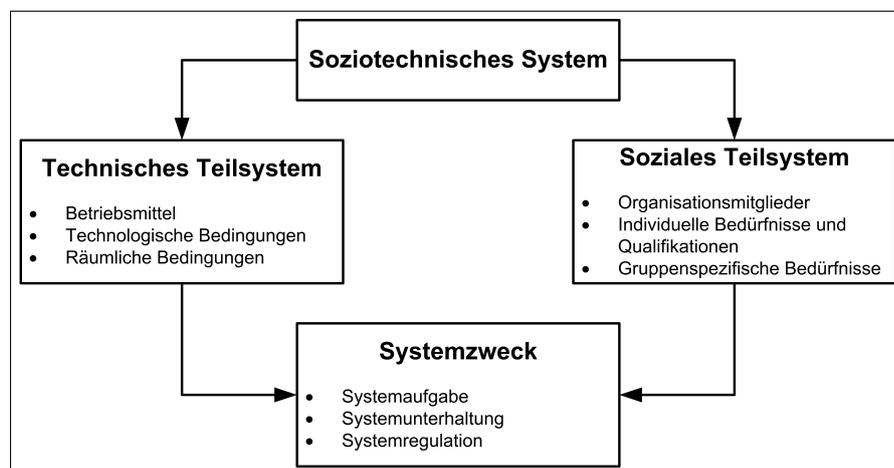


Abbildung 3.1.: Aufbau eines Soziotechnisches Systems. Angelehnt an [Ebe05, S. 195]

Um den Systemzweck zu erfüllen und die Systemaufgaben mithilfe von Systemregulationsmechanismen zu erreichen, ist Kommunikation ein primärer Faktor. Deswegen sind soziotechnische Systeme vor allem Systeme in denen Menschen miteinander

mithilfe von diversen Medien und Technologien kommunizieren. Soll so ein System spezifiziert werden, so ist es notwendig diesen Sachverhalt zu berücksichtigen. Deswegen spielt in dieser Arbeit die Ausarbeitung eines geeigneten Kommunikationsmodells eine zentrale Rolle. Dies wird im Kapitel 6.4 erarbeitet.

Die folgenden Abschnitte des Unterkapitels erläutern Eigenschaften von soziotechnischen Systemen, die für eine Charakterisierung solcher Systeme eine Schlüsselrolle spielen. Diese Parameter basieren auf den Erkenntnissen des Organisationstheoretikers Perrow, welche er während der Untersuchung des Unfalls *Thee Mile Island* erlangte. Seine Theorie, die *Normal Accident Theory* (kurz **NAT**) erklärt, dass einige Unfälle unvermeidbar sind, da ihre Komplexität von Menschen nicht beherrscht werden kann. Er stellte fest, dass die Systemkomplexität die wichtigste Ursache für den Unfall war [C.92]. Mit dieser Eigenschaft soll nun die Charakterisierung fortgesetzt werden.

3.1.1. Komplexität

Bezüglich der Komplexität unterscheidet Perrow zwischen linearen und komplexen Systemen². Zu den *linearen Systemen*, gehören Systeme deren Abfolge von Funktionen linear ist, also eine *strikte sequenzielle Ordnung* aufweist. Hinsichtlich der Komplexität ist es unwichtig wie viele einzelne Einheiten miteinander verbunden werden. Sie bleibt stets gleich. In linearen Systemen treten die Ereignisse im bekannten Betriebsablauf auf, sind sichtbar und ihre Ursache kann durch schrittweise Eingrenzung festgestellt werden. Sollte in solchen Systemen ein außerplanmäßiges Ereignis auftreten, so bereitet es den Betreibern keine weiteren Probleme dies zu identifizieren und zu einer funktionalen Beeinträchtigung des Systems kann ausgeschlossen werden. Es entsteht lediglich eine zeitliche Verzögerung in der Produktion. Die meisten Systemeinheiten besitzen in solchen Systemen jeweils nur eine *einzigste Funktionalität*. Die Kontrollinstrumente zeigen Werte eines Parameters und basieren auf *direkten Informationen* aus dem Betrieb. Dies vereinfacht die Handhabung des Systems und die Aufrechterhaltung seiner Funktionalität.

Ein weiterer Vorteil von linearen Systemen ist die *klare räumliche Anordnung* der Funktionalitäten. Bei der Betrachtung der Arbeitsplätze ergibt sich eine *hohe Flexibilität* der einzelnen Mitarbeiter und eine *hohe Substituierung*. Diese Eigenschaften bezeichnen einen wesentlichen Unterschied zwischen linearen Systemen und Systemen mit erhöhter Komplexität, deren Eigenschaften als nächstes beschrieben werden.

²Es ist anzumerken, dass Perrow den Begriff der Komplexität als Gegenteil zu Linearität nutzt. Im täglichen Gebrauch ist das Gegenteil von *Komplex einfach*, und von *linear* der Begriff *nichtlinear*. Aus der oben vorgestellten Sicht ist eine lineare Interaktion nicht gleichzeitig eine *einfache-Interaktion* die lediglich einige Schritte beinhaltet. Es bezieht sich vielmehr auf die Überschaubarkeit der Interaktionen.

Ein komplexes System kann nach Perrow zum Beispiel mit folgenden Eigenschaften charakterisiert werden: Die *Kenntnisse* über die Ursache-Wirkung Relationen sind für die einzelnen Akteure eingeschränkt. Die *Interaktion* ist entweder nicht sichtbar oder nicht unmittelbar für die Benutzer durchschaubar. Weiterhin besitzen einzelne Einheiten oder Subsysteme *mehrere Funktionen*, die miteinander in Beziehung stehen. Es kommt zu multikausalen Abhängigkeiten zwischen den Teilsystemen. In solcher Abhängigkeit kann es zu einem Ausfall von mehreren Subsystemen aufgrund eines Ereignisses kommen. Diese Fehler werden in der Literatur als *Common-Mode-Fehler* bezeichnet.

Ein weiterer Aspekt dieser Systeme ist die *indirekte Informationsquelle*. Perrow beruft sich dabei auf Beobachtungen, die er innerhalb der Atomkraftanlagen gemacht hat. Eine davon war die Beobachtung eines Operators, der seine Entscheidungen über die Temperatur eines Reaktor treffen musste, ohne sie direkt zu kennen. Dem Entscheidungsträger lagen Informationen über den Dampfdruck aus einem weiteren Behälter vor. Nur durch eine komplizierte Umrechnung konnte die entsprechende Temperatur errechnet werden.

Die letzte Eigenschaft, die die Komplexität kennzeichnet, ist die *enge Nachbarschaft* unabhängiger Subsysteme. Sie kann Sprünge, Verzweigungen und Rückkopplungen in deren Prozessen kommen, verursachen. Solch gegensätzliche Wirkungen und negative Synergien sind auf Grund der engen internen Topologie nicht ausschließbar. Eine besondere Eigenschaft von Systemen mit enger Nachbarschaft ist die *interaktive Komplexität*. Sie kommt vor, wenn mehrere negative Umstände zusammenkommen und Subsysteme, die bis dahin unter dem Gesichtspunkt der Funktionalität im System nichts miteinander zu tun haben, unerwartet miteinander interagieren und zu einem Versagen des Systems führen können. Um dies zu verdeutlichen zeigt Perrow ein plastisches Beispiel: Auf einem Schiff sickerte Öl in den Pumpenraum und weiter in den Motorraum, der sich daneben befand. Die hohe Temperatur der Motoren begünstigte das Verdampfen des Öls und erzeugte ein explosives Gemisch. Das Gas entzündete sich, verursachte eine Explosion und setzte das Schiff in Brand. Die drei unabhängigen Subsysteme interagierten miteinander in einer Art und Weise, die weder von den Konstrukteuren noch den Betreibern vorhergesehen wurde.

Die Beschreibung von Systemen als *interaktiv komplex* wurde auch von weiteren Autoren aufgegriffen. Greenfield, der für die Sicherheitsabteilung bei der NASA verantwortlich war, beschreibt Systeme dann als interaktiv komplex, wenn sie ungewohnte, ungeplante oder überraschende Ereignisse beinhalten, die nicht sichtbar für den Benutzer sind, nicht sofort verstanden werden und wenn die negativen Umstände, die zu einem Fehler führen, über mehrere Untersysteme verstreut sind [Gre99].

Vicente zum Beispiel liefert eine etwas erweiterte Beschreibung der Komplexität von soziotechnischen Systemen und beschreibt dabei einige zusammenhängende Eigenschaften, die weitgehend in unterschiedlichen Typen von soziotechnischen Systemen zu finden sind [Vic99, S. 14]. Unter anderem differenziert er *große Pro-*

blemereiche mit vielen Subsystemen, soziale Gruppeninteraktionen von Menschen, heterogene Perspektiven, dezentralisierte Eigenschaften, dynamisches Verhalten, Gefahr, Kopplung, Automatisierung, Ungewissheit über die Verfügbarkeit von Daten und unsichtbare Interaktionen. Die meisten dieser Eigenschaften wurden bereits angesprochen und sollen an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

3.1.2. Systemkopplung

Perrow nutzt zusätzlich zu der *Komplexität* den Parameter der engen *Kopplung*, um ein System in Bezug auf die Stärke von Verbindungen zwischen den einzelnen Teilen oder Subsystemen zu beschreiben. Der Begriff ist rein technischer Natur. Praktisch gesehen kann gesagt werden, dass je weniger Spielraum zwischen den einzelnen Vorgängen in einem Prozess existiert, desto ausgeprägter ist die Systemabhängigkeit und damit auch die *Systemkopplung*.

Eine logische Folgerung daraus ist, dass Elemente in losen Systemen gewisse Freiheitsgrade bezüglich ihrer Funktionalitäten besitzen. Sollte die Funktionalität eines Elementes in dem Verarbeitungsfluss eine temporäre Beeinträchtigung aufweisen, so wirkt sich diese aufgrund der losen Kopplung nicht sofort auf den Rest des Prozesses aus. Dank der Pufferräume werden solche Situationen abgefangen. Eng gekoppelte Systeme besitzen dagegen kaum Spielraum. Die Ressourcen werden aufeinander abgestimmt und sind untereinander nicht austauschbar. Ihre Abläufe sind mit strikten Restriktionen definiert und damit unveränderlich. Es existiert auch nur ein Weg, mit dem das erdachte Ergebnis erreicht werden kann. Zustandsänderungen eines Elementes bedeuten gleichzeitig eine (sofortige) Reaktion eines anderen Elementes. Ein wichtiger Aspekt der enggekoppelten Systeme ist die zeitliche Abhängigkeit der Elemente. Die Subsysteme brauchen nicht getriggert (vgl. Abschnitt 6.4.4) zu werden; das System verfolgt sein eigenes Tempo und lässt keine Unterbrechungen zu.

Definiert man mithilfe der bis jetzt vorgestellten Parameter einen zweidimensionalen Raum, der durch die *Interaktion* und *Kopplung* erschlossen wird, so ergibt sich nach Perrow ein geeignetes Beurteilungskriterium der *Systemvulnerabilität* (Schadensrisiken von Mensch-Umwelt-Systemen), das die Abbildung 3.2 darstellt.

Es könnte behauptet werden, dass komplexe Systeme in lineare Systeme umgebaut werden sollten, um diese sicherer zu machen. Diese Vermutung ist jedoch falsch, da eng gekoppelte Systeme viel effizienter sind; sie nutzen die topologischen Gegebenheiten besser aus und weisen eine höhere Qualität auf. Ein Beispiel hierfür stellen chemische Anlagen dar, da ihre Prozesse zum größten Teil automatisch ablaufen und sie nur als enggekoppelte Systeme existieren.

Auch der Umkehrschluss ist unzulässig. Redundanz zum Beispiel ist eine wichtige Eigenschaft und wird oft für die Absicherung der Anlagen genutzt. Mit jedem redundanten Subsystem steigt jedoch auch die gesamte Komplexität. Nach diesen Beurteilungskriterien sind die Möglichkeiten ein System weniger verletzlich zu machen, eindeutig eingeschränkt, wenn lediglich die Werte der Dimensionen verändert

		linear	INTERAKTION	komplex
COPPLUNG	eng	Staudämme Pharmazie Schiffstransport Schienentransport Luftverkehr	Kraftwerke	Kernkraftwerke Gentechnologie Kernwaffen Flugzeuge Großchemische Anlagen Raumfahrt Militärisches Frühwarnsystem
	Lose	Junior College Fließbandproduktion Handelsschulen Verarbeitende Industrie Systeme mit einer Funktion (Postämter)		Militärunternehmen Forschungs- und Entwicklungsunternehmen Bergbau Systeme mit mehrfachen Funktionen Universität

Abbildung 3.2.: Systemvulnerabilität, Grad der Interaktion und Kopplung, angelehnt an [C.92, S. 138]

werden. Um Verbesserungen in der *Systemvulnerabilität* zu bekommen, sollen alternative Wege gesucht werden.

3.1.3. Latente Fehler

Ein weiteres Charakteristikum eines soziotechnischen Systems bilden die *latenten Fehler* (engl. *latent failure*). Um den Begriff der latenten Fehler zu erläutern wird das von Reason erstellte Modell von Abwehrmechanismen einer Organisation als nächstes vorgestellt. Das Modell greift die Idee von mehrschichtigen Abwehrmechanismen auf, die in einem Unternehmen Sicherheit garantieren sollen [Rea90, S. 208]. Das Ziel des Modells ist es, die Analyse von komplexen soziotechnischen Systemen unter dem Gesichtspunkt eines Ausfalls zu unterstützen. Bei der Erstellung des Organisationsmodells wurde Reason von Perrow inspiriert [Rea97, S. 55], und verfolgte den Ansatz aus der Systemsicht: „*The basic premise in the system approach is that humans are fallible and errors are to be expected, even in the best organisations. Errors are seen as consequences rather than causes, having their origins not so much in the perversity of human nature as in „upstream“ systemic factors*“ [Rea00].

Das Modell ist auch unter dem Namen *Swiss Cheese Model* bekannt und hilft das Entstehen von Organisationsfehlern zu untersuchen. Eine schematische Darstellung des Modells enthält die Graphik 3.3. Der Abwehrmechanismus in dem Modell

besteht aus den einzelnen Schichten -*Käsescheiben*-, die den einzelnen Arbeitsbereichen (Organisation, Management, Arbeitsplatz, Team, etc.) zugeordnet werden. Diese *Scheiben* können auch als unterschiedliche Formen von Barrieren, die als administrative oder technische Restriktionen auf einer operativen Ebene das System vor ungeeigneten Aktivitäten schützen sollen, oder sofort bei einer festgestellten Abweichung das System absichern, gesehen werden [Hol04]. Da es unmöglich ist, jede Konstellation des Abwehrsystems vorherzusehen, bekommen die Scheiben Löcher, die durch Versagen auf den einzelnen Ebenen entstehen. Die *Löcher* sind *dynamisch* d. h. sie öffnen, schließen oder verschieben sich über die Zeit [Rea97].

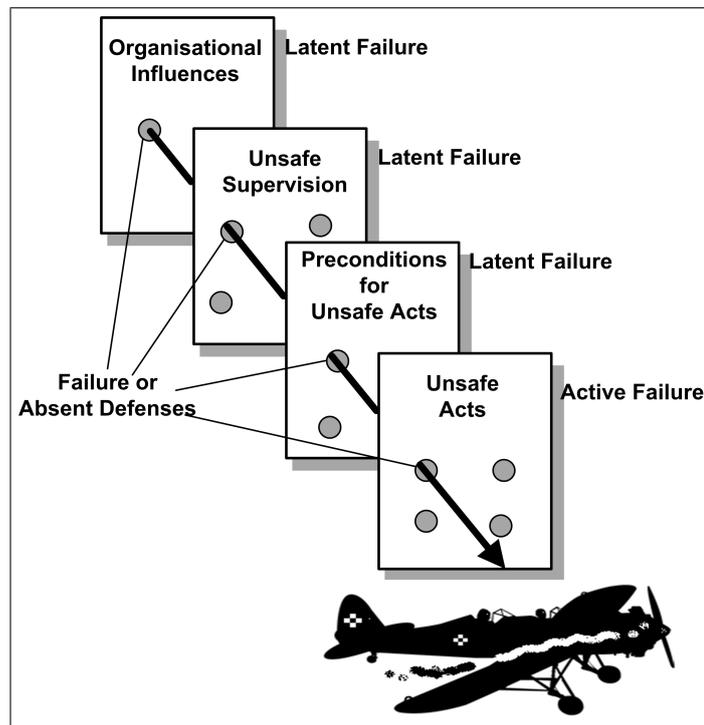


Abbildung 3.3.: Swiss Cheese Modell von Reason, angelehnt an: [Rea90, S. 280]

Eine grundsätzliche Annahme des Modells ist, dass die Systeme in Zustände versetzt werden, die bis dahin nicht *aktiv* waren, so dass ihre negative Eigenschaften unbekannt blieben. Die latenten Bedingungen *warteten* im System, bis sich dank bestimmter Rahmenbedingungen, ein günstiger Zeitpunkt ergab und diese ausgelöst werden konnten.

Mit der Unterscheidung zwischen latenten und aktiven Fehlern werden Handlungsfehler nicht mehr als die primäre Ursache für ein Systemversagen gesehen, sondern vielmehr als das Ergebnis einer Handlung in einer Umgebung, die durch das Zusammenwirken mit anderen Schwächen und fehlenden Sicherheitsmechanismen die Entwicklung von Unfällen begünstigt.

Diese *latenten Bedingungen* können innerhalb eines Produktionsprozesses einer Fabrik über die administrative- bis hin zur Managementebene gehen [Rea97, S. 11]. Vor allem die Managementebene ist als kritisch bezüglich der Fehlerentwicklung zu sehen. Auf dieser Ebene getroffene strategische Entscheidungen, die von externen ökonomischen oder politischen Faktoren beeinflusst wurden, wirken sich am Ende auf die lokalen Arbeitsbedingungen im System aus. Leveson zum Beispiel, ging bei der Untersuchung eines Vorfalles von Wasservergiftung in Kanada noch eine Ebene weiter, und untersuchte den Einfluss der Gesetzgebung und des latenten Versagens der jeweiligen Ministerien auf die Sicherheit der Wasserversorgung [LDDM03]. Wie bereits beschrieben, können latentes Versagen und dessen negativen Auswirkungen möglicherweise lange unsichtbar bleiben; sie werden erst dann bekannt, wenn sie mit lokalen auslösenden Faktoren zusammentreffen und dadurch Sicherheitsbarrieren durchdringen oder umgehen.

Mithilfe des Modells von Reason fanden Ternov und Akselsson während einer Untersuchung von Systemschwächen im Bereich des Gesundheitswesens vier Typen von latenten Fehlern [TA05]:

1. Latente Fehler, die Gelegenheiten für aktive Fehler erzeugen.
2. Latente Fehler, die ein Hindernis für die Fehlerentdeckung darstellen.
3. Latente Fehler, die mentale Unruhe beim Operator stiften.
4. Latente Fehler, die die kognitive Tendenz des Individuums lenken.

Desweiteren definierten sie zwei Klassen von latenten Fehlern. Die *process control latent failure* Klasse, die ihren Fokus auf Aufgabenausführung legt und die *interactional latent failure* Klasse, die sich auf die Interaktion zwischen den einzelnen Individuen oder Gruppen konzentriert.

Reason selbst beschränkt sich auf eine Klassifizierung anhand von zwei widrigen Effekten; latente Umstände die eine *unsichere Handlung provozieren* (z.B. Zeitdruck, Unterbesetzung, falsche Werkzeuge, mangelnde Erfahrung, Unwissenheit) und latente Umstände, die als *Schwächen von Sicherungsmechanismen* einzuordnen sind (z.B. undurchführbare Prozedere, Defizite in der Konstruktion).

Die latenten Zustände in Organisationen verursachen jedoch nicht alleine die unerwünschten Ereignisse. Die widrigen Ereignisse ergeben sich aus mehreren Faktoren. Es ist eine Zusammensetzung aus aktiven Fehlern (z.B. Verletzung einer Prozedur), die durch ein Individuum oder Team mit lokalen Ereignissen des Geschehens (z.B. Wetter, topographische Umstände, etc.) und latenten Zuständen des Systems, kombiniert werden.

Im Gegensatz zu den bis jetzt beschriebenen *latenten Fehler* sind die *aktiven Fehler* unsichere Handlungen, die direkt von einer Person oder einem Team durchgeführt werden. Die Dauer einer solchen Handlung ist meistens sehr kurz und bezieht sich

direkt auf die Dauer der Interaktion mit dem technischen System. Die topologische Anordnung der Handlungen im System kann im Gegenteil zu den latenten Fehlern leichter eindeutig festgestellt werden. Die Schnittstelle zwischen System und Mensch, an der ein aktiver Fehler passiert, nennt Reason das *scharfe Ende* (engl. *sharp end*).

Das Swiss Cheese Modell wurde erfolgreich eingesetzt, um einerseits Systeme in Hinblick auf ihre Sicherungsmechanismen zu analysieren, und zum anderen, um die Ursachen für Fehler in Organisationen zu finden. Unter anderem wurde der Ansatz in der Öl- und Ga-Industrie [WGHR94], in der Luftfahrt [MRJL95], in der Medizin [Rea00] und im Schienenverkehr [Joh02] angewendet.

Trotz der erfolgreichen Fallstudien soll darauf hingewiesen werden, dass das Modell Einschränkungen aufweist. Unter anderem spezifiziert das Modell nicht, was die *Löcher* in den einzelnen *Scheiben* sind [Dek02, S. 119-120]. Luxhoj und Kaufeld fügen hinzu, dass das Modell darüber hinaus die Wechselbeziehungen zwischen den Ursachefaktoren nicht genügend berücksichtigt und deswegen keinen geeigneten Ansatz für ein Untersuchungswerkzeug bietet [LK03]. Es hilft lediglich bei einer *high-level* Analyse. Die Sicht auf die Organisation ist zu statisch um dynamische Prozesse abzubilden [Z.H07].

Einer der wichtigsten Faktoren, die das Vorkommen von latenten Zuständen in soziotechnischen Systemen begünstigt, ist der Mangel an formalisierter Kommunikation und an adäquaten Informationsflüssen in einem komplexen System [EDR82]. Dieser Faktor spielt in dieser Ausarbeitung eine Schlüsselrolle und wird systematisch im Kapitel 6.4 untersucht.

Wie bereits am Anfang des Abschnittes erwähnt, bilden die latenten Fehler einen wichtigen Faktor bei der Charakterisierung von komplexen Systemen. Die Zustände kommen ungeplant vor und sind nur schwer in räumlichen wie auch zeitlichen Bereichen festzustellen. Sie erhöhen das potentielle Risiko eines Zwischenfalls. Es ist aber vor allem wegen des Wirkungsgrades solcher Fehler von besonderem Interesse für Unternehmen, bei denen die Sicherheit eine besondere Rolle spielt, diesen entgegen zu wirken. Im weiteren Abschnitt wird eine solche Gruppe von soziotechnischen Systemen charakterisiert.

3.1.4. Sicherheitskritikalität

Nachdem ein System mit seinen soziotechnischen Aspekten (interaktive Komplexität, enge Kopplung und latente Zustände) charakterisiert wurde, wird nun die sicherheitskritische Perspektive beleuchtet. Die meisten komplexen Systeme werden von Menschen überwacht, gesteuert und bedient. Handelt es sich dabei um Systeme mit einem hohen Sicherheitsbedarf, so werden diese nach Herceg als *sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme* bezeichnet [Her00]. Die Fragen, die sich an dieser Stelle ergeben, sind: „Was ist Sicherheit?“ und „Wodurch ist ein sicherheitskritisches System charakterisiert?“

Sicherheit ist eine relative Größe, die sich auf einzelne Individuen oder Gruppen,

wie auch Gegenstände, Teil- und ganze Systeme bezieht. Die Eigenschaft beschreibt einen Zustand, der als gefahrenfrei für die *Teilnehmer eines Systems* angenommen wird. Eine ähnliche Definition der Sicherheit liefert Leveson in [Lev95] oder Storey, der Sicherheit als: *a property of a system that it will not endanger human life or the environment* sieht [Sto96, S. 2]. Die Definition wird durch Lowrance abgerundet, indem er darauf hinweist, dass dies keine absolute Größe ist und schreibt: *„We will define safety as a judgment of the acceptability of risk, and risk, as a measure of the probability and severity of harm health. A thing is safe if its attendant risks are judged to be acceptable“* [GW84, S. 8].

Sicherheit nach [WS01] besitzt einen dynamischen Charakter und soll nicht als eine statische Größe oder statisches Teil, sondern als ein komplexer Prozess gesehen werden. Unfälle passieren, wenn funktional gestörte Interaktion zwischen Subsystemen eine nicht beherrschbare Situation kreiert. Unter diesem Gesichtspunkt kann die Sicherheit auch als ein Kontrollproblem angesehen werden [Lev04]. Die Kontrolle über ein System zu bewahren, ist eine der Hauptfunktionen des Sicherheitsmanagements, das in 3.2 genauer diskutiert wird.

Basierend auf der Definition der Sicherheit (*engl. safety*) wird auch der Begriff eines *sicherheitskritischen Systems* definiert. Storey definiert ein solches System als *„one by which the safety of equipment or plant is assured“* [Sto96, S. 2]. Innerhalb dieser Ausarbeitung wird jedoch ein sicherheitskritisches System wie folgt definiert: *„Ein System wird als ein sicherheitskritisches System bezeichnet, wenn sein Versagen die Gesundheit von Menschen beeinträchtigen, verletzen oder ihren Tod verursachen kann.“*

Sicherheitskritische Systeme sind meistens hoch technologische Systeme und erstrecken sich über Gebiete der Raum-, und Luftfahrt, der Atom-, Chemie- und Ölindustrie, wie auch Bereiche des Gesundheitswesens. Die desaströsen Folgen eines Systemversagens können bereits mit einigen Katastrophen wie dem Bophal Unfall 1984 in Indien [Shr87], der Explosion des Challenger Shuttels [Hal03], dem Friendly Fire Unfall in der amerikanischen Armee am 14 April 1994 im Nord-Irak [LAS02], dem Unfall auf dem Warschauer Flughafen am 14 September 1993 [LL97], oder dem Flugzeugabsturz bei Smolensk, der sich am 10. April 2010 ereignete und Teil der polnischen Regierung auslöschte, oder einen weiteren Zugunfall, der in Belgien am 15.02.2010 passierte, unterstrichen werden.

Um die Anforderungen an die Sicherheit eines Systems adäquat zu ermitteln, können die sicherheitskritischen Systeme in Abhängigkeit der Gefahr, die im Falle eines Ausfalls von ihnen ausgeht, unterschiedlichen Risikoklassen zugeordnet werden. Mögliche Sicherheitsstufen für solche Klassifizierungen bilden die *safety integrity levels* (SIL), die in dem IEC-Standard 61508 verankert sind. Der IEC 61508 [Com98] ist ein industrieneutraler Standard. Er beinhaltet 4 Ebenen der Sicherheitsausführung von elektrischen und elektronischen Geräten. Mit den einzelnen Ebenen (Levels) kann die Sicherheit als Systemeigenschaft quantifiziert werden. Ein SIL Wert wird mit einer Sicherheitsfunktion berechnet und beurteilt die Zuverlässigkeit ei-

nes Systems. Die in Deutschland angewendeten Sicherheitsnormen DIN/VDE 9250, DIN/VDE 19251 und DIN/VDE 801 werden in diesem kohärenten Standard berücksichtigt. Weitere Standards, die im Militärbereich angewendet werden, wie z.B. der: Interim Defense Standard 00 – 56, schlagen eine ähnliche Klassifizierung vor [MOD07].

Damit erwartete wie auch unerwartete Beeinträchtigungen abgewehrt oder hinreichend unwahrscheinlich werden, ist es nötig, Sicherheitsmaßnahmen in ein sicherheitskritisches System zu integrieren. Im folgenden Unterkapitel wird die Sicherheitsgestaltung diskutiert. Vor dem Hintergrund der Etablierung eines Sicherheitsmanagements soll die Diskussion vor allem die Wichtigkeit der Unternehmenskultur als einen bedeutsamen Aspekt des Vorhabens beleuchten.

3.2. Sicherheitgestaltung in soziotechnischen Systemen

In den folgenden Abschnitten wird das Sicherheitsmanagement definiert und einige wichtige Standards, in denen es verankert ist, erwähnt. Anschließend wird die Bedeutung, welche die Organisationskultur für die Sicherheit eines Systems darstellt, diskutiert.

3.2.1. Sicherheitsmanagement, Definitionen und Standards

Eine geeignete Maßnahme um Systemversagen zu vermeiden, eine gefährliche Situation in der Zukunft eines Systems rechtzeitig zu erkennen, sie zu entschärfen und eine Reduktion von möglichen Folgen eines Unfalls zu erreichen, ist ein geeignetes Sicherheitsmanagement. Sicherheitsmanagement wird von Organisationen ins Leben gerufen, um ein tiefgreifendes und möglichst vollständiges Verständnis für die Natur der unerwünschten Vorkommnisse zu entwickeln und Anforderungen an die Sicherheit eines Systems zu gewährleisten.

Es existiert eine Vielzahl von Definitionen eines Sicherheitsmanagements. Der bereits erwähnte Standard 00-56 definiert es als: „*The organisational structure, processes, procedures and methodologies that enable the direction and control of the activities necessary to meet safety requirements and safety policy objectives*“ [MOD07, Teil 1, S. 17]. Eine weitere Definition, die für diese Ausarbeitung übernommen wird, liefert die Richtlinie 96/82/EG (Seveso II - RL) zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen: „*Safety management may be defined as the aspect of the overall management function that determines and implements the safety policy. This will involve a whole range of activities, initiatives, programs, etc., focused on technical, human and organisational aspects and referring to all the individual activities within the organisation, which tend to be formalised as Safety Management Systems*“ [PA97].

Der Erfolg eines Sicherheitsmanagements hängt vor allem von der Integration der Maßnahmen auf allen Ebenen eines Unternehmens ab. Die bereits erwähnte Richtlinie *Seveso II* enthält zusätzlich für alle Betriebe, die unter die Störfallverordnung (12. *BImSchV*³) fallen und als gefährlich eingestuft werden, explizite Punkte, welche im Rahmen des Sicherheitsmanagements zu regeln sind:

Organisation und Personal Es werden Aufgaben und Verantwortungsbereiche klar definiert auf allen Organisationsebenen. Desweiteren sollen Ausbildungs- und Schulungsmaßnahmen geregelt werden.

Ermittlung und Bewertung der Risiken schwerer Unfälle Es sollen systematische Ermittlungen von Gefahren von Störfällen durchgeführt werden. Zusätzlich sollen auch Wahrscheinlichkeiten für die Schwere von Störfällen ermittelt werden.

Betriebskontrolle Es sollen Verfahren für einen sicheren Betrieb, auch bei eventuellen Unterbrechungen, erarbeitet werden.

Sichere Durchführung von Änderungen Falls Änderungen durchgeführt werden sollen, so müssen diese genau nach einem Plan erfolgen.

Planung für Notfälle Es sollen Verfahren erarbeitet werden, die das Reagieren bei Notfällen festlegen. Diese sollen auf Basis einer systematischen Analyse des Systems erfolgen.

Überwachung der Leistungsfähigkeit des Sicherheitsmanagementsystems Es sollen Verfahren zur ständigen Bewertung der Erreichung der festgelegten Ziele des Sicherheitsmanagementsystems. Zusätzlich sollen Mechanismen zur Untersuchung und Korrektur bei Nichterreichen dieser Ziele eingerichtet werden.

Systematische Überprüfung und Bewertung Es soll ein Verfahren zur systematischen und regelmäßigen Bewertung des Konzepts zur Verhinderung von Störfällen erstellt werden. Die Überprüfung soll überwacht und dokumentiert werden.

Die *Seveso-II-Richtlinie* der EU wurde in deutsches Recht umgesetzt: damit ist das Sicherheitsmanagementsystem gesetzlich bindend⁴. Unter diese Verordnung fallen alle Betriebe, die Bereiche besitzen in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, aber

³Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (12. BImSchV)

⁴ Die Verordnung wurde als Artikel 1 d. V v. 26.4.2000/I603 (GefStoffUnfUmsV) von der Bundesregierung nach Anhörung der beteiligten Kreise mit Zustimmung des Bundesrates erlassen. Sie ist gem. Art. 4 Satz 1 dieser V mWv 3.5.2000 in Kraft getreten. Quelle: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht>

auch Betriebe, die einen sicheren Umgang mit gefährlichen Anlagen und Stoffen anstreben.

Ähnliche Leitlinien und Konzepte für die Gestaltung eines Sicherheitsmanagements wurden für einzelne Industriezweige von mehreren Schirmorganisationen publiziert. Für die zivile Luftfahrt wurde zum Beispiel von der *International Civil Aviation Organization (ICAO)* eine Anleitung für die Einhaltung und Durchführung von Sicherheitsmanagement zu einer Fluggesellschaft veröffentlicht [ICA06]. Das Konzept wird von Organisationen, wie der *Federal Aviation Administration (FAA)*, *Transport Canada (TC)*, *International Airlines Transport Association (IATA)* und *Flight Safety Foundation (FSF)* unterstützt.

Die Leitlinien konzentrieren sich leider darauf, welche Inhalte ein Sicherheitsmanagement innehaben soll und nicht wie so ein Prozess systematisch mithilfe von entsprechenden Modellen, Konzepten und kompatiblen Methoden durchgeführt werden soll [Dij06]. Auch die Integration eines Sicherheitsmanagements spielt in den Leitlinien keine wesentliche Rolle.

3.2.2. Integration des Sicherheitsmanagements

In der Literatur können mehrere Modelle für das Sicherheitsmanagement gefunden werden. Beispiele können in [HHCK97], [Dij06], [Jon09] und in [SN06] nachgeschlagen werden.

Sitzberger und Nowey schlagen in [SN06] einen interessanten systematischen, modellgestützten Ansatz vor, der die Methoden für Sicherheitsmanagement aus dem Business Engineering adaptiert. Eine ganzheitliche Beschreibung eines Systems wird anhand einer hierarchischen Struktur des Sicherheitsmanagements erreicht. Die Struktur beinhaltet zwei Ebenen: eine *strategische* und eine *operative* Ebene. Die strategische Ebene enthält die *Sicherheitspolitik*, welche die *strategischen Ziele, Visionen und Strategien* eines Unternehmens zusammen mit den *Grundsätzen und Richtlinien* des Wirtschaftszweigs zu dem eine Organisation gehört, verinnerlicht. Die *operative* Ebene unterteilt sich in die *konzeptionelle-* und die *Implementierungsebene*. Auf der konzeptionellen Ebene werden die *Sicherheitskonzepte* mit relevanten Abläufen, *Vorkehrungen* und *Maßnahmen*, die in einer Organisation der Verhinderung oder Begrenzung von Störfällen dienen konkretisiert. Es erfolgt an dieser Stelle zusätzlich auch die *Notfallplanung*, sowie das *Konfigurations- und Änderungsmanagement*. Neben dem konzeptionellen Teil werden die *Maßnahmen endgültig identifiziert* und *realisiert*. Des Weiteren erfolgt die *Überwachung* der Umsetzung. Dieser Ansatz richtet die Aufmerksamkeit auf die Geschäftsprozesse; die menschliche Komponente findet keine Beachtung. Es ist ein weiterer Ansatz des modernen Taylorismus.

Anders als im Ansatz von Sitzberger und Nowey wird der traditionelle Ansatz des Sicherheitsmanagements durch die Interaktion zwischen drei Feldern charakterisiert. Jones schlägt in [Jon09] folgende Bereiche vor: Im ersten Bereich kommen die *Arbeitsumgebung* mit *Maschinen, Material, Equipment und Standort* vor. An

dieser Stelle ist die Aufgabe des Sicherheitsmanagements die Bedingungen für die Ausübung einer Aufgabe den geforderten Sicherheitsbestimmungen anzupassen.

Der zweite Bereich beinhaltet das *Management*, welches sich über *Planung, Gestaltung von Vorschriften für Prozeduren und Methoden* über *Risikoabschätzung*, bis zu der *Schwachstellenuntersuchung* und *Beinahe-Unfallanalysen*, erstreckt.

Und der dritte Bereich des *menschlichen Faktors*, der mit menschlichem *Verhalten, Erfahrungen, Training, erlangter Kompetenz* und *Kultur* eine Schlüsselrolle in der Etablierung eines Sicherheitsmanagements spielt.

Vor allem soll der dritte Bereich als eine fundamentale Komponente gewährleisten, dass das Risikobewusstsein von Menschen im Unternehmen geschärft wird. Dies wiederum soll sich positiv auf ein Unternehmensklima auswirken, in welchem die Akzeptanz für das Sicherheitsmanagement gegeben ist.

Kam und Melia untersuchten mehrere Unternehmen im Hinblick auf das vorzufindende Klima. Sie fanden heraus, dass das Klima, welches in einem Unternehmen herrscht, signifikant die Umsetzung eines Sicherheitsmanagements beeinflusst [KM03]. Sie klassifizierten die identifizierten Ansätze wie folgt:

1. **Prozeduren dominierend** In diesem Ansatz stehen das Training und die Weiterbildung der Mitarbeiter im Mittelpunkt. Die Annahme des Ansatzes ist, dass jede (unerwartete) Situation mit einem entsprechenden Training abgefangen werden kann.
2. **Regelbefolgsorientiert** In diesem Ansatz wird die Anschauung verfolgt, dass, wenn Regeln und Prozeduren klar definiert werden, ihre Verfolgung in einer Systemsicherheit münden sollte .
3. **Bestrafungsorientiert** In diesem Ansatz wird der Schuldige bestraft. Diese Methode soll das Sicherheitsverhalten in einer Organisation effektiv kontrollieren.
4. **Störungsgetrieben** In diesem Ansatz kommt eine Reaktion erst, wenn eine Störung passiert. Dies soll weitere Unfälle verhindern.
5. **Kontrollorientiert** In diesem Ansatz liegt die Verantwortung allein auf der Managementebene. Die aufgabenausführenden Mitarbeiter sind unbeteiligt und führen nur ihre Aufgaben durch.
6. **Bewusstseinsorientiert** Das Sicherheitsverhalten ist ein rationales Ergebnis dessen, wie weit das Bewusstsein der Sicherheit in einer Organisation vorhanden ist.

Das Ergebnis der Untersuchung von Kam und Melia zeigte, dass keine der Klassen einen holistischen Ansatz eines Sicherheitsmanagements präsentieren konnte. Das

Systemdenken und die Interaktion zwischen den einzelnen bereits erwähnten Bereichen (Umgebung, Management, menschlicher Faktor) stehen nicht im Vordergrund der Ansätze, sondern sind einseitig ausgerichtet. Vor allem die Ansätze 3, 4 und 5 sind darauf ausgelegt den Schuldigen zu finden und ihn zu tadeln. Die tatsächlichen Ursachen eines Vorkommnisses rutschen dabei in den Hintergrund. Ein solches Klima wirkt sich nachteilig auf ein erfolgreiches Sicherheitsmanagement, sowie das Aufdecken von Sicherheitsschwachstellen aus und begünstigt weitere Unfälle.

Analog zu diesen Erkenntnissen fanden Hoffmann und Stetzer, dass das Sicherheitsklima (engl. safety climate) und die Sicherheitskommunikation (engl. safety communication) bedeutsam die Ursachen von Arbeitsunfällen beeinflussen [HS98]. In Unternehmen mit einem schlechten Sicherheitsklima und mit schlechter Sicherheitskommunikation waren die Mitarbeiter weniger bereit (wahre) Ursachen von Handlungen Preis zu geben.

Diese Feststellungen bedeuten, dass die Beteiligung der Mitarbeiter am Prozess der Sicherheit und deren Rückmeldung als Basis für die Umsetzungskontrolle und den Lernprozess in einer Organisation dient [C.08], [Coo03] und als Voraussetzung für die erfolgreiche Integration eines Sicherheitsmanagements fungiert. Diesbezüglich soll im nächsten Abschnitt die Organisationskultur als eine Form vom Unternehmensklima mit ihren beiden gegensätzlichen Ausprägungen im Hinblick auf die Sicherheit vorgestellt werden.

3.2.3. Unternehmenskultur und Sicherheit

Jede Organisation besitzt ihre eigene Kultur, die den Umgang mit menschlichem Versagen manifestiert. Wird in einem Unternehmen oder einer Organisation der Fokus darauf gelegt, den Schuldigen für ein unerwünschtes Ereignis zu finden, so kann davon ausgegangen werden, dass in dieser Organisation eine Schuldkultur (*eng. Blame Culture*) herrscht. Im folgenden Abschnitt sollen Überlegungen angestellt werden; was für Umstände eine solche Kultur begünstigen, welche Konsequenzen dies für ein Unternehmen haben kann und wie ein Kulturwechsel möglich ist.

Es gibt zahlreiche Definitionen von Kultur. Kluckhohn trug in [KK52] über 200 Definitionen dieses Begriffs zusammen. Generell charakterisieren eine Kultur *Muster von Denken und Handlungen, Normen* aber auch *Werte*. Durch diese Muster identifiziert sich eine bestimmte (soziale) Gruppe von Menschen. Schein präsentiert eine allgemeingültige Definition von Kultur als „*(...) a pattern of basic assumption-invented, discovered, or developed by given groups as it learns to cope with its problems of external adaptation and internal integration-that has worked well enough to be considered valid and, therefore, to be taught to new members as the correct way to perceive, think and feel in relation to those problems*“ [Sch95, S.9]. Schränkt man diese Gruppe von Menschen auf eine Organisation ein, so wird von einer Organisationskultur gesprochen.

Eine mögliche Ausprägung der Unternehmenskultur bezüglich der Sicherheit ist

die Schuldkultur. Eine Organisation, in der diese Kultur verankert ist, konzentriert sich bei der Aufklärung eines Unfalls, vor allem darauf, den Schuldigen zu finden. Dies ist die Haupteigenschaft einer solchen Kultur. Die zeitliche und räumliche Anordnung einer inadäquaten Handlung werden einer bestimmten Person zugeordnet, die dann mit Konsequenzen rechnen muss. Die Schuld für eine falsche Durchführung einer Aufgabe einem einzigen Menschen oder einer Gruppe von Menschen zuzuschreiben ist der einfachste Weg, die Verantwortung für das Geschehen von der Organisation fernzuhalten. Die Positionen, die die Beschuldigten bekleiden, befinden sich meistens auf der untersten organisatorischen Ebene. Es sind oft die einfachen Arbeiter auf dem *Sharp End* [Rea90]. Eine solche Haltung gegenüber Problemen wirkt sich negativ vor allem auf die Zusammenarbeit der *Frontliner* mit dem Management aus und das Aufklären von ungewollten Zuständen wird systematisch verhindert [HS98, S. 646].

Ursachen für ein Systemversagen wie zum Beispiel das Tschernobyl-Unglück im Jahr 1986, oder der Flugzeugunfall über Überlingen in Deutschland im Jahre 2002, die ihren zeitlichen Ursprung vor dem tatsächlichen Ereignis hatten und einen organisatorischen Charakter besaßen, werden nicht gern durch die Organisationsführung oder Politiker gesehen. Die erwähnten Unfälle wurden genau untersucht, doch oft herrscht in vielen Organisationen die Meinung, dass zwar mit einem disziplinierten Verfahren die Probleme in den Griff zu bekommen falsch und lediglich eine Scheinlösung ist, aber dieser Weg ist bequem und deswegen immer noch vorhanden [KM03]. Die gravierende Konsequenz ist, dass die tatsächlichen Ursachen für Fehler nicht erkannt werden und die gleichen Fehler in der Zukunft wieder passieren können [Bon07]. Die Untersuchungen der letzten Jahre zeigen aber, dass eine positive Entwicklung stattfindet, und diese Art von Kultur aus vielen Bereichen, wie zum Beispiel der Medizin, immer mehr verschwinden [Bea06, S. 13].

Kulturwechsel

Um solche kulturellen Probleme zu lösen, muss ein Umdenken auf allen Ebenen einer Organisation stattfinden. Die bereits in vorherigen Abschnitten erwähnten Ansätze von Perrow [C.92] und [Rea90] initiierten mit ihrer ganzheitlichen Sicht auf die soziotechnischen Systeme ein Umdenken. Seitdem wächst kontinuierlich die Akzeptanz bei Unternehmen, dass Fehler im System Organisationsfehler sind, und ein Ergebnis von multikausalen Ereignissen widerspiegeln. Das beste Beispiel dafür ist der Bericht vom *Columbia* Unfall, in dem vor allem die gebrochene Sicherheitskultur (*broken safety culture*) als Ursache der Unfälle bei der NASA genannt werden [CAI03, S. 184].

Die Arbeiter, die die Unfälle verursachen sind, wie Leveson behauptet, im Grunde genommen lediglich dem System ausgeliefert [Lev03]. Es ist ein Trend Richtung der sogenannten *Sicherheitskultur* zu erkennen.

In der Literatur wird die Sicherheitskultur synonym zum Sicherheitsklima ver-

wendet. Zohar definiert zum Beispiel das Sicherheitsklima als eine kohärente Bestimmung von Vorstellungen und Erwartungen von Aktivitäten bezüglich der Organisationssicherheit [Zoh80]. Dabei ist die Sicherheitskultur komplexer, beinhaltet Werte und Normen, die sich in einem Sicherheitsmanagement widerspiegeln [MF99].

Dyrhaug und Holden definieren in [DH96, S. 7] die Sicherheitskultur als „(...) *series of beliefs, norms, attitudes, roles and social and technical practices which are established to minimize the exposure of employees, managers, customers and third parties to hazard.*“

Eine weitere Definition liefert Wiegmann in [WZT+02]: „*Safety culture is the enduring value and priority placed on worker and public safety by everyone in every group at every level of an organization. It refers to the extent to which individuals and groups will commit to personal responsibility for safety, act to preserve, enhance and communicate safety concerns, strive to actively learn, adapt and modify (both individual and organizational) behavior based on lessons learned from mistakes, and be rewarded in a manner consistent with these values.*“ Ähnlich wie der ursprüngliche Begriff der Kultur wurde auch die Sicherheitskultur mehrfach definiert. Eine Sammlung von Definitionen kann im gleichen technischen Bericht gefunden werden [WZT+02].

Die wichtigste Dimension der Sicherheitskultur bilden die Management- und die Mitarbeiterbeteiligung [Hav00]. Diese Dimensionen bilden gleichzeitig die Hauptdeterminanten einer erfolgreichen Umsetzung eines Sicherheitsmanagements [BL95], [DeJ94]. Die Mitarbeiter sollen dabei in die Gefährdungsbeurteilung und die Ereignisuntersuchung einbezogen werden. Es sollen unter anderem Kompetenzen bezüglich der Gefährdungswahrnehmung und ihrer offenen Kommunikation in einer Organisation entwickelt werden. Unter diesem Gesichtspunkt ist der Parameter *Mensch*, die wichtigste Variable, um die Sicherheit eines Unternehmens zu gewährleisten. Die Sicherheit einer Organisation, ist nach Helmreich und Merritt [HM96] neben dem Abfangen von Fehlern, bevor diese passieren und Linderung der Folgen von Schäden, eins der wichtigsten Ziele einer Sicherheitskultur. Dies ist nur dann möglich, wenn in der Sicherheitskultur die Lernkomponente nicht vernachlässigt wird [Rea97]. Dieser Aspekt wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

3.2.4. Lernen aus Fehlern

Eine der wichtigsten Methoden zur Verbesserung der Sicherheit in Organisationen ist das Lernen aus der Betriebserfahrung. Wilpert und Fahlbruch definierten das *Lernen* generell als: *change of goal directed behavior based on experience*. Diese Definition wurde von Wilpert genutzt, um das Lernen einer Organisation zu charakterisieren. Metaphorisch gesehen, sollen Organisationen genauso wie Menschen in der Lage sein aus ihren Fehlern zu lernen. Afyris und Schön schlagen mit ihrer Definition eine ähnliche Richtung ein und definieren das organisatorische Lernen umfassend als *detection and correction of errors* [AS78].

Eine Organisation besteht aus einzelnen Individuen und das organisatorische Wissen basiert auf den individuellen Lernprozessen. Ein Lernprozess in einer Organisation setzt voraus, dass das relevante Wissen, welches ein einzelnes Individuum sich aneignet, durch aktive Maßnahmen für die gesamte Organisation kollektiviert, vernetzt und zugänglich gemacht wird [AS99, S. 200]. Die Voraussetzung für das Lernen aus unvorhersehbaren Vorgängen und Störungen, ist eine systematische Analyse dieser Ereignisse. Dieser Zusammenhang wurde bereits, wie die folgende Aussage von Aidan Hayes eines Managers in der Industrie belegt, wahrgenommen.

*Many of the accidents we are seeing now are repeat incidents, which is unacceptable. We have to become better at learning from these events, but the challenge is to more effectively share that learning and ensure the learning from other incidents is embedded to avoid repeats*⁵

Eine wertvolle Lernquelle von Informationen für die Verbesserung von der Arbeitssicherheit stellen Beinahe-Unfälle dar. Beinahe-Unfälle sind unerwartete und ungewollte Ereignisse, die die Abweichungen von normalem Systemverhalten darstellen, welche einen Schaden oder Unfall verursachen können. Systematische Berichterstattungen von Mitarbeitern an die Experten über erkannte Systemschwächen beinhalten wichtige Warnsignale, richtig umgesetzt sind diese ein starkes innerbetriebliches Instrument, das als Chance für die Verbesserung von Qualitätsstandards gesehen wird.

Beinahe-Unfälle und kleine negative Ereignisse sollen laut Koorneef genauso sorgfältig wie seriöse Unfälle untersucht werden [Koo00]. Zum einen sind sie eine wichtige Informationsquelle über Schwachstellen eines Systems. Zum anderen gehen sie den bedeutenden Unfällen voraus. Heinrichs *Unfalldreieck* zeigt die Beziehung zwischen Beinahe-Unfällen, kleinen Vorkommnissen und bedeutenden Unfällen oder Verletzungen eines Systems [HPR80]. Ergebnisse seiner Untersuchung zeigten, dass auf eine bedeutende Verletzung 29 kleinere Vorkommnisse kommen, die erst nach 300 Beinahe-Unfällen folgen. In den späten 60er Jahren, analysierte Bird in [BG69] 1.753.498 Unfällen von 297 Organisationen aus 21 unterschiedlichen Industriezweigen. Er revidierte das ursprüngliche Modell der Unfallpyramide von Heinrich mit seinen Ergebnissen und fügte der Pyramide, die auf der Abbildung 3.4 zu sehen ist, eine weitere Ebene hinzu.

⁵Aidan Hayes, Director of Group Safety in BP, 2004

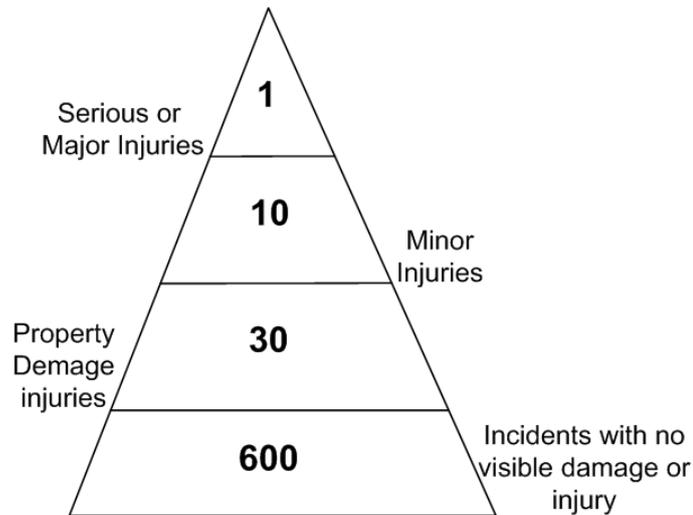


Abbildung 3.4.: Birds Unfalldreieck, angelehnt an [BG69].

Um aus den Ereignissen auf der Ebene eines Unternehmens zu lernen, geht es nicht nur darum, *wie* und *welche* Erkenntnisse erworben wurden, sondern vor allem darum, wie sie intern in einer Organisation kommuniziert, aufbereitet und zugänglich gemacht werden. Dies ist ein wichtiger Punkt um die Erkenntnisse tatsächlich in die Entscheidungsprozesse einfließen zu lassen. Denn, wie Duncan und Weiss argumentieren: *it is the access to and use of knowledge and not the possession of it that is critical in this concept of organizational knowledge* [DW79, S. 86].

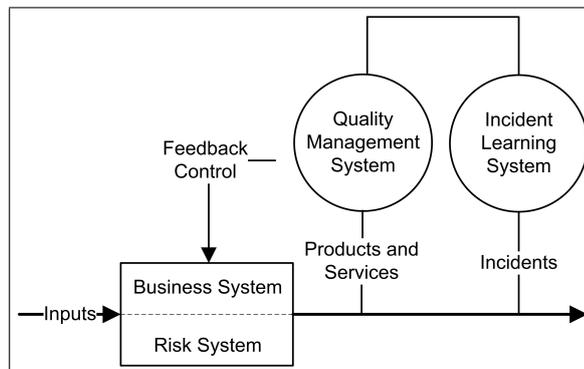


Abbildung 3.5.: Lern- und Qualitätssystemsicht, angelehnt an: [Coo03].

Eine effektive Lösung um aus dem gesammelten Wissen über Warnsignale zu lernen, in dem die Erkenntnisse adaptiert werden, ist ein Beinahe-Unfall-Lernsystem (*engl. Incident Learning System*). Es ist eine Sammlung von Ressourcen einer Organisation, die eine Organisation zum Extrahieren von brauchbaren Informationen aus den Beinahe-Unfällen im Hinblick auf die Gefahrenminderung und gleichzeitiger

Steigerung der Leistungsfähigkeit befähigen [Coo03]. In Organisationen mit einem integrierten Beinahe-Unfall-Lernsystem wird ein kontinuierlicher Verbesserungszyklus, der einen Weg zu einer verlässlichen Organisation begründet, aufgesetzt.

Die eingebettete Berichterstattung innerhalb eines Lernsystems, das parallel zu dem Qualitätsmanagement stattfindet, verbessert die Akzeptanz und die Bedeutung von solchen Prozessen. Ein solches System wurde von Kim in [Kim94] konzipiert. Abbildung 3.5 zeigt die schematische Darstellung einer Integration der beiden Systeme. Cooke erweiterte das Modell von Kim und erstellte, inspiriert von der *Normal Accident Theory* und der *High Reliability Theory*, ein dynamisches Lernsystem für Beinahe-Unfälle [Coo03].

Das integrierte Lernsystem sollte, um erfolgreich zu existieren nach Cooke [Coo03] folgende Elemente beinhalten: als wichtigste Elemente ermittelte er die *Identifikation von Ereignissen* und die *Verantwortung, diese so schnell wie möglich zu verbessern*, weiter folgen *Berichtserstattung, Nachforschung, Identifikation von Ursachen und deren Struktur, Kommunikation und Verbreitung des Wissens, Erinnern an vergangene ungewollte Ereignisse* und schließlich die *Umsetzung von korrekten Aktionen*.

Die Simulationen von Cooke zeigten, dass die Einführung eines Beinahe-Unfall-Lernsystems Jahre in Anspruch nehmen kann, doch Johnson suggeriert in [Joh03], dass ein adäquater Umgang mit den Beinaheunfällen als Warnsignale eine Möglichkeit darstellt, das Sicherheitbewusstsein in einer Organisation zu steigern, ohne den Kostenfaktor, der von Unfällen ausgeht, in Anspruch zu nehmen. Die Kosten, die durch Katastrophen in sicherheitskritischen Systemen verursacht werden, veranschaulicht der folgende Abschnitt.

3.3. Unfallkosten

Anders als Beinahe-Unfälle sind Unfälle mit Sach- oder Personenschäden verbunden. Die Kosten können je nach Art des Unfalls eine beträchtliche Größe erreichen. Dies ist einer der Gründe für Organisationen in die Aufklärung der Unfälle und daraus resultierende Erkenntnisse zu investieren.

Als es um 4 : 00 Uhr morgens am 28. März 1979 auf Three Mile Island in Harrisburg, Pennsylvania, im zweiten Reaktorblock einer Kernkraftanlage zu einer partiellen Kernschmelze kam, war das Kernkraftwerk gerade vier Monate im vollen Betrieb und hatte bis dahin rund 700 Millionen US-Dollar gekostet. Nach dem Unfall, währenddessen ein Drittel des Reaktorkerns beschädigt wurde, dauerte es fünfzehn weitere Jahre und kostete fast eine Milliarde US-Dollar, das verseuchte Terrain zu säubern [EV09]. Dieser Unfall gehört zu den ersten im Bereich der Kernkrafttechnik und gleichzeitig zu den teuersten.

Betrachtet man die Tragweite des Unglücks von Bhopal in Zentralindien, so wird ein mögliches Ausmaß des menschlichen und technischen Versagens nochmal deutlich. Das Ereignis passierte am 3. Dezember 1984 in einem Werk des US-Chemie-

konzerns Union Carbide während des Produktionsprozesses von Schädlingsbekämpfungsmitteln. Auf Grund von mehreren Funktionsstörungen innerhalb des Produktionsprozesses konnten mehreren Tonnen giftige Stoffe in die Atmosphäre gelangen. Dies kostete mehr als 20.000 Menschen das Leben und weitere 200.000 waren den giftigen Gasen ausgesetzt [VV05]. Dies war in der bisherigen Geschichte eine der schlimmsten Katastrophen in der chemischen Industrie.

Beide Beispiele zeigen deutlich, dass Arbeitsunfälle mit weitreichenden Kosten verbunden sind. Ein Unfall bedeutet einen sozialen, wie auch ökonomischen Nachteil für den Arbeitgeber, genauso wie für den Arbeitnehmer, der durch einen Unfall seine Gesundheit gefährdet. Eine genaue Klassifikation der sozioökonomischen Kosten eines Unfalls kann der interessierte Leser in den Broschüren der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz nachlesen [JM02]. Die folgenden Auszüge aus den Statistiken geben kein vollständiges Bild der Kostenverteilung wieder, sie sollen lediglich für die Problematik sensibilisieren.

Laut der Statistik der internationalen Arbeitsorganisation (ILO) gibt es weltweit rund 2,2 Millionen Todesunfälle jährlich aufgrund von Arbeitsunfällen und berufsbedingten Erkrankungen. Die Zahl der Unfallverletzten beläuft sich auf 270 Millionen. Zu diesen Zahlen kommen zusätzlich 160 Millionen Arbeitnehmer, die wegen Berufskrankheiten dauerhaft oder nur vorübergehend arbeitsunfähig bleiben. Die gesamten Kosten summieren sich auf vier Prozent des weltweiten Bruttosozialproduktes.

In den Ländern der Europäischen Union verlieren jährlich 5500 Menschen wegen eines Arbeitsunfalls ihr Leben und mehr als 75000 sind nach dem Unfall nicht mehr in der Lage, ihre Arbeit wieder aufzunehmen [JM02].

Laut des statistischen Bundesamtes starben im Jahre 2006 in Deutschland 646 Menschen infolge eines direkten Arbeitsunfalls und 2591 infolge einer Berufskrankheit. Die Zahl der tödlichen Arbeitsunfälle war im Jahre 2004 erstmals unter der 1000-er Marke (863 Unfälle) und ist seitdem stetig gesunken. Im Vergleich zu 1994 ist ein Rückgang von tödlichen Unfällen um etwa 50 % zu verzeichnen [Soz05]. Die am meisten gefährdete Branche ist das Bauwesen, gefolgt von der Holzverarbeitenden Industrie, Landwirtschaft und weiteren. Am meisten gefährdet sind Menschen zwischen dem 18-ten und 24-ten Lebensjahr und diejenigen, die weniger als 2 Jahre im Betrieb arbeiten.

Die Medizin repräsentiert einen komplexen, anhängig von Spitzentechnologie, auf Teamarbeit basierenden Bereich, der zu Unfällen neigt. Kohn gibt diesem Bereich in [KCD00] eine besondere Stellung im Vergleich zu anderen Industriezweigen. In der Medizin passieren Unfälle auf Kosten von Patienten und nicht auf Kosten des Personals. Die Personen, die aktiv eine Gefahr initiieren, sind nicht die Geschädigten, wie es in anderen Industriezweigen der Fall ist.

Aus den Untersuchungen der WHO kann entnommen werden, dass 4% von Patienten in Krankenhäusern ein Schaden direkt im Krankenhaus zugefügt wird, 70% enden mit einer Behinderung und über 14% führen zum Tod des Patienten. Nur in den USA liegt die Zahl der Toten aufgrund von medizinischen Fehlern zwischen

44.000 und 98.000 jährlich. Im Vergleich dazu wird geschätzt, dass in Großbritannien jedem zehnten Patient unnötige Verletzungen zugefügt werden. Dies ist gleichzeitig auch der europäische Durchschnitt. Die Kosten für medizinische Fehler im staatlichen Gesundheitsdienst für Großbritannien werden auf eine Milliarde Pfund geschätzt und in den USA auf etwa 17 bis 29 Milliarden Dollar jährlich [WHO03, Annex 1].

Menschen tendieren dazu, Risiken ihres Arbeitsplatzes zu unterschätzen und glauben, die dauerhafte Kontrolle über ein dynamisches System zu haben. Die Arbeiter besitzen *ein grundlegendes Menschenrecht, sicher von der Arbeit nach Hause zurückzukehren* [Saa01], doch in einer Umgebung, in der die Gefahr von dem Menschen selbst kreiert wird, wird von dem Recht kein Gebrauch gemacht. Die Ergebnisse der oben genannten Studien unterstreichen die Notwendigkeit, in der Zukunft bessere Unfallverhütungssysteme als die bestehenden zu entwerfen.

3.4. Zusammenfassung

Im Kapitel 3 wurde die Charakterisierung von soziotechnischen Systemen vorgenommen. Weiterhin wurde Bezug auf die Sicherheit von solchen Systemen genommen und die sicherheitskritischen Systeme wurden definiert. Organisationen, die den sicherheitskritischen Systemen zugeordnet werden, werden verpflichtet auf unvorhergesehene Situationen vorbereitet zu sein, damit ihre Handlungsfähigkeit nicht gelähmt wird und der mögliche Schaden gar nicht erst auftritt oder minimal gehalten wird. Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen entsprechende Maßnahmen erfolgen. Dazu gehört unter anderem ein Sicherheitsmanagement mit einem wirksamen Berichtswesen, dessen Grundlage eine funktionsfähige Sicherheitskultur darstellt. Dabei wurde unter anderem die Bedeutung der Organisationskultur hervorgehoben und die Rolle des organisatorischen Lernens anhand von Beinahe-Unfällen beleuchtet. Am Ende des Kapitels wurde ein Überblick gegeben über die Kosten, die ein Fehler in einem sicherheitskritischen System verursachen kann.

Die Voraussetzung, um technologisch komplexe Systeme möglichst zuverlässig zu bauen, ist zum einen, die technische Seite eines Systems mit Sicherheitsmechanismen zu gestalten, und zum anderen die Arbeitsabläufe von Menschen besonders sicher zu arrangieren. Dies ist nötig, um die Fehleranfälligkeit von Aufgaben, welche durch Menschen durchgeführt werden, zu reduzieren. Dies setzt jedoch voraus, dass das menschliche Verhalten in ungeplanten Situationen und damit auch die möglichen menschlichen Fehler mit allen ihren Facetten verstanden werden.

4. Menschliche Fehler

„*Irren ist menschlich und Vergeben göttlich.*“ (Alexander Pope, 1711)

Anliegen der Ausführungen in diesem Kapitel ist es, den menschlichen Fehler vor allem im Hinblick auf die Kommunikation zu erläutern.

In Ursachenanalysen von Unfällen, in denen Fehlerentstehungen auf einzelne Individuen bezogen wurden, bilden die Handlungsfehler als Ursache einen bedeutenden Anteil. Schätzungen aus unterschiedlichen Industriezweigen zeigt die Abbildung 4.1.

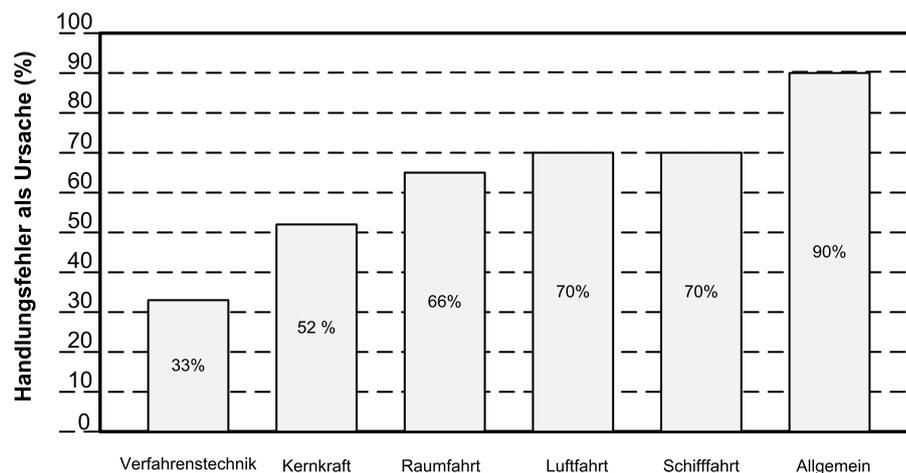


Abbildung 4.1.: Gegenüberstellung der Handlungsfehler aus unterschiedlichen Industriezweigen, angelehnt an [GT00, S.65].

Ein beachtlicher Teil der Handlungsfehler entsteht aufgrund von unzureichender Kommunikation. So wurden Probleme in Kommunikationsprozessen in 60% bis 80% der Berichte von Beinahe- und Unfällen in der Luftfahrt festgestellt [WS03]. Die Situation in der Medizin ist mit der der Luftfahrt vergleichbar [SLR04]. Im Bereich des Schienenverkehrs beträgt der Anteil von Kommunikationsfehlern, die als Ursachen für Abweichungen im regulären Betrieb festgestellt wurden, sogar 92% [P.01]. Praktische Konsequenz dieser Ergebnisse ist, dass der Kommunikationsfehler einer näheren Untersuchung unterzogen werden soll.

Im folgenden Kapitel werden zuerst Definitionen des Fehlers in menschlichem Handeln, der nach DIN 40041 als eine *Nichterfüllung einer Forderung* definiert wurde,

gegenübergestellt. Anschließend werden unterschiedliche Möglichkeiten der Fehler-systematisierung erläutert und dargestellt. Die Fehlersystematisierung wird anhand von mehreren Taxonomien umgesetzt. Zuerst werden Klassifikationen vorgestellt, die sich auf das äußere Erscheinungsbild eines Handlungsfehlers beziehen und eher einen beschreibenden Charakter aufweisen. Anschließend werden Taxonomien aus kognitionspsychologischer Sicht beschrieben. Die psychologische Fehlerforschung bemüht sich, basierend auf den Erkenntnissen aus der kognitiven Psychologie, von den eingetretenen Fehlern auf die ihnen zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten im Handeln mithilfe von kognitiven Entscheidungsmechanismen auf mögliche Ursachen von fehlerhaften Handlungen zu schließen. Letztlich werden unerwünschte Handlungen, die durch mangelnde oder fehlerhafte Anpassung zwischen dem menschlichen Interaktions- und Kommunikationsverhalten in einer eigenen Gruppe, der Kommunikationsfehlergruppe, klassifiziert.

4.1. Definition des menschlichen Fehlers

Im folgenden Abschnitt soll eine geeignete Definition für den menschlichen Fehler herausgearbeitet werden. Die menschliche Fehlhandlung wurde bereits vielfach, abhängig vom Hintergrund, in dem sie eingesetzt wurde, definiert. Grundsätzlich wird über eine *menschliche Fehlhandlung* gesprochen, wenn es zu einer (meistens) sichtbaren Abweichung der Ergebnisse von zielgerichteten menschlichen Handlungen kommt. Sie kennzeichnet sich also durch eine messbare, negative Abweichung zu dem ursprünglich geplanten Wert des Ergebnisses der durchgeführten Handlung. Bei einer Abweichung kommt es zu einem sogenannten Mangel. Dieser Mangel kann wiederum, je nach System, in dem die menschliche Fehlhandlung vorgekommen ist, als Folge einen Schaden im System aufweisen.

Eine solche Auffassung des menschlichen Fehlers wäre eine durchaus zufriedenstellende Definition aus der ingenieurmäßigen Perspektive, die die Einordnung von menschlichen Handlungen allein für den Zweck der Systembeurteilung benötigt. Rugby nutzte diese Sicht für seine Fehlerdefinition:

Eine menschliche Handlung ist als Fehler zu werten, wenn hierdurch die durch das System vorgegebenen Anforderungen nicht bzw. in nicht ausreichendem Maße erfüllt werden [Rig70].

Diese Definition vertritt eine einseitige Sicht auf die menschliche Fehlhandlung. Sie zeigt lediglich das menschliche Versagen und berücksichtigt dabei nur die technischen Leistungsgrenzen eines Systems. Die beschränkte menschliche Aufnahme und die damit verbundene Einschränkung der Leistungsfähigkeit wird in dieser Definition vollständig vernachlässigt. Eine ähnliche Auffassung des menschlichen Fehlers wurde von Swain verfasst:

Der Begriff *menschlicher Fehler* umfasst alle Tätigkeiten oder Leistungen einer Person, welche entweder etwas Unerwünschtes verursachen oder die Möglichkeit besitzen, etwas Unerwünschtes zu verursachen [Swa92].

Diese Definition kommt aus dem Bereich der Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit (engl. Human Reliability Analysis). Dabei wird der menschliche Fehler als reziproker Wert der menschlichen Reliabilität gesehen. Seine Größe (messbarer Wert) ist eng mit der Wahrscheinlichkeit, dass ein Fehler sich während einer Aufgabendurchführung, die durch den menschlichen Benutzer durchgeführt wird, ereignet, korreliert.

Eine Definition, die den Faktor Mensch angemessener berücksichtigt, kommt aus dem kognitivistischen Bereich der Psychologie und sieht den Menschen als informationsverarbeitende Komponente eines Systems. Die folgende Definition von Reason sieht den Menschen zwar als Teil des Systems, welches als eine Verschärfung der Vernachlässigung der menschlichen Leistungsgrenzen gesehen werden kann [Str97], gibt jedoch der Problematik eine neue Sicht:

Fehler gehören zu den Handlungen, in denen eine geplante Abfolge von mentalen oder physischen Aktivitäten das erwünschte Ergebnis verfehlen und diese Verfehlung nicht einer Zufallseinwirkung zugeschrieben werden kann [Rea90].

Reason stellte seine Definition unter Berücksichtigung tiefer liegender Fehler der menschlichen Natur auf. Seine Definition betrachtet den menschlichen Fehler aus der Perspektive der Theorie über kognitive Funktionen, die dem menschlichen Verhalten zugrunde liegen. Seine Definition wird als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen und Klassifikationen des menschlichen Fehlers dienen.

In den folgenden Abschnitten des Kapitels werden die wichtigsten Klassifikationen des menschlichen Fehlers vorgestellt, dabei wird der erwähnte Ansatz von Reason genauer betrachtet.

4.2. Fehlerklassifikation

Die komplexen Systeme, mit denen Menschen interagieren, beinhalten unzählbare Möglichkeiten einen menschlichen Fehler zu produzieren. Deswegen ist es wichtig, eine generelle Klassifikation zu erarbeiten, in der die Ursachen in eigenständige Klassen gruppiert werden können. Einzelne Ursachen des menschlichen Versagens zu untersuchen würde in diesem Fall keinen Sinn ergeben.

4.2.1. Ereignisbasierte Sicht

Eine natürliche Erkennung, dass eine Fehlhandlung stattgefunden hat, ist die Erkenntnis der sichtbaren Folgen. Zwar gibt diese Erkenntnis nicht zwingend eine

direkte Erklärung der Ursachen eines Fehlers, hilft aber die ersten Schritte einer Zuordnung vorzunehmen. Den Schlüssel zu der ersten Klasse der Taxonomie eines menschlichen Fehlers bilden die phänomenologischen Eigenschaften des Systems, in dem sich ein Akteur befindet.

Fehlerklassifikation nach Swain und Guttman

Diese Klassifikation ist eine der einfachsten Fehlerklassifikationen. Sie richtet sich nach dem Auftreten von sichtbaren Ereignissen des Fehlers und wurde aus der phenotypischen Perspektive aufgebaut. Die wichtigsten Vertreter, die eine solche Anordnung befürworteten, waren Rigby [Rig70], Meister [Mei77] und Swain zusammen mit Guttman [SG83]. Bei dieser Klassifikation wurde versucht, menschliche Fehlleistungen unabhängig von bestimmten kontextbezogenen Aufgaben, wie auch Handlungen und Fehlerursachen zu strukturieren. Rigby selbst unterscheidet zwischen *sporadischen*, *zufälligen* und *systematischen* Fehlhandlungen. Sporadische Fehler werden als Ausreißer bezeichnet und lassen sich weder einer zeitlichen noch räumlichen Struktur zuweisen. Beim zufälligen Fehler lässt sich eine Streuung um den angestrebten Zielzustand erkennen, ohne weitere Tendenzen ableiten zu können. Die Ausprägung des systematischen Fehlers charakterisiert dagegen eine klare Tendenz.

Die Ansätze von Meister und Swain gehen einen Schritt weiter und definieren die Fehlleistungen im Hinblick auf die Art der Fehler. Ihre Taxonomie wird zwischen *Ausführungsfehler*, *Auslassungsfehler*, *Hinzufügfehler* und *Sequenzfehler* unterschieden. Zusätzlich kommen die qualitativen Abstufungen eines Fehlers dazu. Swain und Guttman stellten damit eine Grundlage für Schlagwörter, die in der menschlichen Reliabilitätsabschätzung (Human Reliability Assessment, HRA) bis heute zu ihrem festen Bestand gehören. Die Grundlage der Klassifikation bilden folgende drei Gruppen der Fehlhandlungen:

Fehler der Auslassung

- Eine ganze Aufgabe wird ausgelassen
- Eine Teilaufgabe oder Aktion wird ausgelassen

Fehler der Ausführung

- Selektionsfehler - *Ein falsches Objekt, Befehl oder Information wurde ausgewählt*
- Sequenzfehler - *Eine Aktion wird in falscher Sequenz ausgeführt*
- Zeitbedingter Fehler - *Etwas wurde zu früh oder zu spät gemacht*
- Qualitativer Fehler - *Etwas wurde zu wenig, zu viel oder in die falsche Richtung gemacht*

Beziehungsloser Fehler

- Eine falsche oder unnötige Ausführung einer Handlung (Aufgabe)

Mit der simplen Klassifikation der menschlichen Fehler erreichten Swain und Guttman eine der bekanntesten und universalen Klassifikationen, die fast alle sichtbaren Fehler anordnen kann.

Diese Ordnung sucht nach Antworten, *wie* es zu einem Fehler kam; an welcher Stelle (*wo*) sich ein Fehler ereignete; *was* bei einer Ausführung falsch ausgeführt wurde und *wann* ein Fehler geschah. Die Frage nach dem *warum* bleibt dabei, ähnlich wie in der nächsten Klassifizierung, erst einmal offen.

Fehlerklassifikation nach Hollnagel

So wie die Systematik von Swain und Guttman sucht auch die Fehlerklassifikation, die Hollnagel aufstellte, nicht nach der Antwort, *warum* eine Fehlhandlung durchgeführt wurde. Vielmehr werden im Detail die übrigen Fragen untersucht.

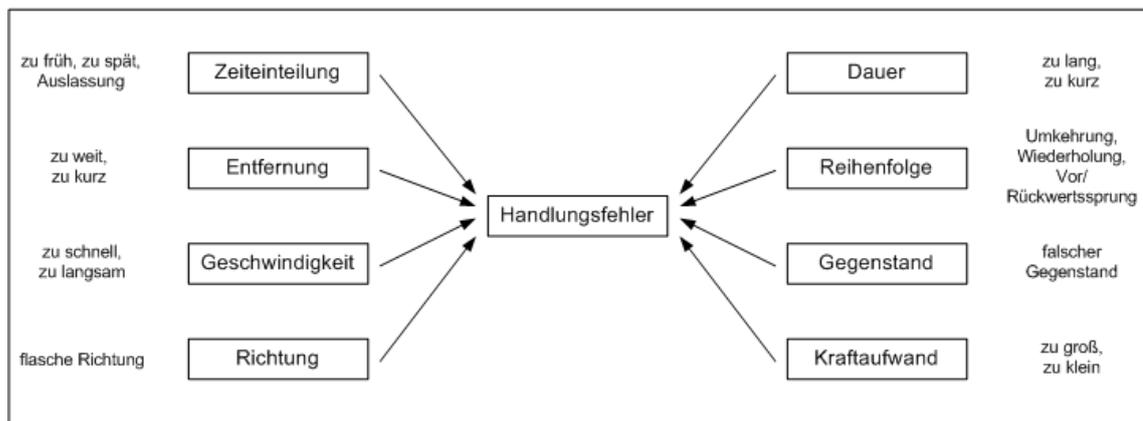


Abbildung 4.2.: Systematik der Fehlerzustände nach Hollnagel, angelehnt an: [Hol98, S. 111]

Die Überlegung von Hollnagel, eine geeignete Systematik des menschlichen Fehlers zu erstellen, basiert auf der Betrachtung von Faktoren, die die Effizienz einer Handlung beeinflussen (*eng. Performance Shaping Factors, PSF*). Eine binäre Klassifikation einer Aktion, aus der ausschließlich die Anordnung nach richtigen oder falschen Handlungen gefolgert werden kann, stellt eine irreführende Lösung des Problems dar. Aus diesem Grund wird von Hollnagel gefordert, dass zuerst Überlegungen erstellt werden sollen, die die Frage beantworten, *inwieweit* eine Handlung von ihrer korrekten Ausführung abweichen kann [Hol98]. Die Antwort soll in Abhängigkeit zu den besagten Effizienzfaktoren erfolgen.

Eine Integration des kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses wird bei dieser Klassifikation abgelehnt. Vielmehr spielt die Phänomenologie eine entscheidende Rolle. Nach Hollnagel wird jeder fehlerhafte Zustand einer der Dimensionen

im *Zeit-Raum-Energie-Kontinuum* beschrieben. Somit ist es möglich, mithilfe der Größen Zeit, Raum (Entfernung) und Belastung, jede Abweichung einer Handlung zu beschreiben. Weiterhin ist es möglich, mithilfe der einzelnen Fehlerzustände die menschliche Reliabilität zu definieren, vgl. Abbildung 4.2.

4.2.2. Kognitionspsychologische Sicht

Die menschlichen Fehlhandlungen wurden im Unterkapitel 4.2.1 aus der phänomenologischen Perspektive beschrieben. Diese Sicht vernachlässigt die kognitiven Abläufe eines Menschen und zeigt nur bedingt die Problematik des menschlichen Versagens. Im Folgenden soll die Sicht auf menschliche Fehlhandlung und eine fehlerhafte Entscheidung um den Faktor der inneren menschlichen Abläufe erweitert werden. Die kognitive Psychologie ist seit Jahren bemüht, eine übergreifende Theorie zu finden, die in einer allgemeinen Sprache die wesentlichen Eigenschaften der menschlichen Informationsverarbeitung darstellt und damit auch das Entstehen von Fehlern beschreibt. Bevor weitere Klassifikationen vorgestellt werden, erfolgt für ein besseres Verständnis ein kurzer geschichtlicher Überblick der menschlichen Kognition.

Menschliche Kognition

Der Begriff *Kognition* (*lateinisch: cognoscere = erkennen, wissen, griechisch: gignoskein = zu wissen, wahrzunehmen*) wurde in der Psychologie des späten 19ten und frühen 20ten Jahrhunderts verwendet, um die Basiselemente und deren Kombination zu bezeichnen. Die Kognition bildet den Gegenstand des fachübergreifenden Feldes der Kognitionswissenschaften.

Während der letzten Jahre bildeten sich vor allem in der Psychologie mehrere Konnotationen des Begriffs heraus. Ohne die einzelne Nebenbedeutung aufzuschlüsseln, soll an dieser Stelle vor allem die kognitive Psychologie erwähnt werden. Dieser Zweig der Psychologie erforscht die Natur der mentalen Prozesse (siehe auch 2.1.7). Zu den kognitiven Funktionen, mit denen sich die kognitive Psychologie beschäftigt, zählen unter anderem die menschliche Wahrnehmung, das Verstehen, das Erkennen, die Aufmerksamkeit und das Gedächtnis mitsamt seinem Aufbau. Es sind alle Leistungen des Gehirns, die beim Zustandekommen intelligenten Verhaltens beteiligt sind. Ziel der Kognitionswissenschaften insgesamt ist es, Theorien der Prozesse und Repräsentationen, die intelligentem Verhalten zugrunde liegen, zu entwickeln.

Das Interesse an Fragen der menschlichen Erkenntnis reicht bis zu dem Philosophen Platon und seinen Schüler Aristoteles. Die Kernfrage des Philosophen Platon und Aristoteles war die Überlegung nach dem tatsächlichen Wissen und der bloßen Meinung. Sie bildete die Grundlage für den *Empirismus*, für den das Wissen aus der Erfahrung stammt, und für den *Nativismus*, der besagt, dass man bereits als Kind mit einem beträchtlichen, angeborenem Wissen auf die Welt kommt. Beide Ströme gelten als rein philosophische Schulen. Die bekanntesten Vertreter des Empirismus

waren Berkley, Locke, Hume und Mill und die der nativistischen Schule Descartes und Kant.

Die ersten naturwissenschaftlichen Untersuchungen der kognitiven Leistungen fanden erst Ende des 19ten Jahrhunderts statt. Die Methoden beschränkten sich damals auf die Introspektion¹. Die Grundlage für solche Untersuchungen war die Überzeugung, dass die Tätigkeit des menschlichen Geistes der Selbstbeobachtung zugänglich ist [And95, S. 7]. Leider führten solche Methoden zu widersprüchlichen Beobachtungen. Demnach war eine objektive und vollständige Aussage über wichtige Aspekte geistiger Prozesse nicht möglich.

Dieser Sachverhalt verstärkte die Entwicklung des Behaviorismus. Vor allem in der ersten Hälfte des 20ten Jahrhundert forderten die Behavioristen eine objektive wissenschaftliche Erforschung des menschlichen Verhaltens. Zu dieser Zeit ereignete sich auch die sogenannte *behavioristische Revolution* mit ihrem wichtigsten Vertreter, dem Psychologen John Watson.

Das Interesse dieser Strömung galt vor allem der Regelmäßigkeit von bestimmten Reizsituationen. Die Reiz-Reaktionspsychologie (eng. *Stimulus-Response-Psychology*) sollte nicht nur die Reaktion auf Reize untersuchen, sondern auch die Verhaltenskonsequenzen, welche positiv oder negativ ausfallen können. Dabei versuchten ihre Vertreter, z.B. Skinner, auf das Wissen und dessen Nutzen bei der Beschreibung objektiv erfassbarer Regelmäßigkeit zu verzichten.

Die behavioristische Vorgehensweise bei den Untersuchungen erschien nach einigen Jahren unangemessen. Der Grund dafür war zum einen, dass nur das Verhalten selbst registriert wurde. Zum anderen befasste sich die Psychologie ausschließlich mit dem äußeren, beobachtbaren Verhalten des Menschen. Die geistigen, mentalen Vorgänge wurden als Aberglaube abgestempelt [Wat30, S.36].

Nach heutigen Erkenntnissen wissen wir, dass die internen Vorgänge dem menschlichen Verhalten zugrunde liegen. Die behavioristischen Ansätze boten dagegen eine eingeschränkte Sicht des menschlichen Verhaltens. Deswegen wurde von den Wissenschaftlern gefordert, das Augenmerk auch auf die Vorgänge, die im Inneren eines Organismus ablaufen, zu legen. Diese Forderung ermöglichte die Entwicklung der Psychologie der Informationsverarbeitung Mitte des 20ten Jahrhunderts.

Dank der kognitiven Wende, in der das Augenmerk auf die Verarbeitung der Reize eines Organismus gelegt wurde, war der Weg frei für neue Fragen der Kognition. Nun fragten sich die Psychologen, wie ein Reiz durch einen Organismus erkannt und bei Bedarf in Verhalten umgesetzt wird. Die Erforschung der Zusammenhänge zwischen der Wahrnehmung, dem Erkennen und dem Verstehen rückten in den Fokus. Aber auch die Abhängigkeit der Prozesse im Hinblick auf die Verarbeitung von Reizen gewann an Bedeutung. Weiterhin studierte man das Gedächtnis und die Prozesse der Reaktion von vergangenen Reizerfahrungen. Eine richtungsweisende Untersuchung für den Informationsverarbeitungsansatz lieferte das Experimentalparadigma von

¹Selbstbetrachtung

Sternberg [Ste66].

Das vorgestellte Konzept der Informationsverarbeitung erlaubt die kognitiven Leistungen, die durch das Wissen unterstützt werden, objektiver zu messen. Der Mensch wird demnach als ein erkennendes und denkendes Wesen gesehen, dem es möglich ist, die Ergebnisse seines Denkens bewusst zu erleben.

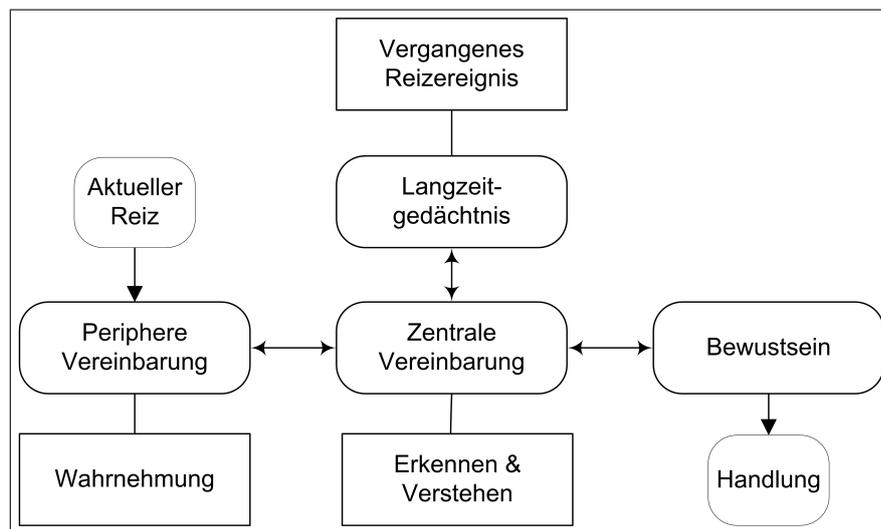


Abbildung 4.3.: Erkenntnisorientierte Psychologie der Informationsverarbeitung, angelehnt an [EZ06].

Die Entwicklung der heutigen kognitiven Psychologie wurde aus drei Richtungen von anderen Disziplinen beeinflusst.

Der erste Einfluss kam aus der *generativen Linguistik*. Hierfür wurde eine Grammatik von Noam Chomsky entwickelt; sie stellte ein formales Regelwerk für die Generierung von Satzstrukturen vor.

Der zweite Einfluss kam aus dem Bereich der *künstlichen Intelligenz*. Dieser Ansatz versuchte die menschliche Intelligenz auf einem rechnerähnlichen Modell abzubilden. Vor allem die Speicherung von großen Datenmengen half den Wissenschaftlern, die menschliche Informationsverarbeitung mit geeigneten Modellen zu beschreiben.

Der dritte Einfluss kam aus der *Nachrichtentechnik*. Dank dem Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver [Sha48] konnte ein Informationsfluss zwischen Sender und Empfänger modelliert werden. Dieser Ansatz wird im weiteren Kapitel genauer untersucht, da er die Grundlage für die Untersuchung dieser Arbeit bietet, vgl. 6.3.

Seit den 70er Jahren wuchs das Interesse in der kognitiven Psychologie an Kognitionen in realen Situationen des täglichen Lebens, aber auch in nicht alltäglichen Situationen, die unter besonderen Umständen passieren. Es wurde (und wird auch

weiter) versucht, übergreifende Theorien über die Gehirnmechanismen, die der Kognition zugrunde liegen, aufzustellen. Dazu gehören unter anderem Mechanismen, die für das menschliche Versagen verantwortlich sind. Es werden Ereignisse untersucht, bei denen die geplante Abfolge geistiger oder körperlicher Tätigkeiten nicht zu dem erwarteten Resultat führt, sondern zu einem Misserfolg. Vorausgesetzt wird, dass diese Misserfolge durch keinen fremden Einfluss verursacht wurden, sondern durch innere Abläufe eines Menschen gesteuert werden. Im Folgenden werden relevante Ansätze und Modelle vorgestellt, die das abweichende Verhalten in geeigneten Modellen erfassen.

Klassifikation der unersichtbaren Fehlhandlungen nach Norman

Norman stellte in seinen Untersuchungen zum mentalen Modell eine Klassifikation des menschlichen Fehlers dar. Das Modell ermöglicht Untersuchungen über Vorgänge, die sich hinter den sichtbaren Fehlhandlungen verbergen. Die Erkenntnisse basieren auf der Action-Trigger-Theorie. Sie beschreibt, wie Schemata einzelne Handlungssequenzen kontrollieren [Nor81b]. Die Schematheorie geht zurück auf die Forschungsarbeiten von Minsky [Min74] und Rumelhart [Rum80]. Schemata beschreiben Gedächtnisstrukturen, in denen die Regelmäßigkeiten der Umwelt erfasst werden. Diese Strukturen befinden sich in einem aktiven Zustand und müssen nicht erst durch einen Stimulus aktiviert werden. Wenn Bedienungen einer Person passend erscheinen, so werden sie ausgelöst und münden in Handlungen [Nor81a].

Die Fehlerklassifizierung beruht auf der Annahme, dass eine falsche Schemaaktivierung entsteht, die aufgrund von kognitiven Aktivitäten aktiviert wird. Norman setzt in seiner Theorie der Entstehung von Fehlern voraus, dass sich die Fehler beim Zusammentreffen von günstigen Umweltfaktoren und Schemata ereignen. Die Untersuchungen von Norman wurden während praktischer Beobachtungen von Menschen gemacht, die Computer in unterschiedlichen Situationen bedienten. Seine Taxonomie unterscheidet zwischen:

Patzer, (Fehlleistungen) (*engl. Slips*) und

Fehlern, (Irrtümern) (*engl. Mistakes*)

Slips werden als unabsichtliche Fehlhandlungen angeordnet. Sie gehen aus einem automatisierten Verhalten hervor, wenn sich eine vom Unterbewusstsein gesteuerte Handlung, die der eigentlichen Absicht entspricht, quasi verselbständigt. *Mistakes* hingegen sind Fehlhandlungen, die zum Vorschein kommen, wenn der Person bewusst wird, was und wie sie ihre Tätigkeit durchführen soll. Aufgrund von weiteren Einflüssen erfolgt die Tätigkeit abweichend vom ursprünglichen Plan. Als Ursache liegt hier eine bewusste Entscheidung eines Akteurs zugrunde. Das Ergebnis stellt sich dabei als fehlerhaft heraus.

4. Menschliche Fehler

Die Unterscheidung zwischen den Fehlleistungen und Irrtümern gehen nach Norman aus der Analyse eines vereinfachten Modells des menschlichen Handelns hervor [Nor88, S. 60-70]. Das vereinfachte Modell beinhaltet sieben Stadien des Handelns und unterteilt eine menschliche Aktion in die zwei folgende Prozesse: den Ausführungsprozess und Auswertungsprozess. Die Stadien wurden im Zyklus des Handelns verankert und unterteilen sich weiter in: ein Stadium, in dem das Ziel formuliert wird; drei Stadien in denen die Ausführung formuliert, spezifiziert und ausgeführt wird; und drei Stadien in denen die Auswertung erfolgt. Das Stadium der Auswertung unterteilt sich wiederum in den Zustand der Wahrnehmung, die Interpretation und die Auswertung des Ergebnisses.

Klasse	Ursache	Beschreibung
Falscher Modus	Falsche Klassifikation einer Systemfunktion	Zustand des Systems wird vom Bediener nicht erkannt.
Falsche Aktivierung des Schemas	Unbeabsichtigte Aktivierung	Wenn Schemata, die nicht Teil der derzeitigen Aktion sind, aktiviert werden.
	Erfassungsfehler	Wenn die Sequenz, die durchgeführt wurde, ähnlich einer anderen Sequenz ist, die öfter vorkommt oder besser gelernt wurde.
	Datengetriebene Aktivierung	Ein externes Ereignis verursachte eine Aktivierung.
	Assoziative Aktivierung	Ein aktuelles Schema aktiviert ein anderes.
	Verlorene Aktivierung	Aktivierte Schemata verlieren Kontrolle über Aktionen.
	Vergessene Intention	Die Intention wurde vergessen und die Ausführungssequenz von Aktionen erfolgt weiter.
	Falsche Aktionensequenz	Falsche Reihenfolge inklusive Überspringen von Aktionen oder mehrmaliger Wiederholung.
Fehlerhafter Auslöser des Schemas	Fälschliche Aktivierung	Korrekt aktiviertes Schema wird zur falschen Zeit getriggert.
	Fehler befindet sich im Trigger	Ein Schema wird nicht aktiviert weil: (1) Aktion wurde durch ein konkurrierendes Schema ausgeführt, (2) die Aktivierung war zu schwach, (3) es gab Probleme bei der Bedienung von passenden Trigger.

Tabelle 4.1.: Klassifikation von Slips nach Norman, extrahiert aus [Nor83].

Norman identifizierte in [Nor83] drei Hauptklassen von Slips: Slips, die aufgrund von *falscher Anordnung von Intentionen* vorkommen; Slips, die aufgrund von Aktivierung von einem *falschen Schema* vorkommen und Slips, die aufgrund von *falscher*

Aktivierung eines richtigen Schema auftreten. Die Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über Beispiele seiner Klassifizierung.

Die in der Tabelle 4.1 vorgestellten Kategorien von Slips wurden in den späteren Arbeiten von Norman auf folgende 5 Klassen erweitert: *Fangfehler*, *Beschreibungsfehler*, *Datengesteuerte Fehler*, *Fehler durch Aktivierungsverlust* und *Modus-Fehler*. Die Klassen unterscheiden sich jedoch inhaltlich nicht von den bereits vorgestellten Ursachen [Nor88, S.129-133].

Fehlerklassifikation nach Rouse und Rouse

Die aufgestellte Klassifikation basiert auf der Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung. Sie stellt für die eindeutige Spezifikation des menschlichen Fehlers eine allgemeine Zuordnungsebene, die eine anfängliche Zuweisung ermöglicht. Anschließend ordnet eine weitere, feinere Ebene eindeutige Fehlerkategorie in Abhängigkeit von der festgestellten Abweichung einer Fehlerklasse zu.

Rouse und Rouse legen in ihrem entscheidungstheoretischen Ansatz eine Annahme zugrunde die besagt, dass zunächst eine Abweichung zwischen dem Ist- und Sollwert eines Systemzustands wahrgenommen wird, bevor eine Fehlhandlung durch einen Akteur erfolgt [RR83]. Die Diskrepanz zwischen den beiden Zuständen muss demnach feststellbar sein.

Die Feststellung einer Abweichung bildet den ersten Schritt des Ansatzes. Im nächsten Schritt wird in diesem Verfahren eine Hypothese über eine mögliche Abweichung gebildet, gestellt und schließlich geprüft. Diese Schritte sollen das Finden einer geeigneten Methode für die Behebung einer Handlungsabweichung erleichtern. Nachdem eine geeignete Methode ausgewählt wurde, erfolgt die Auswahl eines gewünschten Zielzustands. Anschließend wird ein Verfahren, mit dem das gewünschte Ziel erreicht werden kann, anvisiert. In einem letzten Schritt des Vorgehens wird die ausgewählte Handlung ausgeführt. Rouse und Rouse versuchen mit dieser Fehlertaxonomie nicht nur die Frage danach *was* für ein Fehler aufgetreten ist zu beantworten, sondern auch *warum*. Die einzelnen Schritte werden in der Abbildung 4.4 schematisch dargestellt.

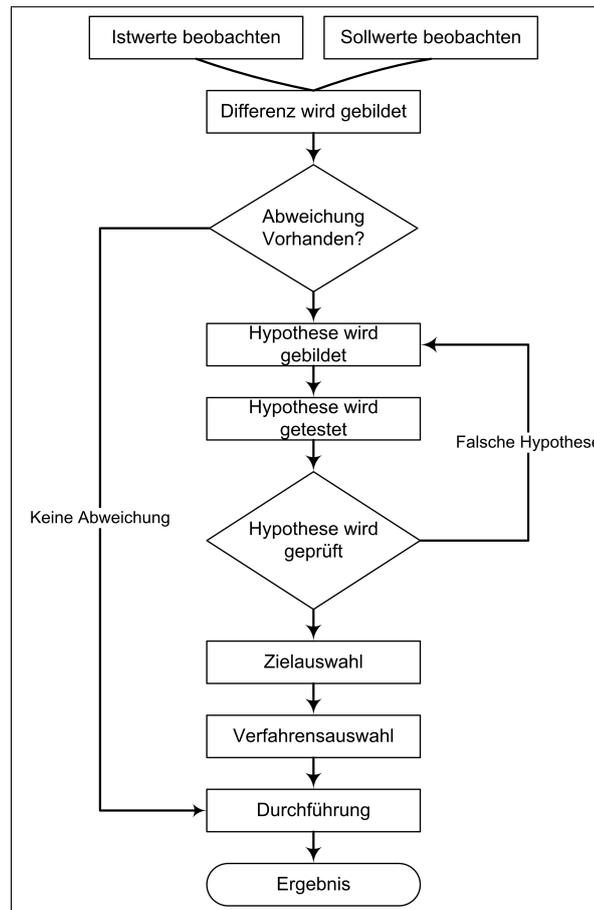


Abbildung 4.4.: Fehlersystematik nach Rouse und Rouse, angelehnt an [RR83]

Analysten, die dieses Verfahren nutzen, werden in ihrer Entscheidungsfindung durch Faktoren beeinflusst, die sich aus der Natur eines Systems ergeben, wie z.B. Komplexität, in der auf Grund der Vernetzung keine Dekomposition möglich ist; Dynamik, in der ein System keine Linearität aufweist; unvollständige Informationen können eine falsche Hypothese begünstigen. Es ist nicht auszuschließen, dass innerhalb der einzelnen Schritte Fehlentscheidungen gefällt werden. Je komplexer das System, desto schwieriger ist es eine optimale Lösung zu finden. Dörner zeigte in seinen Untersuchungen an dynamischen Systemen, die nach klar geordneten Regeln operierten, dass auch Experten mit Problemen bei der Findung einer adäquaten Lösung konfrontiert wurden [Dör89].

Die Tabelle 4.2 zeigt mögliche Fehler, die auf den jeweiligen Entscheidungsebenen vorkommen.

4. Menschliche Fehler

Entscheidungsbe- ne	Klassifikation	kurze Beschreibung
Wahrnehmung des Systemzustands	Fehlerhafte Überprüfung von Beobachtungen	Richtiger Systemzustand wurde falsch überprüft
	Fehlinterpretation einer Beobachtung	Richtiger Zustand wurde falsch interpretiert.
	Verkehrte Beobachtung	Falsche Messungen vom richtigen Systemzustand.
	Lückenhafte Beobachtung	Beobachtung einer ungenügenden Anzahl an der Systemzuständen.
	Falsche Daten	Falsche Variablen wurde. beobachtet.
	Datenmangel	Keine Variablen wurden beobachtet.
Hypothesenauswahl	Unstimmige Wahrnehmung	Bestimmte Werte konnten nicht beobachtet werden.
	Stimmig, aber unwahrscheinlich	Wahrscheinliche Werte sollten bevorzugt werden, da die beobachteten Werte unwahrscheinlich erscheinen.
	Konsistent aber zu teuer	Beobachtete Daten wurden verworfen da zu teuer. (monetär oder zeitlich.)
	Funktional irrelevant	Keine funktionale Relevanz der Daten zum Systemzustand.
Hypothesentest	Unvollständig, inkonsistent mit der Beobachtung	Abgebrochene Hypothese
	Falsche Hypothese akzeptiert	Falsche Aussage wird gefolgert.
	Ablehnung richtiger Hypothese	Richtige Aussage wird verworfen.
	Hypothesenmangel	Keine Hypothese erstellt.
Zielauswahl	Unvollständige Spezifikation	Ziel wurde nicht vollständig definiert.
	Fehlerhaft	Ziel ist falsch
	Unnötig	Ziel ist nicht mit dem Problem verbunden, unzweckmäßig.
	Zielmangel	Kein Ziel wurde gewählt.
Prozedurauswahl	Unvollständig	Prozedur führt nur teilweise zum Ziel.
	Fehlerhaft	Prozedur führt zum falschen Ziel.
	Unnötig	Prozedur ist unnötig, um das Ziel zu erreichen.
	Prozedurmangel	Keine Prozedur wurde gewählt.
Prozedurausführung	Aktionsauslassung	Eine (Teil-) Aktion der Prozedur wird nicht durchgeführt.
	Aktionswiederholung	Eine (Teil-) Aktion der Prozedur wird wiederholt.
	Zusatzaktion	Eine (Teil-) Aktion der Prozedur wird hinzugefügt.
	Falsche Sequenz	Aktionen wurden in falscher Sequenz durchgeführt.
	Falsche Zeit	Falsches Zeitverhalten.
	Falsche Position	Ungenauere oder falsche Kontrollposition.
	Unvollständig	Prozedur wird abgebrochen.
Falsche Aktion	Prozedur beinhaltet falsche Aktion/Aktionen.	

Tabelle 4.2.: Fehlerklassifikation nach Rouse and Rouse Quelle: [RR83]

Fehlerklassifikation nach Rasmussen und Reason

Ende der 70er Jahre entwickelte Rasmussen ein Entscheidungsmodell für die menschliche Informationsverarbeitung. Das Modell wurde unter anderem verwendet, um Strategien bei Entscheidungsprozessen im Bereich der Prozesskontrolle zu analysieren [Ras79]. Während der durchgeführten Interviews mit Mitarbeitern eines Kraftwerks stellten Rasmussen und seine Kollegen fest, dass die verantwortlichen Mitarbeiter für die Kontrolle von Prozessen ihre Arbeit mit Begriffen beschreiben, die den Aufgaben und der Veränderung von Wissen zugeordnet werden können. Vor allem Wissensveränderung im Hinblick auf die Situationen und Aufgaben, denen sie begegnen [Ras86, chap2].

Demnach besteht das Entscheidungsmodell aus zwei Arten von Knoten. Knoten, die auf Aktionen verweisen und Knoten, die den Wissensstand symbolisieren. Das Modell, das in Abbildung 4.5 zu sehen ist, verrät auf den ersten Blick, warum das Modell auch eine Entscheidungsleiter genannt wird. Die Leiter steht auf zwei Beinen. Das linke Bein symbolisiert den Prozess, der benötigt wird, um eine Entscheidung bezüglich eines Problems zu treffen. Es ist die Situationsanalyse. Das rechte Bein stellt die Handlungsplanung dar. Das hierarchisch geordnete Modell stellt graphisch Wissenszustände über die Umgebung, Handlungsbedarf, Ziele und Pläne, die aus der Informationsverarbeitung resultieren dar. Es ist ein flexibles Grundgerüst, das auf jeden Entscheidungsprozess angewendet werden kann.

Die einzelnen Schritte des Modells können je nach Wissensstand und Übung der einzelnen Person übersprungen werden. Es können auch innerhalb des Modells Abkürzungen in Anspruch genommen werden, um schneller ans Ziel zu gelangen. Das hierarchische Entscheidungsmodell ist eine Art *Landkarte* von Verhaltensstrukturen. Diese Karte kann helfen Anforderungen zu identifizieren, die nötig sind, um eine Entscheidung zu treffen. Zum anderen können aber auch Fehler gefunden werden, die bei einer Entscheidung getätigt wurden. Diese Verhaltensfehler treten abhängig von den vorhandenen Stimuli auf unterschiedlichen kognitiven Ebenen auf.

Rasmussen stellte mithilfe der Entscheidungsleiter mehrere Abweichungen bei dem kognitiven Verhalten von normalen Prozessablauf fest. Die Abbildung 4.6 zeigt seine Fehlerklassifikation.

Die Verhaltensformen, die die Entscheidungsleiter beschreibt, lassen sich entsprechend der kognitiven Anforderungen in sensomotorisch, so genanntes fertigkeitstbasiertes (*engl. skill-based*), regelbasiertes (*engl. rule-based*) oder wissensbasiertes Verhalten (*engl. knowledge-based*) aufteilen [RPG94]. Die Übergänge zwischen den einzelnen Ebenen im realen Ablauf sind fließend. Es können auch mehrere Wege parallel abgearbeitet werden. Die einzelnen Ebenen wurden in der Abbildung 4.7 schematisch dargestellt.

Wissensbasiertes Verhalten entspricht im Entscheidungsmodell einem Durchlauf bis zum höchsten Punkt in der Hierarchie. Innerhalb dieses analytisch-

4. Menschliche Fehler

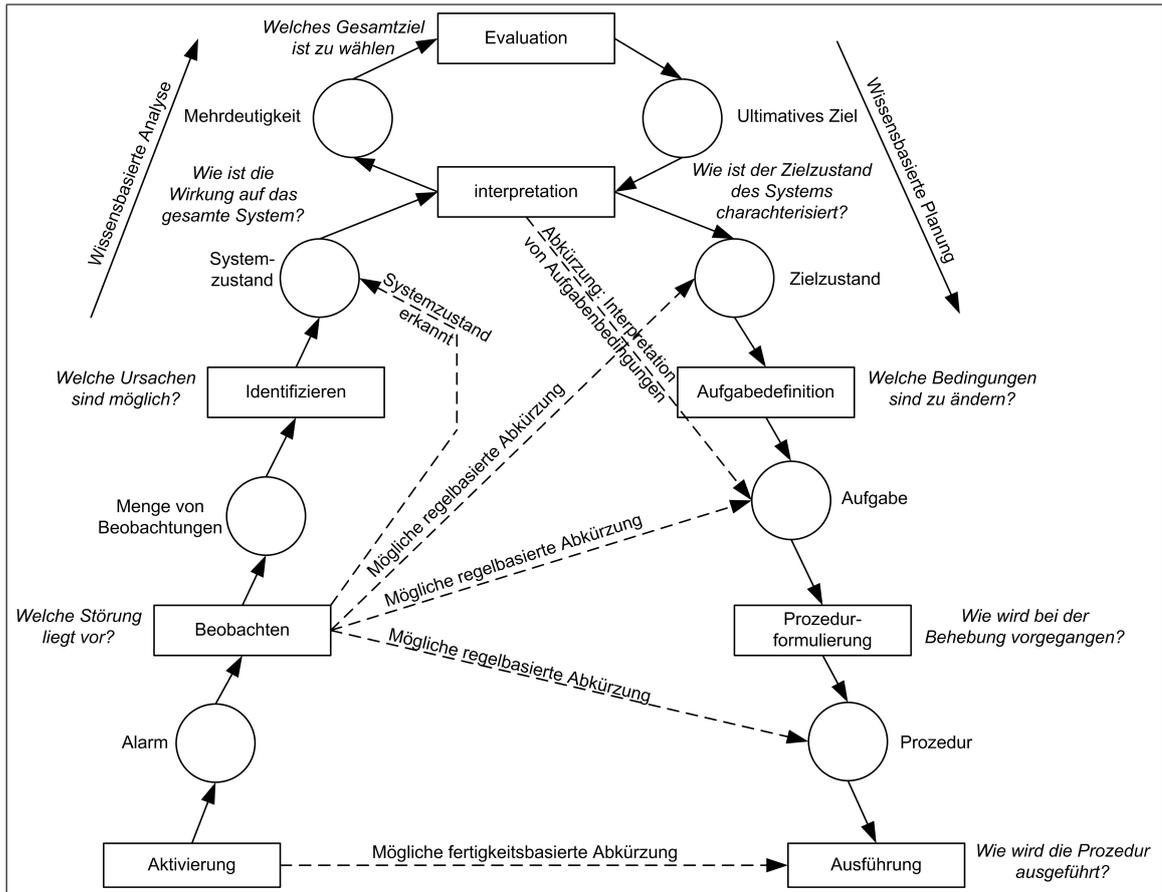


Abbildung 4.5.: Entscheidungs- Aktionspyramide von Rasmussen. Ein Modell für die Informationsüberwachung während der Prozessüberwachung, angelehnt an [Ras86]

4. Menschliche Fehler

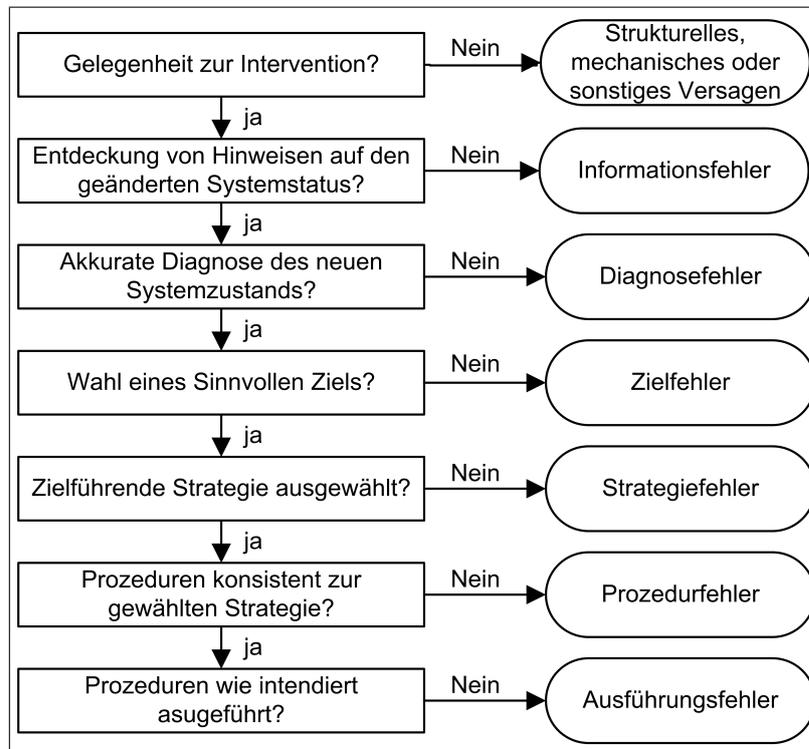


Abbildung 4.6.: Fehlerklassifikation nach Rasmussen, [Ras82]. Übersetzung entnommen aus [Hof08, S. 48].

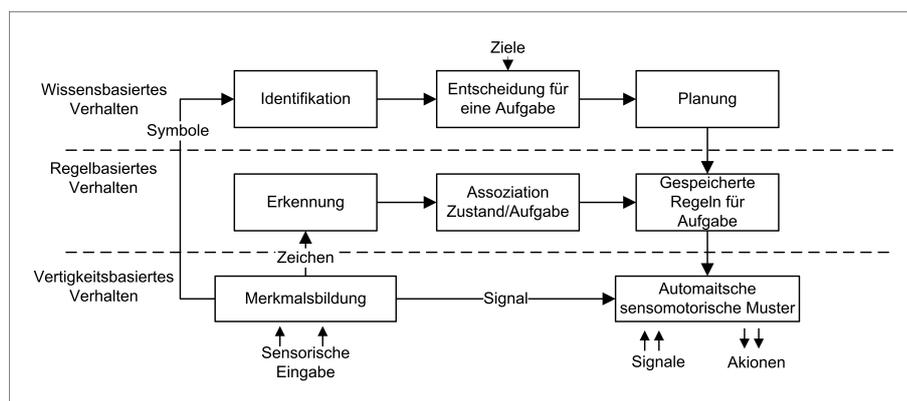


Abbildung 4.7.: Modell des menschlichen Verhaltens nach Rasmussen [Ras83]

strategischen Vorgangs werden Verhaltenspläne basierend auf der Zieldefinition und dem mentalen Modell erstellt. Anschließend werden sie im Hinblick auf die Zielsetzung untersucht. Realisiert wird die beste Alternative.

Regelbasiertes Verhalten basiert auf dem Wiedererkennungseffekt von Kombinationen aus Symptomen, die in Relationen zu bestimmten Handlungssequenzen stehen. Es handelt sich dabei um das deklarative Wissen, dessen Strukturen konkretisiert werden können, ohne dass eine explizite Zieldefinition eingesetzt wird.

Fertigkeitsbasiertes Verhalten basiert auf hochintegrierten Mustern, Verhaltensmuster, die ohne eine explizite Kontrolle aktiviert werden. Die Muster entstehen durch ein Training und werden eher unbewusst von einer handelnden Person durchgeführt. Im Entscheidungsmodell wird das sensomotorische Verhalten als eine direkte Verbindung zwischen der Aktivierung und einer Handlung dargestellt.

Die Fehlerklassifikation nach Reason stützt sich auf Vorüberlegungen von Rasmussen und Norman. Seine Fehlerklassifikation, die die Fehlerformen und Fehlerarten kombiniert, ist eine der bekanntesten Fehlerklassifikationen. Die Fehlerordnung von Reason beinhaltet neben Fehlern auch Handlungen, deren Ergebnis zu einer Verringerung von Sicherheit führen kann.

Die Fehlerzuordnung beginnt mit einer Unterscheidung in beabsichtigte und unbeabsichtigte Aktionen oder Handlungen. Dabei werden die beabsichtigten Fehlhandlungen in *Mistakes* und *Verstöße* unterteilt. *Mistakes* sind beabsichtigte Handlungen, die ihr Ziel erreichen. Obwohl die angewandten Regeln fehlerhaft waren, wurden sie durchgeführt. Diese Fehler werden auch Planungsfehler genannt. Sie kommen auf der wissensbasierten und der regelbasierten Ebene vor. Weitere Fehlerarten, die nach den Stufen der Informationsverarbeitung unterschieden werden, sind Speicherungsfehler (*Lapses*) und Ausführungsfehler (*Slips*). Slips und Lapses kommen wegen falscher Ausführung und/oder Speicherung einer Handlungssequenz vor. Beide Gruppen gehören zusammen mit den (*Mistakes*) zu den unbeabsichtigten Handlungen. Die Graphik 4.8 verdeutlicht nochmal diese Unterteilung.

Um diese Klassifikation zu erlangen, entwickelte Reason ein generisches Fehlermodellierungssystem, (engl: **Generic Error Modelling System**, GEMS) [Rea90]. Das System stellt eine Erweiterung des Ansatzes der kognitiven Ebenen von Rasmussen dar. GEMS war angedacht für die Beschreibung der Umschaltung zwischen den unterschiedlichen Informationsprozessen während der Aufgabendurchführung. Die Graphik 4.9 stellt das Modellierungssystem schematisch dar.

4. Menschliche Fehler

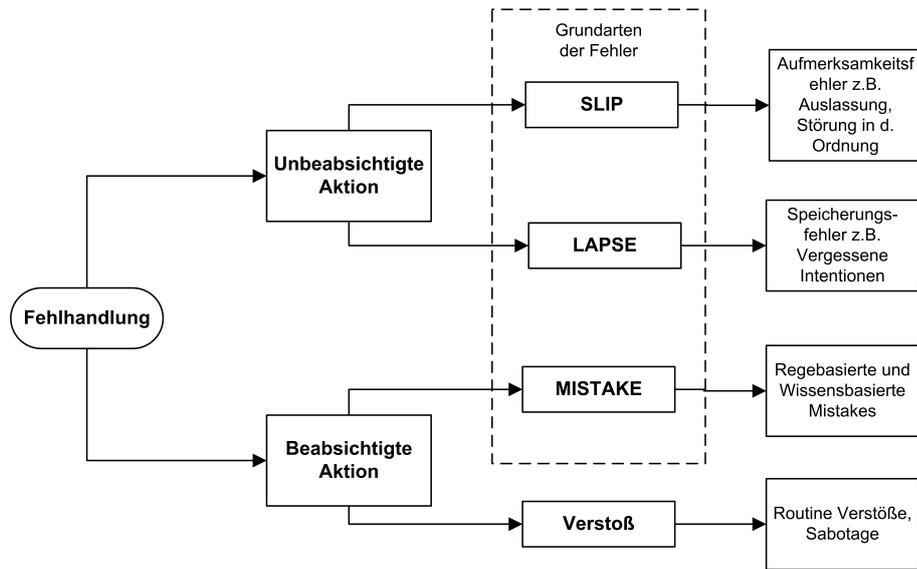


Abbildung 4.8.: Fehlergruppen nach Reason, [Rea90, S. 207].

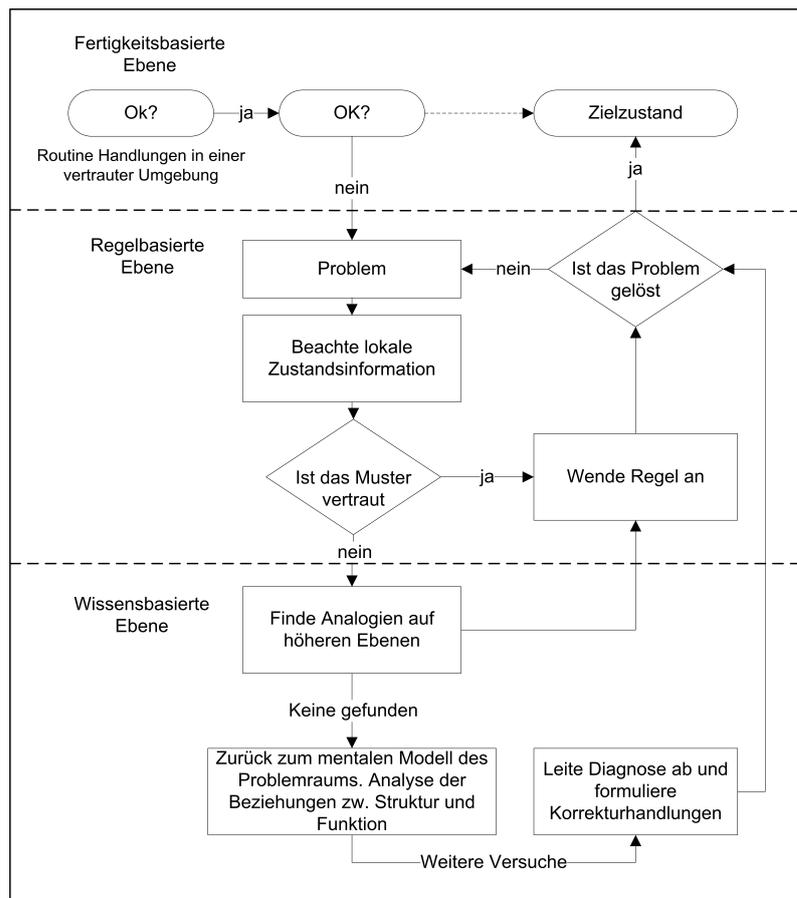


Abbildung 4.9.: Generisches Fehler-Modellierungssystem nach Reason, GEMS [Rea90, S. 64].

4. Menschliche Fehler

Auf der fertigkeitbasierten Ebene sind Funktionen verankert, die mit gut eingeübten Handlungen verbunden sind. Diese gehen der Problementdeckung voraus. Im Gegensatz dazu folgen Prozesse, die auf der regelbasierten und wissensbasierten Ebene folgen, einem Problem. Fehler aus der fertigkeitbasierten Ebene werden meistens schnell vom Akteur entdeckt. Die ausführende Person ist sich demzufolge der Abweichung bewusst. *Slips* und *Lapses* treten also als Folge einer ursprünglichen Unaufmerksamkeitsüberwachung auf. Regel- und wissensbasierte Fehler entstehen hingegen, wenn ein vorgeschlagener Problemlösungsversuch fehlschlägt. Die Tabelle 4.3 stellt mögliche Fehler der fertigkeitbasierten Ebene dar.

Fertigkeitbasierten Ebene		
Fehlergruppe	Fehlername	Beschreibung
Unaufmerksamkeitsfehlerarten	Doppelte Gefangennahme	Verwechslung zwischen zwei getrennten, aber ähnlichen Prozessen. Das stärkere Schema übernimmt die Kontrolle über die Handlungssequenz.
	Versäumnis nach Unterbrechung	Unterbrechung einer Sequenz, der Plan wird nicht mehr weiter verfolgt.
	Verminderte Intentionalität	Gehört zu Fehlern des prospektiven Gedächtnisses. Bildet eine Gruppe von Slips und Lapses. Es kommt vor, wenn eine Verzögerung zwischen der Formulierung eines Plans und seiner tatsächlichen Ausführung stattfindet.
	Wahrnehmung-Verwirrung	Bei der Erkennung von einem Schema eines Objektes wird durch die Sinnesorgane fälschlicherweise ein ähnliches Objekt als richtiges akzeptiert.
	Interferenzfehler	Vermischung von zwei simultanen Plänen, die gleichzeitig ausgeführt werden.
Überaufmerksamkeitsfehlerarten	Versäumnis	Es wird eine falsche Annahme über einen automatischen Prozess gemacht. Folge: Auslassung von Zwischenschritten.
	Wiederholung	Es wird eine falsche Annahme über einen automatischen Prozess gemacht. Folge: Wiederholung von Aktionen.
	Aufhebung	Ist als eine Ausnahme zu sehen; kommt vor, wenn der gesamte Prozess rückgängig gemacht wird.

Tabelle 4.3.: Fehlertaxonomie auf der fertigkeitbasierten Ebene nach Reason, [Rea90]

In dem von Reason vorgeschlagenen Fehlermodellierungs-System kommen mehre-

re Handlungssequenzen mit eingebauten Aufmerksamkeitsprüfpunkten vor. An diesen Punkten wird überprüft, ob eine Handlung plangemäß ausgeübt wird und mit ihr das erstrebte Ziel erreicht werden kann. Zusätzlich zu den Prüfknoten enthält ein Handlungsstrang auch Verzweigungen - zusätzliche Regeln, die als Alternativen zum ursprünglichen Ablauf gewählt werden können. Die Stärke der einzelnen Regeln bestimmt die Frequenz ihrer Nutzung [Rea90, S.77]. Die regelbasierte Rahmenvorstellung für seine Überlegungen entnahm Reason aus den Arbeiten von Holland [Rea90, S.74]. Holland identifizierte die regelbasierte Ebene als Klasse von Regeln, die durch den Bedienungsteil der Regeln, die Assoziationen und die vorhersagenden Relationen im Ausführungsteil der Regeln spezifiziert werden [HHNT86, S.29]. Diese kognitive Ebene wird als ein paralleles System, in der mehrere Regeln aktiv sein können, gesehen. Welche Regel aktiviert wird, hängt davon ab, ob der Bedienungsteil der Regel mit den Merkmalen der Umgebung oder den Inhalten interner Botschaften zusammenpassen; ob die Regel die vorliegende Situation spezifisch genug beschreibt und zu guter Letzt; ob die konkurrierende Regel von anderen Regeln genügend Unterstützung bekommt.

4. Menschliche Fehler

Regelbasierte Ebene		
Fehler- gruppe	Fehlername	Beschreibung
Fehl- anwendung guter Regeln	Die ersten Ausnahmen	Es werden bewährte Regeln aus der Vergangenheit zugelassen, obwohl sie falsch sind.
	Zeichen, Gegenanzeigen und Nicht-Zeichnen	Ausnahmen einer Regel werden trotz Zeichen als Inputs (in der Rasmussen Terminologie) nicht erkannt.
	Informationsüberlastung	Überfluss von Informationen übersteigt die kognitiven Fähigkeiten des Betrachters.
	Stärke der Regel	Stärkere Regeln aus der Vergangenheit gewinnen gegen schwächere auch wenn sie nicht korrekt sind.
	Allgemeine Regeln	Generelle Regeln sind allgemein stärker als andere.
	Redundanz	Eine charakteristische Folge von Zeichen wird gruppiert und gelernt. Es kommt zum Vernachlässigen von bestimmten Zeichen, obwohl diese Reize für Ausnahmen enthalten können.
	Rigidität	Elegante Lösungen werden vernachlässigt auf Kosten von Regeln, die in der Vergangenheit erfolgreich angewandt wurden.
Anwendung schlechter Regeln	Enkodierdefizite	Bedienungskomponente falsch repräsentiert oder Regel kann nicht enkodiert werden.
	Handlungsdefizite	Ausführungskomponente ruft unbrauchbare, unelegante oder nicht empfehlenswerte Reaktionen hervor.
	Falsche Regeln	Eine Funktion wird wegen ihrer (wirrer) Logik falsch verstanden.
	Unelegante Regeln	Effiziente, elegante oder direkte Regeln werden aufgrund von z.B nachsichtiger Umgebung nicht zugelassen.
	Nicht empfehlenswerte Regeln	Regelmäßige Anwendung kann gelegentlich zu vermeidbaren Unfällen führen.

Tabelle 4.4.: Fehlertaxonomie auf der regelbasierten Ebene nach Reason, [Rea90]

Ein Fehler während des Auswahlprozesses kann vorkommen, wenn ein Kontrollmechanismus, z.B. Bedingung einer Regel, nicht beachtet wird, fehlschlägt und eine falsche Aktion, ein Abbruch oder eine inkorrekte Wiederholung von Handlungen aktiviert wird. Des Weiteren sind fehlende Informationen, die zu einem falschen Verständnis der Situation führen, eine bekannte Ursache einer Fehlhandlung. Die Tabelle 4.4 stellt mögliche Fehler der regelbasierten Ebene dar.

Falls sich nach dem Umschalten auf die regelbasierte Ebene keine zufriedenstel-

lende Lösung ergibt, erfolgt ein Übergang zu der nächsthöheren wissensbasierten Ebene. Auf dieser Ebene wird nach geeigneten Gedächtnisinhalten, sowie nach Hinweisreizen, die das erkannte Problem lösen können, gesucht. Sollte sich auf der wissensbasierten Ebene eine passende Lösung finden, wird sofort auf die niedrigeren Ebenen geschaltet, um eine passende Routine zu wählen und eine entsprechende Handlung auszuführen. Dies wird vor allem gemacht, um Ressourcen wie Zeit oder Energie einzusparen. Diese Ressourcen sind mit der Nutzung von höheren kognitiven Ebenen verbunden. Fehler auf dieser Ebene können aufgrund von fehlendem oder mangelndem Wissens entstehen. Sie entstehen unter anderem dann, wenn Teillösungen, die sich als unpassend erweisen, akzeptiert werden. Ein solches Verhalten kann zur Verringerung der Sicherheit im System führen. Auf eine weitere tabellarische Darstellung der Fehlertaxonomie wird an dieser Stelle verzichtet. Dieser Teil des kognitiven Modells liegt außerhalb des Fokus dieser Ausarbeitung. Der interessierte Leser kann dies bei [Rea90, S.86ff] nachlesen.

Eine umfassende Fehlertaxonomie stellen Frese und Zapf [ZFB99] vor. In diese Fehlertaxonomie lassen sich die bis jetzt angesprochene Ansätze des menschlichen Fehlers von Rasmussen, Reason und Norman integrieren. Diese Fehlertaxonomie zeichnet aus, dass die Fehler handlungstheoretisch nach den Schritten des Handlungsprozesses, sowie nach den Ebenen der Handlungsregulation unterschieden werden. Ein Handlungsprozess beginnt mit der Entwicklung von Zielen. Nachdem ein Ziel definiert wurde, werden die Zustände der Umwelt definiert. Währenddessen entstehen innere Modelle bezüglich der Zustände der Umwelt. Darüber hinaus werden Prognosen darüber gebildet, wie sich die Umwelt in der Zukunft verhalten kann. Wenn ein Plan ausgeführt wird, finden Überwachungsprozesse über die positive oder negative Durchführung einer Handlung statt. Der Prozess schließt mit einer Rückmeldung über den Fortschritt der Handlung.

Die Taxonomie basiert auf dem Modell zu hierarchisch-sequentiellen Handlungsregulation nach Hacker [Hac05]. Die Hierarchie enthält vier Ebenen. Die unterste *sensomotorische Ebene* beinhaltet weitgehend automatisierte Abläufe von Bewegungen. Die zweite Ebene, die Ebene der *flexiblen Handlungsmuster*, steuert die gut beherrschbaren Handlungen. Für die Steuerung werden im Gedächtnis gespeicherte flexible Handlungsmuster abgerufen. Die dritte Ebene, die *intellektuelle Ebene*, steuert komplexe oder neuartige Handlungen. Die Pläne für diese Handlungen stehen noch nicht bereit und müssen laut dieses kognitiven Modells erst erstellt werden. Die vierte und letzte Ebene ist die *Regulationsebene*. Auf dieser Ebene befindet sich nach Hacker das operative Abbildsystem. Das Abbildsystem besteht aus Wissensvoraussetzungen, die notwendig sind, um eine Handlung überhaupt ausführen zu können.

Die Ebenen bilden die Grundlage für die Kategorisierung von Fehlern, die auf den einzelnen Ebenen entstehen können. Die Abbildung 4.10 stellt die Fehlertaxonomie mit möglichen Fehlern auf den einzelnen Ebenen dar.

Die Fehler auf der sensomotorischen Regulationsebene sind Fehler, bei denen die

4. Menschliche Fehler

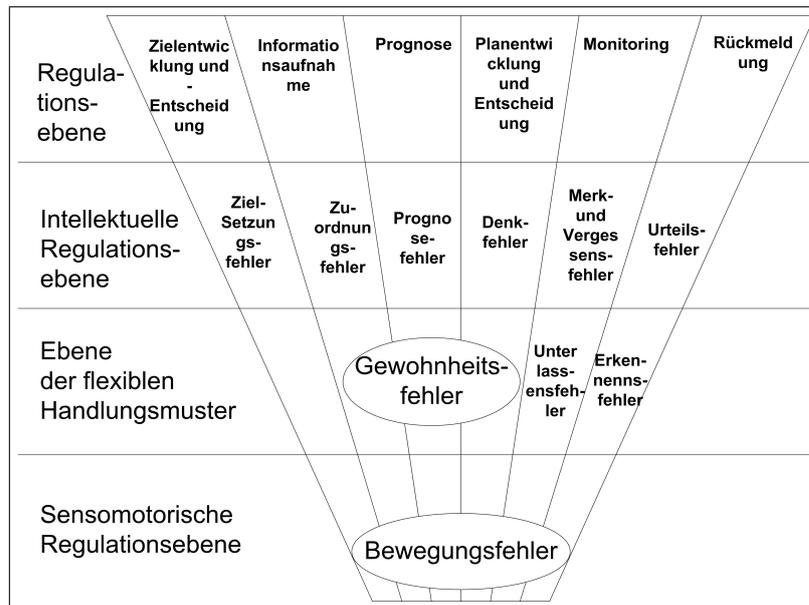


Abbildung 4.10.: Beispiel einer Fehlertaxonomie nach Frese und Zapf, [ZFB99, S.402].

Ausführung von einzelnen Handlungsschritten keine bewusste Zuwendung erfordert. Es sind Fehler innerhalb von hochautomatisierten Handlungsabläufen.

Die Fehler auf der Ebene der flexiblen Handlungsmuster sind Abweichungen von Handlungen, die zu einer Routine geworden sind. Fehler, die dabei vorkommen können sind: *Gewohnheitsfehler* - eine Handlung passt nicht zu der Situation-, *Unterlassensfehler* - Teil einer Handlung wird ausgelassen oder zu spät ausgeführt- oder *Erkennensfehler* - die Rückmeldung aus der Umwelt wird übersehen.

Auf der intellektuellen Regulationsebene kommen Fehler, die während des bewussten Durchführens von Arbeitsplänen entstehen, vor. Bei den Zielsetzungsfehlern werden Ziele falsch aufgestellt oder ungenügend konkretisiert. Die Zuordnungsfehler kommen vor, wenn zum Beispiel auf eine unangemessene Art und Weise Informationen für die Bewältigung eines Problems gesammelt wurden. Die *Prognosefehler* kommen aufgrund von Unterschätzung der Entwicklungen in der Handlungsumwelt vor. *Denkfehler* kommen wegen fehlerhaften Plänen vor. Diese Fehlerart tritt, trotz eines korrekten Wissens einer Person auf. Wenn eine Person sich einen Handlungsplan nicht merken kann oder ihn vergisst, handelt es sich um einen *Merk- Vergessensfehler*. Sollte eine Rückmeldung falsch interpretiert werden, so geht es in dieser Taxonomie auf der Intellektuellen Ebene um Urteilsfehler.

Auf der höchsten kognitiven Ebene kommen die Wissensfehler vor. Diese Fehler zeichnet das Fehlen von notwendigen Informationen im Langzeitgedächtnis aus, um einen Handlungsplan zu erstellen oder auszuführen.

Nachdem die menschliche Fehler aus der kognitiven Perspektive beschrieben und

Taxonomien unterzogen wurden, erfolgt eine kommunikationsbasierte Sicht der menschlichen Fehlhandlungen.

4.2.3. Kommunikationsbasierte Sicht

Im Mittelpunkt der nachfolgenden Ausführung steht die Kommunikationssicht des menschlichen Fehlers. Eine mangelhafte wie auch irreführende Kommunikation führt zur Verwirrung und ist Anlass für falsche Entscheidungen seitens des Handelnden [RR83]. Deswegen ist es sinnvoll, solche Fehler von den anderen Fehlern abzugrenzen und einer eigenen Klasse zuzuordnen. Ungewünschte Handlungen, die durch mangelnde oder fehlerhafte Anpassung zwischen dem menschlichen Interaktions- und Kommunikationsverhalten und den realisierten technischen Interaktions- und Kommunikationsfähigkeiten entstehen, werden in einer eigenen Gruppe von Fehlern betrachtet. Solche Fehler sollten nach Herceg Interaktions- und Kommunikationsfehler genannt werden [Her04]. Sie resultieren weder aus menschlichem noch aus technischem Versagen, sondern sind Folge dessen.

Hacker schlägt in diesem Zusammenhang eine Fehlertaxonomie vor, die vor allem die Informationsverfügbarkeit in ihrem Fokus betrachtet [Hac05]. Der Arbeitspsychologe nutzt in seiner Fehlerklassifikation, so wie Rasmussen, mehrere kognitive Ebenen. Zu den kognitiven Ebenen zählen: *die automatisierte, die perzept-begriffliche und die intellektuelle Ebene*. Eins der wichtigsten Merkmale für eine Fehlhandlung, die zu einem Fehler führen kann, in dieser Taxonomie ist der Mangel an geeigneten Informationen, die für die Verwirklichung einer situationsgerechten Absicht zu einem handlungsrelevanten Zeitpunkt notwendig sind. Aufgrund der fehlenden Nutzung von objektiv vorhandenen Information kann es zu *Übersehen, Vergessen (Versäumen), Übergehen, Informationsreduzierung und Verarbeitungsdefiziten* der Informationen kommen. Eine weitere Gruppe von Fehlern stammt aus einer falschen Nutzung von objektiv vorhandenen Informationen und kann zu *falscher Orientierung, falschem Entwurf von kognitiven Plänen, falscher Entscheidung und einem falschen situativen Anpassen von Plänen* führen.

Hackers Überlegung zu seiner Klassifikation basieren auf der Handlungsregulationstheorie und zeigen welche Fehler wegen falscher oder fehlender Nutzung von Informationen auf unterschiedlichen kognitiven Ebenen entstehen können. Der Kommunikationsprozess wird in dieser Klassifikation vernachlässigt.

Eine andere Klassifikation als Hacker schlägt Peak in [Pea03] vor. Peak unterbreitet einen Ansatz, der sich an den gegensätzlichen Verständnisebenen der Koordination nach Clark [Cla96] orientiert. Die Hierarchie der vier Ebenen, die im Prozess des gegenseitigen Verständnisses eine Schlüsselrolle spielen, zeigt die Tabelle 4.5.

Ebene	Sprecher (S)	Zuhörer (Z)
Konversation	S schlägt eine Aktivität vor	Z berücksichtigt den Vorschlag
Intention	S präsentiert einen Vorschlag	Z erkennt den Vorschlag
Signal	S sendet ein Signal	Z identifiziert das Signal
Kanal	S startet einen Kanal mit seinem Verhalten	Z beachtet das Verhalten

Tabelle 4.5.: Ebenen der Koordination für die Grundlage der gemeinsamen Verständigung [Pea03]

Die unterste Ebene bildet ein Kommunikationskanal. Am Anfang eines Gesprächs öffnet ein Sprecher mit seinem Verhalten den nötigen Kommunikationskanal zu einem Zuhörer. Für eine gelungene *Verbindung* muss das Verhalten vom Zuhörer wahrgenommen werden

Die zweite Ebene beinhaltet nur ein Signal, das vom Sprecher präsentiert wird. Dies ist ein weiterer Schritt der gegensätzlichen Verständigung. Die Aufgabe des Zuhörers auf dieser gesendeten Ebene ist das Identifizieren des Signals. Da nicht alle von Menschen gesendeten Signale einer Kommunikation zugeordnet werden können, muss der Vorgang von beiden Kontrahenten koordiniert werden.

Auf der dritten Ebenen befindet sich die Intention. An dieser Stelle in der Hierarchie tritt der Kontext einer Mitteilung in den Vordergrund. Die mit einem Signal und mithilfe eines Kanals übermittelte Mitteilung wird nun interpretiert.

Die höchste Ebene des Schemas besteht aus dem Konversationslevel. Der Sprecher schlägt eine (gemeinsame) Aktivität vor, die vom Zuhörer gestartet werden soll.

Die Annahme, die in diesem Modell vorgenommen wurde, ist, dass die einzelnen Schritte der Hierarchie in einer strikten sequenziellen Reihenfolge vorkommen. Das heißt, dass ein Ereignis, das einer bestimmten Ebene zugeordnet ist (*z.B. Intention*) nur dann gestartet werden kann, wenn das Ereignis der Ebene darunter erfolgreich durchgeführt wurde. Bei der Intention zum Beispiel muss erst die Auswahl eines Kanals und die Übermittlung eines Signals erfolgreich gewesen sein, bevor die Intention gestartet werden kann. Clark nennt dies eine Aufwärtskausalität (*engl. upward causality*).

Die einzelnen Ebenen der Hierarchie bilden das theoretische Framework, mit dem die Ursachen eines Kommunikationsfehlers erklärt werden können. Auf jeder der erwähnten Ebenen kann ein Kommunikationsfehler vorkommen. Kommt ein Fehler bereits auf der untersten, der Kanalebene vor, so sind Signal, Intention und Konversation nicht mehr möglich. Sollte die Auswahl eines geeigneten Kanals aber positiv verlaufen, so bleiben drei weitere Ebenen auf denen ein Fehler auftreten kann, usw. Peak unterscheidet auf diese Weise in seiner Taxonomie fünf Kommunikationsfehler. Der Grund dafür ist, dass auch, wenn alle Ebenen fehlerfrei waren, es möglich ist, dass zwischen den kommunizierenden Personen keine gemeinsame Vereinbarung exi-

stiert. Unter diesen Umständen kann es passieren, dass eine Mitteilung vom Zuhörer ignoriert wird.

Das theoretische Framework von Peak mit seiner Taxonomie der Kommunikationsfehler beschränkt sich auf die mündliche Kommunikation der Kontrahenten, was einen deutlichen Nachteil für die allgemeine Nutzung des Ansatzes bedeutet. Weiterhin lässt der Autor unklar, wie die nötigen Feedbackschleifen in diesem Ansatz funktionieren, und für ein Kommunikationsmodell für das Framework genutzt wurde.

Der dritte und umfassendste Ansatz einer Taxonomie der Kommunikationsfehler kommt von Gibson und seinen Kollegen. Diese Systematisierung entstand aus mündlichen Aufzeichnungen zwischen den Zugführer und einem Stellwerk erstellten [GMYL06]. Diese Taxonomie lässt sich, anders als die von Peak aufgestellte Taxonomie, auf andere Arten der Kommunikation übertragen. Seine Fehlerordnung basiert auf mehreren, kleineren, einzelnen Taxonomien, auf die bei der Vorstellung verwiesen wird. Die Fehlerordnung nach Gibson bilden drei Dimensionen:

1. Kommunikationsfehler (*engl. communication error criteria*)
2. Ebene der Grammatik (*engl. level of the grammar*)
3. Fehler aus externen Zuständen (*engl. external error modes*)

Die Dimension des Kommunikationsfehlers besteht aus drei weiteren Kriterien. Das erste Kriterium bilden die Kommunikationsziele von kommunizierenden Personen (*engl. The communication goals of a participant*). Eine Abweichung kann innerhalb dieses Kriteriums vorkommen, wenn ein Nachrichtenziel nicht adäquat mitgeteilt (übermittelt) wird. Dies ist die einfachste Ausprägung eines Kommunikationsfehlers. Aus der kognitiven Sicht werden diese Fehler den bereits beschriebenen Slips zugeordnet [Baa92]. Weitere Beispiele wurden anhand von Untersuchungen im zivilen Luftverkehr und Readback-Fehlern von Piloten in [Eur04] beschrieben.

Das zweite Parameter der Dimension bildet das Kriterium der *grammatikalischen Ebene*, die gemeinsame Grammatik der kommunizierenden Personen. Grammatik ist eine Sammlung von Regeln, die zum einen Wörter und Sätze für eine gemeinsame Verständigung kreiert. Zum anderen ist sie eine mentale Repräsentation des linguistischen Wissens [FRN02]. Abweichungen auf dieser Ebene entstehen dann, wenn ihre Regeln nicht befolgt werden.

Dies kann vor allem bei Personen passieren, die sich in einer Fremdsprache verständigen. Untersucht wurden solche Fehler unter anderem in der italienischen zivilen Luftfahrt, in der massive Abweichungen von der standardisierten Phrasologie festgestellt wurden [CC02], aber auch im medizinischen Bereich, in dem amerikanische Ärzte mit Patienten kommunizieren, deren Kenntnisse der englischen Sprache sich auf das Nötigste beschränken und eine Barriere beim Zugang zur medizinischen Versorgung darstellen [Yeo04].

Das dritte Kriterium der Dimension besteht aus den *kontextuellen Elementen der Kommunikation*. Dies ist eine allgemeine Eigenschaft, die unmittelbar mit der Ausführung einer Handlung zusammengebracht wird. Gibson empfiehlt, das Kriterium dem *task communication error* zuzuordnen. Die Abweichungen auf dieser Ebene üben einen direkten Einfluss auf die Ausführung einer Handlung aus. Beispiele stellen an dieser Stelle Mitteilungen dar, die zeitlich unpassend erfolgen (*zu früh, zu spät*) oder Mitteilungen mit einem *falschen Inhalt*.

Die grammatikalische Ebene bildet die zweite Dimension der Taxonomie. Die Klassifikation dieser Dimension wurde von Fromkin und Rodman aufgestellt [FRN02]. Die Parameter, die die grammatikalische Ebene bilden, sind: *Phonology* - dient der Beschreibung von Lautstrukturen und wie der Mensch Wörter anhand von Phonemen unterscheidet; *Syntax* - beschreibt die Zeichenordnung einer Sprache; *Semantik* - beschreibt die Bedeutung der Sprachstrukturen und *Pragmatik* - betrachtet den kontextuellen Einfluss der Kommunikation und ihre situationsabhängige Bedeutung. Folgen von Abweichungen dieser Dimension wurden von Corradini und Cacciari in [CC02] ausführlich diskutiert.

Die dritte Dimension der Taxonomie bilden die **externen Fehlerzustände**. Dieses Kriterium wird genutzt, um eine genügende Breite an beobachtbarem Verhalten beim Kommunizieren abzubilden. Es zeigt eine Analogie zu den semantischen Fehlerzuständen von Hollnagel [Hol99], die bereits auf der Abbildung 4.2 zu finden sind. Die einzelnen externen Zustände wurden in der Tabelle 4.6 auf die einzelnen Ebenen der Grammatik abgebildet. Diese Zuordnung wurde bereits auch von Shorrock und Kirwan in [SK02] vorgeschlagen.

Der Unterschied zu den Arbeiten von Shorrock und Kirwan besteht jedoch darin, dass in deren Klassifikation vielmehr die internen Fehlerzustände (*engl. internal error modes*) behandelt werden. Diese werden direkt mit den kognitiven Funktionen von den vier kognitiven Domänen: *Perzeption; Gedächtnis; Beurteilung mit Planung und Entscheidung* und der letzten Domäne *Aktion* verbunden. Zu der Domäne *Aktion* der Taxonomie von Shorrock und Kirwan soll jedoch erwähnt werden, dass sie neben den Funktionen, die von der *Zeit, Position und Selektion* abhängig sind, auch eine Kommunikationsfunktion beinhaltet. Diese Funktion unterscheidet zwischen Kommunikationsfehlern, die aufgrund von einer *unklaren, inkorrekten* oder *keiner* Kommunikation auftreten [SK02, S. 327].

4. Menschliche Fehler

Externer Zu-stand	Phonetik	Semantik	Syntax	Pragmatik
Unterlassen	Gesprochener Laut wird unterlassen	Semantische Einheit wird unterlassen	Syntaktische Einheit wird unterlassen	Ganze Aussage wird unterlassen
Falsche Aktion, richtiges Objekt	Falscher Laut erreicht die richtige Person	Falsche semantische Einheit erreicht die richtige Person	Falsche syntaktische Einheit erreicht die richtige Person	Abweichung von pragmatischer Regel, falsche Aussage erreicht richtige Person
Richtige Aktion, falsches Objekt	Korrekturer Inhalt einer Kommunikation wird zu einer falscher Person kommuniziert			
Falsche Aktion, falsches Objekt	Falscher Laut erreicht eine falsche Person	Falsche semantische Einheit erreicht die falsche Person	Falsche syntaktische Einheit erreicht die falsche Person	Abweichung von der pragmatischen Regel, kommuniziert zu falscher Person
Falsche Richtung	Die grammatikalische Ebenen besitzen keine Richtungseigenschaften			
Wiederholung	Laut wird wiederholt	Semantische Einheit wird wiederholt	Syntaktische Einheit wird wiederholt	Redewendung oder Aussage wird wiederholt
Falsche Ordnung	Laut falsch angeordnet	Laut in einer semantischen Einheit falsch angeordnet	Laut in einer syntaktischen Einheit falsch angeordnet	Aussage oder Redewendung falsch geordnet
Zu viel, zu wenig	Redevolumen, Geschwindigkeit	ungenutzt	ungenutzt	Regel der Redeknappheit nicht eingehalten, Pause einer Rede nicht eingehalten
Zu lange, zu kurz	Laut zu kurz/lang	ungenutzt	ungenutzt	Analog zu zuviel/wenig
Zu früh, zu spät	Analog zu falscher Ordnung	Analog zu falscher Ordnung	Analog zu falscher Ordnung	Abweichung von pragmatischer Regel
Externes Ereignis	Unerwünschter Laut	Unerwünschte semantische Einheit	Unerwünschte syntaktische Einheit	Unerwünschte Aussage

Tabelle 4.6.: Fehlertaxonomie in der Kommunikation nach Gibson, [GMYL06]

4.3. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Grundverständnis für die menschlichen Fehlhandlungen in einem soziotechnischen System gegeben, um den Leser für diese Sachverhalte zu sensibilisieren. Dies ist nach Auffassung des Autors eine Voraussetzung, um die Motivation der Ausarbeitung zu fundieren. Ein Anliegen dieser Ausarbeitung ist die Erstellung einer Methodik, die unter anderem helfen soll, zu beurteilen, in wie weit aufgrund einer unzureichenden Kommunikation eine fehlerhafte Ausführung von Aufgaben erfolgt. Um eine solche Methode aufzustellen, ist das Verstehen des menschlichen Fehlers von essenzieller Bedeutung.

Das Kapitel beginnt mit einer Forderung nach einer adäquaten Definition des menschlichen Fehlers. Dabei wurden mehrere Definitionen des Begriffs aus unterschiedlichen Sichten miteinander verglichen. Nachdem der menschliche Fehler definiert wurde, wurden mehrere Klassifizierungen des Handlungsfehlers vorgestellt. Die Ordnung beginnt mit der verrichtungsbezogenen Fehlerklassifikation und geht in die kognitionspsychologische Sicht, die die Fehler auf individueller kognitiver Ebene klassifiziert, über. Dabei wurden das am meisten etablierte SRK-Modell (*Skills-Rules-Knowledge*) von Rasmussen und das erweiterte *Generische-Fehler-Modellierungssystem* (GFMS) von Reason im Detail vorgestellt. Der kognitionspsychologische Ansatz verfolgt ein ursachenbezogenes Konzept und versucht, die den Fehlern zugrundeliegenden Mechanismen menschlicher Informationsverarbeitung aufzudecken und diese Fehler nach Prozessen zuzuordnen. Anschließend wurde eine Systematik des menschlichen Fehlers im Hinblick auf die unzureichende Kommunikation, die beson-

ders hervorgehoben wurde, dargestellt. Dabei wurden Taxonomien herangezogen, die zum einen Parallelen zu der kognitionpsychologischen Sicht haben und zum anderen aus einem bestimmten Kontext (in diesem Fall Schienenverkehr) heraus entwickelt wurden und sich auf das äußere Erscheinungsbild eines Handlungsfehlers beziehen.

Nachdem der menschliche Fehler charakterisiert wurde, sollen im nächsten Kapitel die Gefährdungs- und Unfallanalysetechniken für sicherheitskritische Systeme vorgestellt werden.

5. Gefährdungs- und Unfallanalysetechniken

Eine mögliche Gefahr zu identifizieren, ihre Folgen und ihr Auftreten möglichst genau abzuschätzen und falls ein Unfall bereits passierte, die wahren Gründe des Unglücks herauszubekommen, sind die wichtigsten Mechanismen in der Verbesserung der Sicherheit eines Systems. Im folgenden Kapitel werden mehrere Verfahren, die dies leisten sollen, mit den Vor- und Nachteilen vorgestellt.

Da im Rahmen der Dissertation ein Verfahren entstehen soll, um Schwachstellen, die aufgrund einer inkorrekten Kommunikation stattfinden, aufdecken kann, ist es wichtig einen Einblick in die derzeit wichtigsten Entwicklungen und etablierten Verfahren im Bereich der Sicherheitsanalysen zu geben. Dies wird hauptsächlich gemacht um ein eigenes Verfahren von den bestehenden Methoden abzugrenzen und die Innovation der eigenen Technik in späteren Kapiteln darzustellen.

In der Praxis werden Analyseverfahren abhängig von den vorhandenen Rahmenbedingungen eines Projektes und Problemen, die untersucht werden sollen, ausgewählt. Die Wahl einer passenden Methode hängt von unterschiedlichen Parametern ab. Berücksichtigt werden zum Beispiel: Hintergrundwissen von Personen, die die Technik nutzen sollen; Informationen, die verfügbar sind um eine bestimmte Methode durchzuführen; Informationen, die von der Methode erwartet werden; Komplexität des zu untersuchenden Systems; Grad der Automatisierung; Art der vorzufinde Gefahr, aber auch die Rolle der Kooperation von Menschen und Maschinen in einem System und schließlich, ob es sich um ein standardisiertes oder ein einmaliges System handelt [Rou90].

Die im Folgenden vorgestellten Analysen werden in zwei Gruppen unterteilt. Eine Gruppe der Gefährdungsanalysetechniken, in der die Gefahr identifiziert und/oder bewertet wird. Die zweite beschäftigt sich mit Unfallanalysetechniken, wobei die Stärke des Verfahrens in erster Linie in der retrospektiven Analyse eines Unfalls liegt. In beiden Teilen gibt es eine ganze Reihe von Methoden. Für das bevorstehende Kapitel wurden nur die wichtigsten Methoden als Repräsentanten der jeweiligen Gruppe ausgewählt. Dabei wurden mehrere Gründe berücksichtigt. Zum einen erweisen die ausgesuchten Repräsentanten einen hohen Bekanntheitsgrad in der Fachliteratur, zum anderen etablierten sie sich als Methoden, die in der Praxis von Analysten in ihrer Arbeit berücksichtigt werden. Schließlich verkörpern sie mit ihren Eigenschaften am besten die zugehörige Gruppe.

5.1. Gefährdungsanalysen

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Methoden können drei Untergruppen zugeordnet werden.

Die erste Gruppe bilden die *explorativen* Verfahren. Bei diesen Methoden sind weder die Ursachen noch die Folgen von Gefahren bekannt. Zu dieser Untergruppe gehört die Hazard and Operability Study, (HAZOP). HAZOP ist eine Methode, bei der erst während der Untersuchung die Schwachstellen wie auch die Konsequenzen identifiziert und ihre mögliche Folgen erforscht werden.

Zu der zweiten Untergruppe gehören die *deduktiven* Verfahren. Bei diesen Verfahren sind die Konsequenzen bekannt, nicht jedoch die Ursachen für das Versagen des untersuchten Systems. Von dieser Gruppe wird die Fault Tree Analysis (FTA) vorgestellt, weiter beinhaltet sie Methoden wie: Event Tree Analysis (ETA), die Probabilistic Risk Assessment (PRA), Cause-Consequence Analysis (CCA) und die Management Oversight and Risk Tree Analysis (MORT).

Die dritte Untergruppe, mit der Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) als Vertreter, charakterisiert die *induktive* Vorgehensweise. Bei diesen Verfahren sind die Ursachen für das Versagen eines Systems bekannt, nicht aber die resultierenden Konsequenzen. Weitere Methoden aus dieser Gruppe sind: die Failure Mode Cause and Effect Analysis, (FMCEA), Action Error Analysis (AEA) oder die Human Factor Analysis (HFA).

5.1.1. HAZOP

Um Gefahren für die Sicherheit von chemischen Anlagen möglichst im frühen Stadium zu entdecken, wurde in den sechziger Jahren durch Imperial Chemical Industries in England die Hazard and Operability Study, kurz HAZOP, entwickelt [Law74]. Diese Methode bildet einen Rahmen für eine systematische Identifizierung von Gefahren im bereits existierenden oder erst geplanten System. HAZOP ist eine qualitative Technik, die von einem interdisziplinären Team umgesetzt wird und basiert auf den vier Bausteinen Prognose, Auffinden der Ursache, Abschätzen der Auswirkungen und Gegenmaßnahmen.

Vorstellung der HAZOP Methode

Die HAZOP Technik besteht aus vier Phasen:

1. Initialisierung
2. Planung
3. Durchführung der Analyse
4. Schlussfolgerungen und Veränderung des Systems

Da die ersten zwei Phasen eng miteinander verbunden sind und die Schlussfolgerungen und Veränderungen des Systems Ergebnisse der Durchführung von HAZOP darstellen, werden im folgenden Abschnitt diese zwei Hauptphasen der Technik vorgestellt.

Initialisierung und Planung Am Anfang der ersten Phase stellt der verantwortliche Manager fest, ob eine Studie gestartet werden soll. Er beschreibt das Ziel, das durch die Untersuchung erreicht werden soll, legt den Fokus der Untersuchung fest und benennt die führende Person der Studie, den „Study Leader“. Damit initialisiert er das Vorgehen. Der Study Leader wählt zuerst die übrigen Personen des Teams und deren Verantwortlichkeitsbereiche. Eine optimale Teamgröße beträgt vier bis sieben Mitglieder [RCC99, S. 69]. Das Team sollte bezüglich der Erfahrung und des Wissens der einzelnen Mitglieder heterogen aufgestellt werden. Dabei soll beachtet werden, dass mindestens ein Nutzer des Systems involviert wird. Das kleinste Team sollte wenigstens einen Projektmanager, Entwicklungsexperten und einen Sicherheitsexperten beinhalten. Je nach der speziellen Ausrichtung eines Systems werden weitere Experten in das Team eingeladen. An dieser Stelle wird auch geplant, wie viele Meetings benötigt werden, wann diese stattfinden sollen, und wo die Gruppe untergebracht werden soll. Zudem werden weitere logistische Probleme angegangen.

Leitwörter	Bedeutung
nicht	Die Designziele wurden nicht erreicht
weniger als	Nicht erwartete Verringerung eines Parameters (quantitatives Merkmal)
mehr als	Nicht erwarteter Anstieg eines Parameters (quantitatives Merkmal)
so wie / analog zu	Ein nicht erwartetes Ereignis ist eingetreten (Qualitatives Merkmal)
Teil von	Teilweise erwartetes Ergebnis ist eingetreten (qualitatives Merkmal)
Gegenteil	Ein logisch gegensätzliches Ergebnis ist eingetreten
anders als	Aktion oder Ergebnis das nicht zu erwarten war, ist eingetreten
zu früh / zu spät	Aktion oder Ergebnis traf in einem nicht erwarteten Zeitpunkt ein
bevor / danach	Die aufgetretene Abweichung konnte in keine Sequenz eingeordnet werden
zu schnell / zu langsam	Eine Veränderung der Prozessgeschwindigkeit im System ist aufgetreten

Tabelle 5.1.: Beispiel von Leitwörtern und ihre Bedeutung in der HAZOP-Methode

An dieser Stelle werden auch die Leitwörter für die Untersuchung festgelegt. Es wird entschieden welche Phrasen für die Beschreibung von Abweichungen im System benutzt werden. Die vorgestellten Leitwörter in Tabelle 5.1 repräsentieren Beispiele, die in HAZOP verwendet werden und keinen kontextuellen Hintergrund eines Systems besitzen. Die Leitwörter werden während der Brainstroming-Sitzungen vom Team Leader im Brainstroming-Prozess eingesetzt. Sie sollen vor allem die Kreativität des Teams stimulieren und helfen, neue Sichten auf die betrachtete Problematik zu beleuchten.

Darüber hinaus werden entsprechenden Prozessflussdiagramme, Entwurfsprototypen, Materialien über Sicherheitsvorkehrungen im System, Bedienungsanleitung, Informationen über die technische Gegebenheiten des benutzen Materials sowie eine Beschreibung der Notfallprozeduren dem Team bereitgestellt.

Durchführung und Schlussfolgerungen Nachdem die Vorbereitung und Planung abgeschlossen wurde und die Experten mit dem System vertraut sind, kann die tatsächliche Analyse durchgeführt werden. Zuerst wird ein Teil aus dem System ausgewählt. Die Analyse beginnt mit der Beschreibung des Teilsystems und einer Selektion der wichtigsten Komponenten, die während der Sitzung untersucht werden sollen. Zu den Komponenten zählen technische Elemente wie: Ventile, Sensoren, Wärmetauscher, etc. Als nächstes werden die Prozessvariablen, die direkt auf die Komponenten einwirken, bestimmt. Zu diesen variablen Größen gehören unter anderem: verwendete Chemikalienmengen, Kühlwasserfluss, Temperatur, Druck, Zeit, etc.

Bei der Untersuchung von Abweichungen eines bestimmten Parameters, zum Beispiel Temperatur oder Druck in einem Zylinder, wird der Prozessparameter zusammen mit einem Leitwort z.B. *mehr als* verknüpft. Damit werden Fragen über mögliche Abweichungen generiert. Die Experten beantworten diese Fragen. Sie werden dann in einem entsprechenden Formular schriftlich notiert. Eine mögliche tabellarische Darstellung eines solchen Formulars zeigt die Tabelle 5.2. Das Team bestimmt auch die Konsequenzen der Abweichungen und bemüht sich entsprechende Empfehlungen zu geben.

Leitwort	Komponente	Abweichung	Mögliche Ursachen	Mögliche Konsequenzen	Schutz	Aktion

Tabelle 5.2.: Beispiel für eine tabellarische Darstellung des Protokolls von HAZOP-Methode

Die Gründe für eine Abweichung kann in HAZOP in drei Gruppen unterteilt werden.

Die erste Gruppe bildet das menschliche Versagen. Dies kann durch den Benutzer, Designer, Konstrukteur oder eine weitere Person verursacht werden.

Die zweite Gruppe bilden Fehler die durch das Equipment verursacht werden. Diese können durch die Bausubstanz entstehen oder einen mechanischen Ursprung haben.

Die dritte Gruppe bilden Ereignisse die außerhalb des Systems liegen. Beispiele wären hier seismologische Aktivitäten oder außergewöhnliche Wettervorkommnisse.

Nachdem alle möglichen Kombinationen von Fragen ausprobiert und Antworten aufgeschrieben wurden, kann der Teamleader die Analyse abschließen. Eine detaillierte Darstellung des Flussdiagramms für die HAZOP-Methode kann aus [RCC99, S. 111] entnommen werden.

Evaluation

Die HAZOP Methode ist ein anerkanntes Verfahren, stellt aber keine quantitativen Ergebnisse dar. Vielmehr wird ein qualitatives Vorgehen systematisiert. Das Verfahren setzt menschliche Fehler in Beziehung mit den sicherheitstragenden und operationalen Aspekten eines Systems.

Die vorgestellte Methode wird meistens in bereits fertiggestellten Chemieanlagen eingesetzt. Es ist demnach meistens zu spät für Änderungen im Design der Anlage. Die Ergebnisse werden so für die Reduzierung der Gefahr in fertiger Anlage genutzt [Kle85].

Stärken dieser Methode liegen in ihrer Klarheit und einfachen Nutzung, um bereits in frühen Stadien der Entwicklung Probleme im Design zu finden [Lev95, S. 339]. Neben der Entdeckung von Fehlern besitzt sie das Potential komplexe Gefahren im System aufzudecken. Da ihre Leitwörter und Systemvariablen einer entsprechenden Umgebung angepasst werden können, beschränkt sich ihre Nutzung nicht auf chemische Anlagen, sondern bietet die Möglichkeit, auf andere Systeme angepasst zu werden [RCC99, S. 176-184].

Um die zeitaufwendige Methode effektiver zu nutzen, entstanden in den letzten Jahren mehrere Applikationen, die das Vorgehen unterstützen. Eine davon ist Sil-Core, die die SIL¹-Bewertung und HAZOP in einer Umgebung integriert [Mac04]. Solchen Lösungen helfen die Ergebnisse, die mit HAZOP gesammelt wurden, wieder zu verwenden.

Die Ergebnisse des Verfahrens korrelieren trotz der eingesetzten Software stark mit der Qualität der Beschreibung eines Systems, der technischen Kenntnisse eines Teams und der Fähigkeiten der einzelnen Teammitglieder, das Gefährdungsrisiko

¹Safety Integrity Level

abzuschätzen. Ein weiterer Nachteil sind die Personalkosten, die sie verursacht. Denn das Personal sollte für die Zeit der Analyse frei von weiteren Tätigkeiten gestellt werden. Da die Analyse einem starren Muster folgt, wird ihre Flexibilität dadurch eingeschränkt.

Ein Konzept HAZOP mit Aufgabenmodellen zu verbinden, wurde in einer Studienarbeit² in unserer Arbeitsgruppe untersucht. In der Ausarbeitung wurden die ersten Schritte für ein zukünftiges Verfahren, das durch AMBOSS unterstützt werden kann, ausgelotet. Dabei wurde untersucht in wieweit Abweichungen von Aufgaben, die in einem Aufgabenmodell dargestellt werden, mit dieser Methode aufgedeckt werden können. Es wurde festgestellt, dass Untersuchungen von komplexen Systemen, die mit hoher Granularität erfolgen sollen, schnell sehr aufwendig und unübersichtlich werden.

5.1.2. FTA

Die Fehlerbaumanalyse (*Fault Tree Analysis, FTA*) dient der Untersuchung und visueller Darstellung von Ursachen, die zu einem unerwünschten Ereignis in einem System führen. Dabei wird die logische Form eines Baums genutzt. FTA gehört zu den Top-Down Methoden, die durch ein deduktives Vorgehen die Schwächen, die zu einem bestimmten Ereignis führen, untersucht. Mit diesem Verfahren lassen sich keine neue Gefahren identifizieren. Es werden lediglich die Ursachen des Top Ereignisses analysiert.

Die formale Technik ist inzwischen über 40 Jahre alt und fungiert weltweit als eine anerkannte Analysemethode. Eine einfache Handhabung der Regeln und Symbolen stellt ein geeignetes Regelwerk für die Untersuchung von komplexen Systemen dar. Die Methodik wurde von H.A. Watson an der Bell Laboratories zusammen mit der U.S. Air Force während einer gemeinsamen Kooperation im Jahre 1961 entwickelt. Die Methodik wurde in ihrer Mächtigkeit schnell von Dave Haasl erkannt und bei Boeing und bei der Analyse der Systemsicherheit eingesetzt und weiter entwickelt. Ab diesem Zeitpunkt entstanden mehrere Forschungsarbeiten, die an den Verbesserungen der Analyse forschten. Die vollständige historische Entwicklung der Methode kann in [Cli99] nachgelesen werden.

Die Methode wurde mittlerweile in eine DIN-Norm [25490] wie auch in eine IEC-Norm (International Electrotechnical Commission) [61090] aufgenommen und standardisiert. Um ihr Ziel der systematischen Bestimmung der Ursachen der Systemfehler und der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen zu erreichen, besteht sie (grundsätzlich) aus folgenden Schritten:

1. Bestimmung und Abgrenzung des zu untersuchenden Systems

²Christian Pietch, 2007, Analyse der Bedienung sicherheitskritischer Systeme anhand von Aufgabenmodellabweichungen

2. Konstruktion eines Fehlerbaums
3. Qualitative und Quantitative Analyse
4. Aufzeichnung der Resultate

Im Weiteren werden die einzelne Schritte der Analyse beschrieben.

Systemdefinition Im ersten Schritt der Analyse soll das zu untersuchende System von dem Rest der Umgebung abgegrenzt werden. Dies wird gemacht, um den Fokus bei der Betrachtung der möglichen Ereignisse auf das Wesentliche zu richten. Die Grundbedingungen eines Systems können zum einen durch physikalische Gegebenheiten des Systems beschrieben werden. Zu denen gehören die Betriebsmittel, sowie vorhandene Schnittstellen zu anderen Systemen. Zum Anderen erfolgt die Abgrenzung durch logisch vorgegebene Sachverhalte, zum Beispiel durch die Anfangskonfiguration des Systems zusammen mit den initialen Betriebsbedingungen. Zusätzlich werden unerlaubte Ereignisse definiert, um Ereignisse, deren Betrachtung keinen Sinn macht, aus der Analyse auszuschließen. Ein weiterer wichtiger Schritt in der Festlegung des Systems ist die Bestimmung der Granularitätsstufe des Fehlerbaums. Die Granularität bestimmt die Tiefe der Untersuchung. Eine zu feine Auflösung erhöht möglicherweise die, durch den zusätzlichen Aufwand verursachten Kosten unproportional zum erzielten Mehrwert in Form von besseren Ergebnissen. Ein zu grober Fehlerbaum kann sich hingegen als zu ungenau erweisen.

Darüber hinaus werden neben der Randbedingung die Topereignisse definiert. Dieses Vorgehen basiert auf der Kenntnis des betrachteten Systems der Untersuchung von Unfällen aus der Vergangenheit, oder aus den Berichten über Unfälle, die in ähnlichen Systemen passierten. Die Elemente, die für die Erstellung eines Fehlerbaums genutzt werden, können zusammen mit deren Beschreibung aus der Tabelle 5.3 entnommen werden.

Konstruktion eines Fehlerbaums Ausgehend von einem Topereignis, das als Ausfall einer Systemkomponente oder als ein unerwünschter Systemzustand definiert wurde, werden alle Ereignisse in (logischer) Kombination mit deren Zuständen, die zu dem gesuchten Ereignis führen können, analysiert. Ereignisse, die als Vorgänger des Topereignisses identifiziert werden, werden mit booleschen Operatoren verknüpft und in feinere Ereignisse zerlegt. Als Ergebnis des Vorgehens entsteht ein Fehlerbaum, der die elementaren Ursachen mit den aufgeschlüsselten atomaren Ereignissen beinhaltet und alle Fehlerpfade, die zu dem definierten unerwünschten Ereignis führen, abbildet, vgl. Abbildung 5.1.

Analyse und Auswertung Nachdem die graphische Darstellung der möglichen kausalen Abläufen von Systemelementen, die zu einem Versagen führen können, gemacht

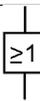
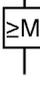
Symbole	Name	Bedeutung
	Top-/Zwischenereignis	Das Topereignis ist ein Ereignis, das aus einer Interaktion von mehreren logisch verknüpften Ereignissen resultiert. Es gilt das gleiche Symbol für das unerwünschte Top Ereignis, wie für die Zwischenereignisse
	Pri-märes Ereignis	Das primäre Ereignis repräsentiert einen Ausfall von Systemelementen oder Bedienfehler. Das Ereignis ist atomar und wird auf der Ebene nicht weiter aufgelöst.
	Unentwickeltes Ereignis	Das unentwickelte Ereignis repräsentiert einen Ausfall von Systemelementen oder Bedienfehler, die aufgrund von fehlenden Details nicht weiter aufgeschlüsselt werden.
	ODER-Verknüpfung	Die ODER Verknüpfung symbolisiert das Auftreten eines Ausgangsereignisses, falls mindestens eines der Eingangsereignisse eingetreten ist. Die ODER-Verknüpfung kann über eine beliebige Anzahl von Eingängen verfügen.
	UND-Verknüpfung	Die UND Verknüpfung symbolisiert das Auftreten eines Ausgangsereignisses, falls alle von den Eingangsereignissen eingetreten sind. Die ODER-Verknüpfung kann über eine beliebige Anzahl von Eingängen verfügen.
	X-ODER Verknüpfung	Die X-ODER Verknüpfung symbolisiert das Auftreten eines Ausgangsereignisses, falls genau eines der Eingangsereignisse eingetreten ist. Die X-ODER Verknüpfung kann über eine beliebige Anzahl von Eingängen verfügen.
	X_m -ODER Verknüpfung	Die X_m -ODER (M -VON- N) Verknüpfung symbolisiert das Auftreten eines Ausgangsereignisses, falls genau m von n Ereignisse eingetreten sind. Die X_m -ODER Verknüpfung kann über eine beliebige Anzahl von Eingängen verfügen.
	Bedingte Verknüpfung	Die bedingte Verknüpfung symbolisiert das Auftreten eines Ausgangsereignisses, falls das Eingangsereignisse eingetreten ist und zusätzlich die Bedingung B erfüllt wird.
	Transfer Symbole	Mit den Symbolen des Transfers werden Teilbäume miteinander verbunden. Das IN-Symbol zeigt den Input von einem anderen Teilbaum. Das OUT-Symbol wird an der Stelle des TOP-Events platziert und zeigt die Stelle des Inputs für einen weiteren Teilbaum.

Tabelle 5.3.: Symbole bei der Fehlerbaumkonstruktion

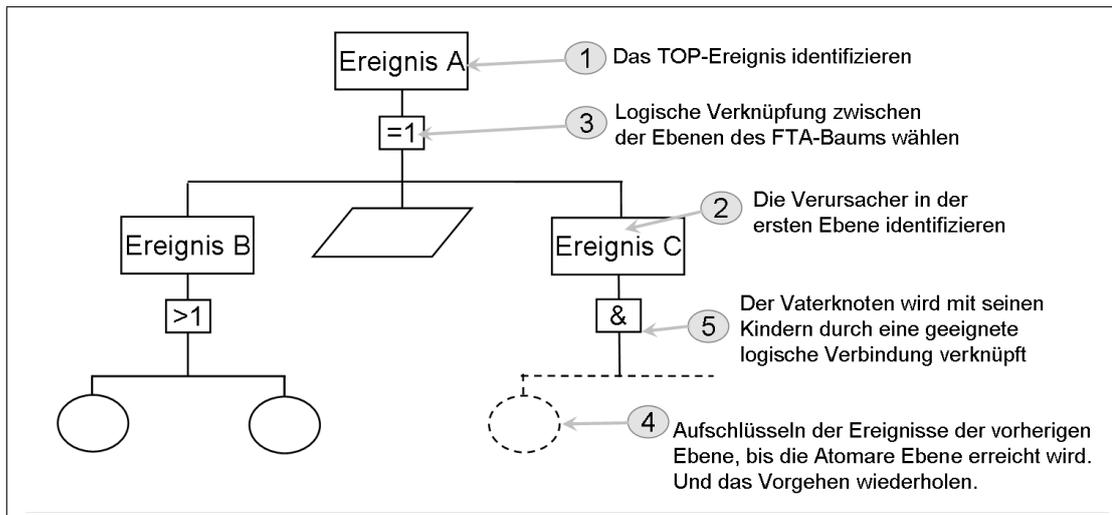


Abbildung 5.1.: Beispiel eines FTA Diagramms mit Schritten des Aufbaus

wurde, folgt nun eine Auswertung des Baums. Die Analyse kann in einen qualitativen und einen quantitativen Teil untergliedert werden.

Die Qualitative Analyse ist für die Ausfallkombinationen von atomaren Ereignissen zuständig. Als Ergebnis der Analyse werden die *Minimal Cut Sets*, (*MCS*) ermittelt. Das heißt, es werden Schnitte des Baums ermittelt, die keine Redundanzen aufweisen. In einem Schnitt müssen aber alle Ereignisse auftreten, um das Topereignis auszulösen. Besonders interessant sind an der Stelle die so genannten Minimal Cut Sets erster Ordnung. Diese Bäume enthalten ein atomares Ereignis, das das Topereignis auslösen kann. Die Bestimmung eines Minimal Cut Sets erfolgt im einen systematischen Verfahren. Der Nachteil von solchen Verfahren ist aber, dass bereits Bäume von mittlere Größe Millionen von Minimal Cut Sets aufweisen können. Deswegen werden für die Bestimmung von Minimal Cut Sets spezielle Algorithmen wie z.B. *Binary Decision Diagrams*, (*BDDs*) oder der *Quine/McCluskey* Algorithmus verwendet [CM93], [AD00].

Die größte Hilfe bei der Suche nach Schwachstellen erweisen die MCS, indem sie die Analysten auf besonders oft vorkommende atomare Ereignisse aufmerksam machen. Kommt ein bestimmtes Ereignis besonders oft vor, so kann davon ausgegangen werden, dass dies einen besonderen Einfluss auf die Zuverlässigkeit eines Systems ausübt. So können strukturelle Schwächen eines Systems identifiziert und gezielt verbessert werden.

In Systemen, in denen die Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen (atomaren) Ereignisse bekannt sind, kann eine quantitative Analyse mit Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeiten durchgeführt werden. Die Wahrscheinlichkeiten werden durch die logischen Verknüpfungen bis zu dem Topereignis entlang des Baums propagiert. Die Voraussetzung dafür ist die Unabhängigkeit zwischen den einzelnen

MCSs, die mit einer ODER-Verknüpfung verbunden werden. Neben der Ausfallabschätzung der einzelnen Elemente liefert die quantitative Analyse Informationen über die Wichtigkeit der einzelnen Elemente eines Systems.

Evaluation

Die Fehlerbaumanalyse ist eine weit verbreitete und etablierte Methode. Die Analyse startet bei der obersten Ebene und wird bis auf die unterste Ebene, in der sich die atomaren Ereignisse eines Fehlerbaums befinden, durchgeführt. Die Ursachen eines unerwünschten Ereignisses werden zuerst auf der qualitativen und dann auf der quantitativen Ebene betrachtet. Die Methode ist in ihrem Ansatz flexibel und kann auf jeder beliebigen Systemebene angewandt werden [Bra02]. Da komplexe Systeme sich in mehrere Untersysteme unterteilen lassen und in jeweils einzelne Diagrammen abbilden lassen, ist diese Analyse geeignet in Teams, deren Mitglieder über unterschiedliches Spezialwissen verfügen, eingesetzt zu werden [NAS99].

Die Fehlerbaumanalyse eignet sich besonders gut für eine klare Verdeutlichung der logischen Zusammenhänge zwischen einer Störung und den Ausgangsereignissen. In erster Linie ist es bei einer konsequenten und systematischen Anwendung möglich alle potentiellen Ausfallkombinationen zu ermitteln.

In komplexen Systemen werden allerdings die Diagramme der Methode schnell unübersichtlich und schwer zu handhaben. Der Aufwand ist dann partiell durch eine geeignete Software abzufangen.

Weitere Nachteile ergeben sich aus der Tatsache, dass die Topereignisse zusammen mit der Beschreibung eines Systems und seinen Randbedingungen bekannt sein müssen. Die Ermittlung von Ursachen erfordert eine detaillierte Kenntnis der Systemfunktionalitäten und für eine aussagekräftige Analyse werden quantitative Daten der einzelnen Komponenten gebraucht. Diese Daten stehen leider in den meisten Fällen nicht zur Verfügung. Desweiteren existieren lediglich eingeschränkte Möglichkeiten dynamische Prozesse und Komponente mit mehreren Zuständen zu modellieren.

5.1.3. FMEA

Failure Mode and Effects Analysis, (FMEA)- Im deutschen Sprachgebrauch auch als die Auswirkungsanalyse bekannt- ist eine analytische Methode der Zuverlässigkeitstechnik. Die Analysemethode dient der qualitativen Bewertung der potentiellen Schwachstellen eines Systems und wird im Sicherheitsmanagement benutzt, um die technische Zuverlässigkeit zu erhöhen und mögliche Fehler zu vermeiden. Fokus der Methode liegt viel mehr in der korrekten Funktionsweise von untersuchten Elementen als in der Gefahr und dem Risiko, das von den Elementen ausgeht. Das Ziel ist es abzuschätzen wie lange eine Komponente oder ein Teilsystem ohne einen Fehler korrekt arbeiten wird.

Einsatzgebiet der Methode ist in erster Linie die Entwicklungsphase von neuen Produkten oder Prozessen. Mit FMEA ist es möglich bereits im frühen Entwicklungsstadium mit der Identifikation von Fehlerursachen der einzelnen Bauelemente zu beginnen. Aus der wirtschaftlichen Perspektive eines Produktes ist eine späte Fehlerentdeckung eines Produktes eindeutig mit höheren Kosten verbunden [TM03]. Bereits 1980 wurde die FMEA als Ausfalleffektanalyse in DIN 25448³ aufgenommen und standardisiert.

Vorgehensweise bei FMEA

Am Anfang der Methode finden Vorbereitungen, die ähnlich zu der ersten Phase von HAZOP sind, statt. In dieser Phase werden das Team der Experten und die relevanten Informationen über das System zusammengestellt. Es werden Checklisten von Qualitätsmerkmalen wie auch bereits bekannte Problemen aus anderen Systemen vorbereitet. Auch Ablaufdiagramme, Zeichnungen der einzelnen Elemente zusammen mit den Systemspezifikationen und die Sicherheitsvorschriften, die für das geprüfte System gelten sollen, werden gebraucht. Um eine adäquate Analyse durchführen zu können braucht das Team eine lückenlose Beschreibung des Systems.

Danach wird das zu untersuchende System definiert. Alle Elemente sollen in einer geeigneten Form, zum Beispiel in einem Blockdiagramm, dargestellt werden. Es werden für jedes Element seine Funktionen aufgelistet. Ist das System beschrieben und entsprechend mit seinen Einheiten dargestellt worden, folgt die Aufstellung der potentiellen Fehlerarten. An dieser Stelle werden auf Basis von Checklisten mögliche Probleme zusammengetragen. Bei jedem gefundenen Fehler wird seine Auswirkung auf angrenzende Systemelemente und auf das gesamte System untersucht. Es soll an dieser Stelle unterstrichen werden, dass eine komplette Beschreibung des Systems zusammen mit den Schnittstellen von essentieller Bedeutung für den Erfolg der Methode ist. Ergebnis des Schrittes sind potenzielle Fehlerursachen und deren Folgen.

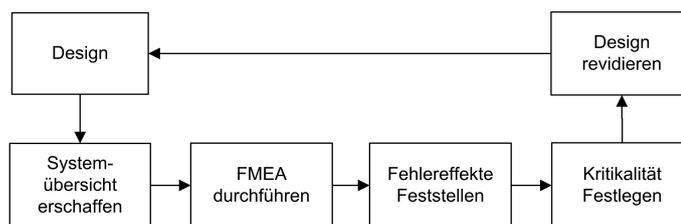


Abbildung 5.2.: Vereinfachtes Flussdiagramm von FMEA

Als nächstes folgt die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit der Fehler und es wird deren Kritikalität kalkuliert. Hierfür wird für jeden Fehler eine Risiko-Prioritäts-Zahl (RPZ), die eine quantitative Bewertung des Risikos darstellt, berechnet. Die RPZ ist

³2006 wurde die DIN 25448 durch die DIN EN 60812 ersetzt:

5. Gefährdungs- und Unfallanalysetechniken

Konstruktionskomponente	Nr.	Mögliche Fehler			Derzeitiger Zustand				Empfohlene Abstellmaßnahmen	Verantwortlichkeit	Verbesserter Zustand							
		Art	Auswirkung	Ursache	Kontrollmaßnahmen	A	B	E			RPZ	Aktivität	Zuständigkeit	Geplante Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Prozessablauf Systemkomponente																		

Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Fehlers (Fehler kann vorkommen) unwahrscheinlich = 1 sehr gering = 2 – 3 gering = 4 – 6 mäßig = 7 – 8 hoch = 9 – 10	Bedeutung des Fehlers (Auswirkungen auf den Kunden) kaum wahrnehmbare Auswirkungen = 1 unbedeutender Fehler, geringe Belastigung des Kunden = 2 – 3 mäßig schwerer Fehler = 4 – 6 schwerer Fehler, Verärgerung des Kunden = 7 – 8 äußerst schwerwiegender Fehler = 9 – 10	Wahrscheinlichkeit der Entdeckung des Fehlers (vor Auslieferung an den Kunden) hoch = 1 mäßig = 2 – 3 gering = 4 – 6 sehr gering = 7 – 8 unwahrscheinlich = 9 – 10
--	--	---

Abbildung 5.3.: Formblatt von FMEA, [KB93, S. 74]

eine Größe, die aus drei Faktoren besteht. Der erste Faktor ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Ursache, der zweite ist die Tragweite des Fehlers (die Konsequenz) und der letzte Faktor ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Fehler entdeckt wird. Alle drei Parameter werden mit Zahlen zwischen 1 und 10 versehen und nach der Abschätzung miteinander multipliziert. Eine niedrige Zahl kennzeichnet ein geringes und eine hohe Zahl ein großes Risiko. Die Kombinationen aus Ursachen, Fehlern und Konsequenzen werden für jedes Element (Bauteil) oder Prozessschritt auf einem Formblatt eingetragen vgl. Abbildung 5.3. Das Ergebnis der Risiko-Prioritäts-Zahl ist dabei ein Anhaltspunkt für die Beurteilung der zugehörigen Fehler. Sollte die Zahl nach Einschätzung der Experten zu hoch sein, werden Maßnahmen zur Minderung des Risikos eingeleitet. Für die Beurteilung der einzelnen Maßnahmen wird eine neue RPZ berechnet und in das Formblatt eingetragen. Der Vergleich des alten und neuen Wertes liefert den Grad der Verbesserung.

Soll die Analyse von einem komplexen System durchgeführt werden, wird dieses erst in kleinere Einheiten unterteilt. Diese werden dann nacheinander mit der Technik untersucht.

Nach den einzelnen Schritten des Verfahrens, die in der Abbildung 5.2 in Form eines Flussdiagramms dargestellt sind, wird ein Vorschlag für die Überarbeitung des derzeitigen Designs erarbeitet.

Evaluation

Ein offensichtlicher Vorteil von der FMEA Methode ist die einfache und systematische Handhabung. Die Experten sind in der Lage ohne komplizierte Berechnungen eine Qualitative Analyse durchzuführen. Ihre Identifikation von Schwachstellen wird durch die Einschätzung der RPZs sofort als Handlungsbedarf ausgewertet und weiter

geleitet. Die RPZ sind ein guter Indikator für die Demonstration des Qualitätsstandpunktes eines Systems. Dank der Flexibilität und Einfachheit hat die FMEA eine hohe Akzeptanz und wird aufgrund der Standardisierung unter anderem von TÜV-Nord⁴ empfohlen. Auf dem Markt gibt es inzwischen mehrere Softwarelösungen, die eine einfache Dokumentation und Zugriff auf die Erfahrungswerte der Methode gewährleisten. Trotz anfänglicher Kritik, die gezielt eine Vernachlässigung des menschlichen Faktors in Vordergrund setzte [Ham72], änderte sich die Lage in den letzten Jahren. Die FMEA wurde zum Beispiel in Projekten aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrt verwendet um menschlichen Fehler (Pilotenfehler) und ihre Konsequenzen zu untersuchen. Zu diesen Projekten zählt z.B. Next-Gen [KRI09].

Zu der ursprünglichen Version von FMEA entstanden in den letzten Jahren weitere Arten der Methode. Dazu zählen: die System-FMEA -sie untersucht das Zusammenwirken von Teilsystemen auf ein übergeordnetes System, die Konstruktions-FMEA - welche die die Konstruktion der einzelnen Teile auf ihre Schwachstellen untersucht, die Prozess-FMEA -dieser Zweig beschäftigt sich mit Schwachpunkten im Fertigungsprozesses oder die Health-FMEA - die speziell für den Gesundheitssektor angepasst wurde.

Zu den Nachteilen der Methode zählt die direkte Abhängigkeit der Qualität der Analyse von dem Wissen der Teammitglieder. In erster Linie korreliert die quantitative Abschätzung mit der Erfahrung des Teams und kann bei unerfahrenen Teammitgliedern falsch eingeschätzt werden. Da die Schätzungen der Kritikalität sich an erster Stelle für bekannte Fehler eignet, liegt der Fokus der Methode vor allem auf standardisierten Systemen. FMEA eignet sich nicht für eine Untersuchung von Effekten die ihren Ursprung in mehreren unterschiedlichen Fehlern eines Systems haben. Bei Verwendung der Methode für große Produktionsanlagen wird sie schnell kostspielig und zeitaufwendig.

5.2. Unfallanalyse

Im Folgenden Unterkapitel werden zwei moderne Unfallanalysemethoden vorgestellt. Es ist die Why-Because-Analyse und die STAMP-Analyse. Diese Unfallanalysen gehören zu den jüngsten Ansätzen in der Ursachenanalyse eines Unfalls und stellen einen kleinen Ausschnitt der jahrelangen Entwicklung der Unfallforschung dar. Die historische Entwicklung von Unfallmodellen wurde bereits von Wissenschaftlern aus den Bereichen der Psychologie, Soziologie und Ingenieurwissenschaften ausgiebig diskutiert. Ausführliche Informationen zu der Historie findet der Leser in den Arbeiten von Heinrich [HPR80], Perrow [C.92], Leveson [Lev95], Johnson [Joh03] und Hollnagel [Hol04].

⁴TÜV-Nord organisiert Schulungen um diese Methode zu vermitteln. <http://www.die-tuev-akademie.de/cms/side188.html>

Hollnagel identifizierte drei Grundklassen von Unfallmodellen, die als Grundlagen für die Charakterisierung von Unfallanalysen dienen. Es sind die sequentiellen, epidemiologischen und die systemischen Modelle [Hol04].

Sequentielle Unfallmodelle betrachten Unfallprozesse als Prozesse von Ereignisketten. Fokussiert wird dabei auf Fehler eines Operateurs oder einer Maschine. Ziel des Vorgehens ist die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Aufdeckung von Systemschwächen, die durch einzelne Ereignisse verursacht wurden. Diese Gruppe von Modelle gehört zu den traditionellen Ansätzen. Ansätze, die dieser Klasse angehören, sind zum Beispiel die Multilinear Events Sequencing (MES) [Ben75] oder der wohl bekannteste Ansatz ist die Dominotheorie von Heinrich [HPR80]. Das Modell von Heinrich beinhaltet fünf Faktoren: 1) Soziale Umgebung, 2) Menschlicher Fehler, 3) Unsichere Handlung oder Bedingungen, 4) Unfall, 5) Verletzung. Die Faktoren werden als Dominosteine, die in eine Reihe aufgestellt wurden, gesehen. Wenn einer der Steine umkippt, verursacht er einen Dominoeffekt und das System kollabiert. Beide Modelle betrachten Ereignisse in einer strikten linearen Anordnung und eignen sich nur bedingt um nichtlineare kausale Zusammenhänge zu untersuchen.

Zu den Epidemiologischen Modellen gehören Modelle, die das Auftreten von Unfällen mithilfe von Barrieren, die in einem System fehlen oder Schwächen aufweisen, erklären. Ziel bei diesen modernen Ansätzen ist es, bestehende Barrieren zu stärken oder fehlende Barrieren aufzustellen. Das wohl bekannteste Modell dieser Gruppe ist das bereits im Abschnitt 3.1.3 vorgestellte Swiss Cheese Modell von Reason [Rea90]. Ein etabliertes Vorgehen, das auf diesem Modell basiert, ist zum Beispiel das Systemic Occurrence Analysis Methodology (SOAM) [LCHL07]. Die Methode wurde von Eurocontrol entwickelt. Die Analyse ist klassisch aufgebaut. In der ersten Phase werden die Faktoren, die zu einem Unfall geführt haben, zusammengetragen und analysiert und in der zweiten Phase werden Empfehlungen ausgearbeitet. SOAM kann laut den Richtlinien für Untersuchungen von Sicherheitsereignissen in ATM⁵ [MP03] mit anderen Investitionsmethoden zusammen genutzt werden. Weitere Ansätze, die die Barrieren im Fokus ihrer Analyse beinhalten, sind MORT [TN95] oder zum Beispiel TRIPOD-Beta [TP07].

Systemische Unfallmodelle betrachten das Auftreten von Unfällen als ein Ergebnis vom Verlust der Kontrolle in einem System. Grundlage dieser Klasse stellt die Systemtheorie dar. Ziel dabei ist es, die Kontrollstrukturen zu sichern und währenddessen das gesamte soziotechnische System in Betracht zu ziehen. Nach der Systemtheorie ist ein System nicht statisch, sondern ein dynamischer Prozess welcher um sein Ziel zu erreichen, kontinuierlich sein Verhalten

⁵Flugverkehrsmanagement (engl. Air Traffic Management, ATM)

der Umgebung anpasst. Rasmussen übernahm den systemorientierten Ansatz und erstellte ein hierarchisches soziotechnisches Framework [Ras97]. Das Framework ermöglicht das Modellieren von kontextuellen Faktoren in organisationalen und operationalen Strukturen, die als Vorbedingungen eines Unfalls untersucht werden. Basierend auf diesem Modell entstand die AcciMap Unfallanalyse [RS00]. Die Methode erlaubt Untersuchung von Informationsflüssen, die ein soziotechnisches System kontrollieren. Die Methode besteht aus vier Phasen: 1) Erste Phase besteht aus der Auswahl und Analyse von Unfällen; 2) In der Phase zwei werden die involvierten Akteure und Entscheidungsträger identifiziert; 3) Ziel der dritten Phase ist die Erstellung einer generischen Unfallkarte; 4) In der vierten und letzten Phase wird die Arbeit der Akteure untersucht. AcciMap legt ihren Fokus auf organisations-kulturelle Faktoren einer Organisation und stellt dabei die Informationsabhängigkeiten zwischen den einzelnen Personen dar. Es bleibt jedoch offen was für ein Kommunikationsmodell der Analyse unterliegt, an welchen Parametern die Kommunikation quantitativ oder qualitativ beurteilt. Die Untersuchung der Kommunikation und der Kontrollinformationen basiert auf einem Kommunikationsnetzwerk, das aus der Arbeitsumgebung herauskristallisiert wird [RS00, S. 57-59]. Ihre visuelle Darstellung der Unfallkarte ist ähnlich zu dem Why-Because-Graphen, der in den folgenden Abschnitten vorgestellt wird. Eine weitere Methode, die ihren Fokus auf die Kontrollstrukturen eines soziotechnischen Systems legt, ist die STAMP Methode [Lev04]. Diese Methode beachtet in ihrem Vorgehen technische, menschliche wie auch organisatorische Faktoren.

Die Klassifikation der Unfallmodelle nach Hollnagel ist bei weitem keine vollständige Taxonomie der Unfallanalysen. Sie bietet einen recht groben aber praktischen Einblick in die existierenden Ansätze. Neben den vorgestellten drei Klassen existiert unter anderem eine weitere wichtige Klasse der *formalen Methoden*. Diese Klasse vereint Methoden, die mithilfe von mathematisch-basierten Techniken ein systematisches Vorgehen, in der Spezifikation, Entwicklung und Verifikation eines Systems unterstützen. Die Techniken werden eingesetzt, um das Verhalten eines Systems zu modellieren und formal zu verifizieren, ob Design und Implementierung mit der verfügbaren Spezifikation übereinstimmen.

Die formalen Methoden fanden ihren Einsatz auch in der Unfallanalyse von sicherheitskritischen Systemen. Zum einen unterstützen sie das Präzisieren der Falldokumentation. Die natürliche Sprache der Dokumentation birgt oft Schwächen, die aus den nicht eindeutigen Begriffen und deren ungenaue Verwendung, resultieren. Dies wurde bereits ausführlich in der Literatur kritisiert [Bur00, S. 7]. Zum anderen tragen die formalen Methoden zur Erläuterung der Ursachen von Unfällen bei. Zwischen den Methoden finden sich welche, die klassische Petri-Netze [JMW95] oder gefärbten Petri-Netze [VBP03] nutzen aber auch unterschiedliche Logiken, wie die First Order Logic [Joh97], die Extended Deontic Action Logic (EDAL) [Bur00,

S.36-42] und viele weitere. Aus diesem Bereich wird im folgenden Abschnitt beispielhaft die Why-Because-Analyse vorgestellt. Vorab wird jedoch die STAMP Methode beschrieben, die zu den systemischen Ansätzen gehört.

5.2.1. STAMP

Das im folgenden Abschnitt vorgestellte Modell Systems-Theoretic Accident Modeling and Processes, (*STAMP*) basiert auf der Systemtheorie und wurde von Nancy G. Leveson und ihrem Team am Massachusetts Institute of Technology entwickelt. Nancy G. Leveson ist Professorin für Aeronautik, Astronautik und Engineering Systems und Mitglied der National Academy of Engineering.

Eine der essentiellen Annahmen, die bei STAMP getroffen wurde, ist, dass Unfälle sich nicht lediglich als Ergebnisse des Ausfalls von einzelnen Teilkomponenten, die unidirektional aufeinander folgen, ereignen. Es sind vielmehr Folgen von unangemessener Kontrolle oder genauer gesagt, es sind Folgen vom mangelhaften Einsatz sicherheitsrelevanter Beschränkungen im Design, Entwicklung und Operationen eines Systems [Lev04].

Um den Herausforderungen der Analyse von Unfällen bei komplexen sicherheitskritischen Systemen gerecht zu werden, wurden bei STAMP als Fundament drei wesentliche Konzepte verankert:

- Restriktionen des Systems
- Hierarchische Kontrollebenen
- Modell des Prozesses

Im folgenden Abschnitt werden die STAMP-Konzepte kurz charakterisiert.

Restriktionen und hierarchische Kontrollebenen

Die Restriktion bildet das wesentliche Konzept in STAMP. In der Systemtheorie und der Kontrolltheorie werden Systeme als hierarchische Strukturen gesehen, in denen auf jeder Ebene der Organisation Restriktionen existieren. Diese Restriktionen kontrollieren Aktivitäten der jeweiligen darunter liegenden Ebene [Che99]. Die Existenz entsprechender Kontrollstrukturen ist also von essenzieller Bedeutung für eine angemessene Systemfunktion. Unfälle stellen Ergebnisse von Interaktion zwischen Komponenten dar, die die Sicherheitsrestriktionen eines Systems verletzen [LDDM03]. Demnach bestimmen die sicherheitsrelevanten Restriktionen Beziehungen zwischen Parametern, die für das Gleichgewicht eines Systems verantwortlich sind.

Die Sicherheit eines Systems ist demnach ein Problem einer entsprechenden Kontrollstruktur, die in ein adaptives soziotechnisches System integriert wurde. Das Ziel

einer Kontrollstruktur ist es, dass bereits während der Entwicklung eines Systems entsprechende Kontrollstrukturen durchgesetzt werden. In solchen Strukturen konzentriert sich die Ermittlung von Schwachstellen auf die Untersuchung des Versagens von Kontrollstrukturen. Die Problematik der Sicherheit im Bereich der Überwachung eines Prozesses betrifft damit nicht mehr das Versagen einer Software, sondern das Fehlen von angemessenen Begrenzungen in der Applikation, die bereits in der Entwicklungsphase einer Software berücksichtigt werden sollten.

Die bereits angesprochenen Kontrollebenen eines Systems befinden sich in einer gegenseitigen Abhängigkeit. Zwischen diesen Ebenen spielen effektive Kommunikationskanäle eine wichtige Rolle. Kommunikationskanäle, die mit Informationen die unteren Ebenen versorgen, ordnen Restriktionen an. Kommunikationskanäle, die in der entgegengesetzten Richtung agieren, versorgen die oberen Ebenen mit Informationen über Effektivität der vollstreckten Restriktionen.

Da in diesem Ansatz ein System als eine ständige Interaktion zwischen seinen Komponenten gesehen wird, ist es von essentiellen Bedeutung, dass die Kommunikationskanäle als *Kontroll-Schleifen* agieren und den Zustand der Systemkomponenten so im Gleichgewicht halten. Die Existenz von Feedbackkanälen in modernen Systemen ist wichtig. Sie ermöglichen, wie bereits beschrieben, die Lieferung von Informationen vom Sensor zum Controller. Diese Mechanismen versichern, dass wenn Entscheidungen über Steuerungsmaßnahmen getroffen werden, entsprechende Informationen bei den Entscheidungsträgern über den aktuellen Zustand eines Systems existieren.

Modell des Prozesses

Das dritte Konzept von STAMP bildet das Prozessmodell. Ein solches Modell kann bei einer Abbildung eines einfachen Prozesses nur eine Variable besitzen. Die Variable in einem solchen System wird durch eine Vorrichtung wie z.B. einen Controller überwacht. Als Controller kann ein Mensch oder eine technische Vorrichtung fungieren. Unabhängig davon was für eine Art von Controller in einem System integriert wird, sind die benötigte Informationen, um eine Entscheidung zu treffen, gleich. Dazu gehört der Informationsfluss mit den Beziehungen zwischen den einzelnen Variablen, der derzeitige Zustand der zu regulierenden Variable und der Weg, wie der kontrollierende Prozess verändert werden kann.

Der menschliche Controller übernimmt in den meisten modernden Systemen die Rolle eines Supervisors und überprüft lediglich die technische Vorrichtung (oft den technischen Controller). Um die Überprüfung erfolgreich durchzuführen, muss gewährleistet sein, dass dem Supervisor das System mit den zu überwachenden Variablen bekannt ist. Dabei ist anzumerken, dass das mentale Modell des Supervisors über das System mit dem tatsächlichen Modell der Anlage übereinstimmen soll.

Ein Unfall kann also auch ein Ergebnis von Inkonsistenzen zwischen dem Modell, das für die Entscheidungen genutzt wird und dem Modell, das den tatsächlichen

Zustand eines Prozesses darstellt, sein. Diesen Sachverhalt untersucht STAMP und deckt Unstimmigkeiten auf, die aufgrund von Inkonsistenzen beim Entscheidungsträger, für seine Entscheidungen verantwortlich waren.

Klassifikation von kontrollschwachstellen

Wie bereits angesprochen, können Fehler aus einer inkorrekten Kontrolle des System resultieren. Zu einem Unfall kann demnach jede Kontrollinstanz (Kontrollschleife) in einem System führen. Die vorgeschlagene Fehlertaxonomie, die in der Abbildung 5.4 dargestellt ist, stellt drei Gruppen von Fehlern dar. Die erste Gruppe konzentriert sich auf inadäquate Kontrollaktionen, die aufgrund einer falschen Behandlung von Gefahren oder wegen Beeinträchtigung in einem physischen Prozess, vorkommen. Die zweite Gruppe beinhaltet falsche Ausführungen von Aktionen. Die dritte Gruppe legt ihren Fokus auf die Schwachstellen in der Kommunikation, in erster Linie in der Rückmeldung.

Anwendung der Methode

Am Anfang der Analyse werden die soziotechnischen Kontrollstrukturen eines Systems ermittelt. Das Ziel ist es, die Strukturen des untersuchten Systems kennenzulernen. Der Fokus liegt dabei auf der Ermittlung der hierarchischen Sicherheitsstrukturen, die in einer direkten Beziehung zu der Gefahr (Unfall) standen. Diese Strukturen können, je nach Art des untersuchten Systems, bis auf die außerbetriebliche Kontrollebene, wie zum Beispiel die rechtlichen Bestimmungen eines Landes reichen. In diesem Schritt ist es wichtig den fehlerhaften Prozess im Auge zu behalten, um sich auf das wesentliche während der Analyse zu konzentrieren.

Als nächstes werden Restriktionen (Begrenzungen), die beim Unfall nicht eingehalten worden sind und direkt mit dem untersuchten Prozess in Verbindung standen, untersucht. Darüber hinaus wird untersucht, welche Begrenzungen, die den fehlerhaften Prozess absichern sollten, nicht vorhanden waren.

Nachdem die Restriktionen festgestellt wurden, werden Kontrollstrukturen (Kontrollschleifen), die die Begrenzungen überwacht sollten, durchleuchtet. Die Fehlentscheidungen eines menschlichen Supervisors können unter folgenden Aspekten untersucht werden;

1. Welche Informationen waren bei der Entscheidung verfügbar
2. Welche geforderten Informationen waren bei der Entscheidung nicht verfügbar
3. Kontext, in dem die Entscheidung gemacht wurde (behavior-shaping mechanism)
4. Werte, die die Entscheidung begünstigt haben

1. Mangelhafte Durchsetzung der Restriktionen (Kontrollaktionen)
 - a) Unidentifizierte Gefahren
 - b) Falsche, ineffektive oder fehlende Kontrollaktionen für die Identifizierung von Gefahren
 - i. Erstellung von Kontrollalgorithmen (Kontrollprozessen) setzt die Restriktionen nicht durch
 - * Schwachstelle im Entwicklungsprozess
 - * Prozessveränderungen ohne Anpassungen in Kontrollstrukturen (Kontrollprozessen). Eine asynchrone Evolution
 - * Mangelhafte Modifikation oder Anpassung
 - i. Inkonsistentes Prozessmodell, nicht komplett oder falsch (fehlende Verknüpfung)
 - * Schwachstelle im Entwicklungsprozess
 - * Schwachstelle beim Aktualisieren des Prozesses (asynchrone Evolution)
 - * Zeitverletzungen und Messungenauigkeiten ohne Berücksichtigung im System
 - i. Mangelhafte Koordination zwischen den Controllern und Entscheidungsträgern (angrenzende und überlappende Gebiete)
2. Mangelhafte Ausführung von Kontrollmechanismen
 - a) Kommunikationsschwachstellen
 - b) Mangelhafte Operationen des Aktuators
 - c) Zeitliche Unstimmigkeiten
3. Mangelhaftes oder fehlendes Feedback
 - a) Feedback wird während der Entwicklungsphase vernachlässigt
 - b) Schwachstellen in der Kommunikation
 - c) Zeitliche Unstimmigkeiten
 - d) Falsche Operation des Sensors (fehlerhafte oder fehlende Informationen)

Abbildung 5.4.: Klassifikation von Kontrollschwachstellen, die zu einem Fehler führen, [Lev04]

5. Schwachstellen im mentalen Model, die eine Entscheidung beeinflusst haben.

Dabei soll für jede Restriktion bestimmt werden, warum genau diese verletzt wurde und welche Parameter der Kontrollstruktur dies begünstigten. Bei der Untersuchung, welche Parameter Auswirkung auf das Versagen hatten, soll die Fehlerklassifikation aus der Abbildung 5.4 genutzt werden.

Die beschriebenen Schritte werden auf jeder Ebene des soziotechnischen Systems durchgeführt. Die Analyse produziert bereits im ersten Schritt Zwischenergebnisse, die den Analysten bei der weiteren Arbeit unterstützen. Die Erstellung der hierarchische Kontrollstruktur erlaubt einen ersten Blick auf die Umsetzung der Kontrollmechanismen in einer Organisation und zeigt die ersten Schwachstellen. In erster Linie lässt sich bereits in dieser Phase feststellen, welche Prozesse keiner Kontrolle unterlagen, welche zu wenig Aufmerksamkeit bekamen und dadurch vernachlässigt wurden. Auch Prozesse, die gemeinsam von mehreren Kontrollinstanzen überwacht wurden, lassen sich inspizieren. Die herausgefundenen ersten Schwachstellen zeigen die Richtung der weiteren Untersuchungen auf. Sie dienen als Wegweiser für die detaillierte Untersuchung der einzelnen Kontrollschleifen.

Das Endergebnis von STAMP ist eine Liste von Schwachstellen der Kontrollmechanismen mit einer Liste von Systemkomponenten, die versagt haben.

Evaluation

Die auf dem STAMP-Modell basierte Unfallanalyse gehört zu den jüngsten Analyseverfahren. Sie wurde aber bereits bei der Aufklärung von komplexen Fällen, wie Wasservergiftung in Ontario Kanada [LDDM03], Verlust eines Kommunikationssatelliten [LN05] und weiteren Unfällen und Beinahe-Unfällen aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrt eingesetzt⁶.

STAMP erlaubt ein Modell des betrachteten Systems aufzustellen, mit besonderem Fokus auf den hierarchischen Ebenen der Kontrolle und der Kommunikation und den Feedbackkanälen zwischen den Ebenen sowie Kontrollmechanismen auf den einzelnen Systemebenen selbst.

Eine STAMP-basierte Analyse unterstützt Analysten bei einem systematischen Vorgehen und ist eine vielseitig einsetzbare Analyse, mit ihrem Fokus gerichtet auf Informations- und Kontrollflüsse. Ereignisbasierte Methoden erlauben keine komplexe Sicht auf das Verhalten von soziotechnischen Systemen. Die STAMP-Analyse zeigt demgegenüber einen beachtlichen Vorteil, da sie die Untersuchung von organisatorischen Beziehungen zusammen mit menschlichem Verhalten erlaubt [Johnson2003b]. Das Vorgehen ist relativ leicht zu erlernen, verlangt aber vom Analysten vollständige Informationen über die Systemabläufe.

⁶Beschreibung von ausführlichen Fallstudien, in denen STAMP eingesetzt wurde, wie auch Informationen über weitere Entwicklung der Analysemethode kann <http://sunnyday.mit.edu/> entnommen werden (letzte Einsicht erfolgte am 09.05.2010).

Trotz der intuitiven Vorgehensweise kann auf einige potentielle Probleme bei der Methode hingewiesen werden. Um ein System zu verstehen kann es nötig sein, zuerst eine (mögliche) Ereigniskette aufzustellen, bevor ein Kontrollmodell aufgestellt werden kann.

Durch die fehlende Spezifikation, die die technische Durchführung der Methode erläutern würde, sind die Analysten gezwungen, eigene Werkzeuge und Diagramme für die Darstellung der Kontrollstrukturen zu verwenden. Diese Flexibilität kann sich als ein Nachteil erweisen und dazu führen, dass bei einer unpassenden Technik (Darstellung) die Ursachen für das Versagen von Kontrollmechanismen nicht gefunden werden. In den Vordergrund kann zum Beispiel das „wie“ und nicht das „warum“ es zu einem Unfall gekommen ist, treten.

Weiterhin fehlen Informationen, wie die Kontrollmechanismen und die Informationsflüsse aus dem untersuchten System extrahiert werden sollen. Diese Probleme könnten durch eine entsprechende Heuristik in Form einer Einleitung gelöst werden. Leider wird zurzeit keine solche Lösung vom Entwicklerteam angeboten.

5.2.2. Why-Because Analyse

Die Why-Because-Analyse (WBA) ist eine Analyse, mit der die Identifizierung von Ursachen eines Fehlverhaltens im offenen, heterogenen System durchgeführt wird. Als solches System wird ein System bezeichnet, das aus mehreren unterschiedlichen Subsystemen, die miteinander kooperieren, besteht. Es arbeitet bestimmungsgemäß nur in Verbindung mit allen weiteren Untersystemen. Eine erfolgreiche Untersuchung eines solchen Systems ist nur möglich, wenn die kooperierenden Subsysteme in die Analyse einbezogen werden.

Bei WBA handelt es sich um eine Methode, die vor allem bei der posteriori Betrachtung von individuellen Systemversagen eingesetzt wird. Das bedeutet, dass die Analyse erst nach dem Auftreten eines Vorfalls oder eines Unfalls eingesetzt wird. Sie basiert meistens auf einem Unfallbericht. Laut Ladkin, dessen Arbeitsgruppe an der Universität Bielefeld die Methode entwickelte, kann WBA formal verifiziert werden, so dass ihre Vollständigkeit und Richtigkeit gezeigt werden kann [Lad01].

Die Why-Because Analyse ist eine flexible und erfolgreiche Analysemethode. Sie wurde bereits für die Aufklärung von Ursachen von Vorfällen in der Luftfahrt [Lad00], im Eisenbahnwesen [BB02] sowie der Energieversorgung [SL07] erfolgreich eingesetzt.

Aufbau der Why-Because Analyse

Das Vorgehen bei WBA kann in zwei Phasen unterteilt werden. Die erste Phase ist informell. Es werden Faktoren ermittelt, aus denen sich hinreichende, kausale Erklärungen für das Eintreten eines Unfalls ergeben. Die Faktoren für das Vorliegen einer hinreichenden, kausalen Erklärung werden über die Erklärungsbereiche:

Zeit, Kausalität, ablaufbezogene Notwendigkeit und den Ansatz der *kontrastierenden Erklärung* argumentiert. Die drei ersten Erklärungsbereiche ergeben sich für den Analytisten aus den Tatsachen des Geschehens.

Der Ansatz der kontrastierenden Erklärung basiert auf John Stuart Mill's Method of Difference [Lad01]. Dieser Ansatz wird genutzt, um entsprechende Annahmen zum Hergang des Unfalls zu erstellen. Darüber hinaus werden weitere Werkzeuge empfohlen, die die Wahl der Annahmen während der Analyse unterstützen sollen. Es sind zum einen **P**redicate-**A**ction **D**iagramme (PADs) [Lad01, S. 319], (eine Art von Flussdiagrammen), die zusammen mit temporaler Logik von Aktionen (engl. Temporal Logic of Action) verwendet werden, um das Verhalten von Systemen zu spezifizieren. Zum anderen wird die **P**erception-**A**ttention-**R**easoning-**D**ecision-**I**ntention-**A**ction (PARDIA) Klassifikation empfohlen. PARDIA wird genutzt um das menschliche Verhalten vom Operateur zu analysieren [LL99, S. 8].

Ziel der ersten Phase ist es einen Unfallgraph auszuarbeiten. Er stellt eine komplette Repräsentation von Abhängigkeiten zwischen allen Ereignissen und Systemzuständen dar, die einen signifikanten Beitrag zur Erklärung des Unglücks liefern. Der WBA-Graph stellt das Ergebnis der Analyse dar.

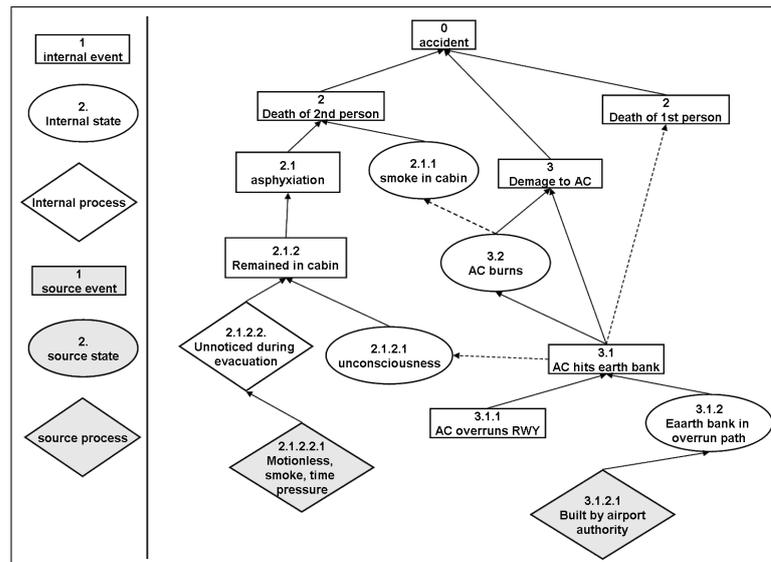


Abbildung 5.5.: Beispiel eines WBA-Graphs, angelehnt an [Lad00]

Die zweite Phase ist formaler. In dieser Phase wird der Graph verifiziert. Dies wird gemacht, um den Nachweis der Korrektheit und relativer Vollständigkeit der im ersten Schritt ermittelnden Parameter zu erbringen und mögliche Unstimmigkeiten aus dem ersten Schritt zu identifizieren. Im folgenden Abschnitt sollen die einzelnen Teilschritte kurz erläutert werden.

Vorgehen der Why-Because Analyse

Der Ausgangspunkt der Analyse ist das Aufstellen des Unfallhergangs und seine zeitlichen Historie. Die Abhängigkeit zwischen den Fakten spielt zuerst keine Rolle. Eine Liste der einzelnen Gegebenheiten wird erstellt anhand von offiziellen Untersuchungsberichten, Zeugenaussagen und sonstigen Veröffentlichungen, die dem Analysten zur Verfügung stehen. Aus einer so erstellten Liste der Gegebenheiten wird der Hergang, aus dem die wesentlichen Fakten ausgewählt wurden und in zeitlicher Reihenfolge angeordnet sind, rekonstruiert. Dies soll helfen, eine einheitliche Gesamtbetrachtung des Geschehens zu erhalten.

Es ist anzumerken, dass der Historie eine Annahme zugrunde liegt. Sie besagt, dass das zeitliche Geschehen von Ereignissen, Zuständen und Prozessen eine notwendige Bedingung für das Vorliegen einer kausalen Abhängigkeit zwischen den Gegebenheiten darstellt. Die Umkehrung des Satzes ist jedoch nicht zwingend richtig.

Nachdem die einzelnen Ereignisse zusammen mit den Zuständen aus dem System extrahiert wurden, werden die kausalen Relationen zwischen den Elementen logisch festgelegt. Die Festlegung der Kausalketten zwischen den einzelnen Knoten, die heraus gefunden wurden, erfolgt nach einem Verfahren, in dem Fragen nach der Ursache des Hergangs gestellt werden. Zuerst wird nach dem Grund eines Sachverhaltes (Ereignisses) mit einer *Warum Frage* gefragt und mit einer *Darum Antwort* das Gegenstück markiert. Auf diese Art entstehen Paare einer Wirkungskette, die dann zu einem Graph verbunden werden.

Im nächsten Schritt erfolgt die Visualisierung der in vorherigen Schritten extrahierten kausalen Abhängigkeiten der Ereignisse. Es entsteht eine graphische Darstellung in Form eines gerichteten, azyklischen Graphs, vgl. 5.5. Der Graph ist gleichzeitig das Ergebnis der WBA. Diese Darstellung ist leicht zu interpretieren und stellt eine überschaubare Repräsentation komplexer Zusammenhänge dar.

Die Ereignisse und die Zustände sind als Knoten im Graph gekennzeichnet und machen die kausalen Faktoren eines Vorfalles sichtbar. Sie werden über die Kanten (Relationen) miteinander verbunden. Die gerichteten Kanten repräsentieren die Ursache-Wirkung Beziehungen zwischen den einzelnen Faktoren. Darüber hinaus wird zu einem Why-Because-Graph (kurz WBG) eine *Timeline* ausgearbeitet, die das zeitliche Geschehen eines Vorfalles mithilfe eines Zeitpunkt-Ereignisteilnehmer-Diagramm begleitet.

Ist der Graph entworfen, beginnt die zweite Phase der Methode. In dieser Phase erfolgt die Prüfung der Korrektheit und der Vollständigkeit des WBGs.

Die formale Prüfung kann nun durchgeführt werden, um die Korrektheit des Graphs zu zeigen. Dafür wird der kontrafaktische Test (*engl. Counterfactual Test, (CT)*) verwendet. Dieser Test geht zurück auf Arbeiten von David Hume und David Lewis. Lewis orientierte sich an den Arbeiten von Hume und schlug eine formale Semantik der Kausalität vor [Lew73a], die auf der semantischen und formalen Logik der kontrafaktischen Bedingungen beruht [Lew73b].

Der kontrafaktische Test prüft, ob ein Phänomen A ein notwendiger kausaler Faktor (*engl. Necessary Causal Factor, (NCF)*) für ein Phänomen B ist. Während des Tests wird vorausgesetzt, dass beide Phänomene bereits aufgetreten sind. Unter dieser Bedingung, sagen Hume und Lewis, dass ein Phänomen A ein NCF von dem Phänomen B ist, dann und nur dann, wenn gilt, dass wenn A nicht eintritt, B ebenfalls nicht eintritt.

Demnach wird während des kontrafaktischen Tests folgende Frage gestellt: *Wenn die Ursache nicht existiert hätte, hätte die Wirkung eintreten können?* Sollte für zwei kausale Faktoren dieser Test negativ beantwortet werden, wird die Ursache als *NCF* gekennzeichnet.

Ein Why-Because-Graph beinhaltet nur die NCFs eines Vorfalls und deren rekursive Strukturen. Der kontrafaktische Test stellt sicher, dass alle Knoten im WBG miteinander korrekt verbunden sind.

Nach dem die Korrektheit geprüft wurde, wird die relative Vollständigkeit untersucht. Sie wird in einem WBG mit dem *Causal Sufficiency Test, (CST)* untersucht. Bei diesem Test wird folgende Frage gestellt: *Tritt die Wirkung zwingend ein, wenn alle aufgeführten Ursachen vorhanden sind?* Sollte diese Frage mit einem *ja* beantwortet werden, dann ist die getestete Gruppe von Faktoren relativ-vollständig. Die Vollständigkeit des WBG ist nach Ladkin and Loer gegeben, wenn eine genügende Anzahl von Parameter identifiziert wurde, um eine Ursache-Wirkung Erklärung des Vorfalls zu erklären [LL97].

Diese Tests werden auf relativ kleinen Teilen des gesamten Graphs durchgeführt. Fallen die Test in allen Teilen positiv aus, kann davon ausgegangen werden, dass analog zu den Teilgraphen auch der gesamte Graph die gleichen Eigenschaften besitzt. So können komplexe Systeme in kleinere überschaubare Subsysteme zerteilt werden und mit übersichtlichen Analysen untersucht werden.

Da eine ausführliche Darstellung der Verifizierungsmethode wie auch der formalen Logik (Explanatory Logic), die Ladkin definierte, dem Autor als unverhältnismäßig aufwendig erscheint, wurde an dieser Stelle bewusst die Beschreibung des Verfahrens auf das Nötigste eingeschränkt.

Evaluation

Die Why-Because Analyse ist eine leicht erlernbare Methode. Dies gilt vor allem für den ersten Teil der Analyse. Das überschaubare Regelwerk für die Erstellung des WB-Graphs eignet sich auch für Nichtexperten, da seine kausalen Zusammenhänge schnell verstanden werden. Die visuelle Darstellung bietet eine geeignete Basis für eine Diskussionsrunde zwischen Personen mit unterschiedlichem Hintergrundwissen. Da die WBA keine Einschränkungen bezüglich des Einsatzgebietes beinhaltet, kann sie für die Untersuchung von unterschiedlichen Systemen eingesetzt werden. Je nach dem in welcher Tiefe eines Systems untersucht werden soll, kann die Methode beliebig skaliert werden. Die Freiheitsgrade der bezüglich der Granularität mit der die

Analyse durchgeführt werden soll, weist auf einen geeigneten Werkzeug für Experten, die besondere Facetten eines Teilsystems untersuchen wollen. Dank der Möglichkeit der formalen Überprüfung der Korrektheit und Vollständigkeit des WB-Graphs können die Analysten zeigen, dass ihre Ergebnisse korrekt sind. Bei der Untersuchung des Vorfalls über Cali zeigte Ladkin in [Lad99], dass mithilfe seiner Methode eine signifikante Anzahl von zusätzlichen Ursachen des Unglücks, im Vergleich zu der bereits durchgeführten Analyse, ermittelt werden konnten. Ein weiterer Aspekt ist die Tatsache, dass durch die intuitive Vorgehensweise (Frage -Antwort) der Analyst zum detaillierten Nachdenken bei der Erstellung eines WB-Graphs praktisch gezwungen ist. Die Methode wird von einer Software Lösung, die im Internet frei verfügbar ist, unterstützt.

Trotz der einfacher Handhabung und flexiblem Einsatzgebiet wurde die Methode in den letzten Jahren vor allem durch das RSV Team genutzt. Ähnlich zu STAMP ist WBA bekannt, hat sich aber noch nicht zu einem Standard etabliert. Ein Grund für diesen Sachverhalt ist die lange fehlende Dokumentation, die das Verfahren auf eine geeignete Weise erklärt hätte. Zudem änderte sich in den letzten Jahren die visuelle Darstellung des WB-Graphs. Weiterhin wurden die Start- und Endpunkte der Analyse nur unzureichend definiert. Vor allem die Frage nach dem Ende einer WBA scheint offen zu sein. Ein Analyst wird während der Ausführung der Methode mit der Frage, ob er nun aufhören soll, konfrontiert. Der WB-Graph beinhaltet keine chronologische Abfolge der Ereignisse (Fakten). Dies ist erst mit einem zusätzlichen Graph möglich. Eine solche Sicht wäre jedoch definitiv von Vorteil, da die einzig verfügbare kausale Sicht die temporalen Zusammenhänge nicht widerspiegelt. Ein weiterer Nachteil ist die Verifizierungsmethode. Sie soll laut Prof. Ladkin ein fester Bestandteil dieser Analyse sein. Die Überprüfung der Korrektheit ist als solche notwendig, um die Argumentationsfehler aus dem ersten Teil der Analyse aufzudecken. Sie wird jedoch auf Grund der aufwändigen Durchführung kaum praktisch eingesetzt.

5.3. Zusammenfassung

Im Kapitel 5 wurden mehrere Verfahren zur Sicherheitsanalyse vorgestellt. Die Verfahren wurden in zwei Gruppen gegliedert. Die erste Gruppe stellt Gefährdungsanalysemethoden dar. Diese Methoden wurden in drei weitere Untergruppen unterteilt. Die so gewählte Klassifizierung gibt einen systematischen Überblick über die Gefährdungsanalysemethoden.

In der zweiten Gruppe wurde ein Einblick in die Unfallanalyse gegeben. Für die systematische Anordnung wurden die Grundklassen der Unfallanalysemodelle nach Hollnagel verwendet [Hol04]. Darüber hinaus wurden zwei moderne Analysetechniken vorgestellt. Als erste Analysemethode wurde die STAMP Methode beschrieben. Diese Methode wurde den systemischen Ansätzen zugeordnet. Als zweites wurde die

Why-Because Methode, die aus den formalen Methoden stammt, charakterisiert.

Die Funktion des Kapitels ist zum einen, Methoden, die für die Gefahrenanalyse bzw. Unfallanalyse genutzt werden, vorzustellen. Zum anderen, soll das Kapitel dazu dienen, die vom Autor entwickelte Methodik im Spektrum der bereits vorhandenen Methoden einzuordnen, um so besser in weiteren Kapiteln die Schwächen und Stärken der eigenen Methode herauszukristallisieren.

Teil III.

Konzept

6. Methodik

In diesem Kapitel soll ein Konzept erarbeitet werden, mit dem Kommunikationsvorgänge mit einer geeigneten Methodik, der als Grundlage ein Aufgabenmodell unterliegt, modelliert und analysiert werden. Als erstes folgt die Beschreibung der Ziele, die in dieser Ausarbeitung verfolgt werden. Danach wird systematisch ein Konzept erarbeitet, indem zuerst ein geeignetes Kommunikationsmodell vorgestellt wird. Das entsprechende Kommunikationsmodell wird zusammen mit einem Aufgabenmodell dazu genutzt, ein Verfahren aufzustellen, mit dem Kommunikation in einem soziotechnischen System dokumentiert und auf Schwächen untersucht werden kann. Zum Schluss wird die vorgestellte Methode anhand von Fallstudien validiert.

Mit welchen Mitteln lassen sich Strukturen der Kommunikation auf der Aufgabenebene definieren, um diese später adäquat zu untersuchen? Und was passiert mit den Kommunikationsparametern, wenn Menschen anfangen, die vorgesehenen Kommunikationsregeln zu brechen oder sie auszuhebeln, um Aufgaben schneller und effizienter zu erledigen? Um diese Fragen zu beantworten, wird ein Kommunikationsmodell basierend auf informationstheoretischen Ansätzen vorgestellt. Das Modell wird um die im Kontext von Aufgabenmodellen benötigten Aspekte erweitert, so dass die gestellten Ziele erfüllt werden. Die Integration von Kommunikationsparametern wird durchgeführt, bis eine geeignete Beschreibung der Kommunikation in einem Aufgabenmodell möglich ist.

Zusätzlich soll es anhand des Aufgabenmodells möglich sein, eine Aussage darüber zu treffen, inwieweit eine Abweichung eines bestimmten Kommunikationsvorgangs die Durchführung nachfolgender Aufgaben gefährdet. Der Fokus im folgenden Konzept liegt darauf, für den Modellierer ein geeignetes Werkzeug zu konzipieren, mit dem eine adäquate Dokumentation der Kommunikation zwecks Qualitätssicherung möglich wird.

6.1. Ziele der Untersuchung

Die Durchführung von Aufgaben in soziotechnischen Systemen ist strikt verbunden mit dem Austausch von Informationen zwischen einzelnen Akteuren der sozialen Systemkomponente, wie auch zwischen den Akteuren und dem technischen System. Diese Kommunikation regelt den Ablauf von Aufgaben zwischen und innerhalb der beiden Subsysteme und liefert als orthogonale Struktur einen entscheidenden Beitrag für eine korrekte Realisierung der Aufgaben.

Die in dieser Arbeit zu untersuchenden Systeme gehören zu den sicherheitskritischen, soziotechnischen Systemen. Mängel in der Kommunikation zwischen den Akteuren in solchen Systemen gelten als Hauptursache für kritische Ereignisse oder Unfälle [BG07]. Als Beispiele sind im medizinischen Bereich etwa die Verwechslung von Patienten [CB02] oder von Blutproben im Labor zu nennen; im Flugwesen gibt es nachgewiesene Fälle von Kommunikationsfehlern zwischen Piloten und dem Autopiloten [C.W04]. Diese Mängel bilden eine wichtige Motivation, um mithilfe eines geeigneten Kalküls Kommunikationsvorgänge zu beschreiben und mittels einer geeigneten Methode sicherheitskritische Kommunikationsvorgänge zu identifizieren.

Die in folgender Ausarbeitung angestrebte Methode steht vor der Herausforderung, die Kommunikation in Aufgabenmodellen zu spezifizieren, so dass dem Modellierer ein geeignetes Werkzeug zur Verfügung steht, mit dem er die Kommunikationswege in einem soziotechnischen System dokumentieren und mögliche Schwachstellen aufspüren kann. Zusätzlich soll ermöglicht werden, dass eine qualitative Aussage über die Grenzwertigkeit von Schwachstellen im System getroffen werden kann. Abschließend wird auf Basis dieser Erkenntnisse eine Verbesserung vorgeschlagen. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden bedarf es einer detaillierten Untersuchung der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen. Diese Untersuchungen ergeben gleichzeitig die Ziele, die während dieser Abhandlung verfolgt werden:

1. Es soll ein geeignetes Beschreibungskalkül für das Modellieren der Kommunikationsvorgänge in soziotechnischen sicherheitskritischen Systemen erstellt werden.
2. Das erarbeitete Beschreibungskalkül soll es ermöglichen Schwachstellen in den Aufgabenmodellen aufzuspüren, die durch ungeeignete Kommunikation auftreten.
3. Innerhalb des Beschreibungskalküls werden Parameter vorgeschlagen und definiert. Anhand dieser Parameter wird die Grenzwertigkeit (Kritikalität) der Schwachstellen in den Kommunikationsvorgängen abgeschätzt.
4. Anhand der gefundenen Schwachstellen und ihrer Kritikalität sollen dem Modellierer Änderungsstellen und verbesserungswürdige Parameter aufgezeigt werden¹.

Diese Ziele sollen angestrebt werden, um eine hohe Qualität der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen zu sichern und dadurch in Zukunft Fehler zu vermeiden.

¹Die Verdeutlichung der Schwachstellen soll bei dem Modellierer zu der Erkenntnis führen, dass solche Schwächen existieren und dem System schaden können.

6.2. Kommunikation in soziotechnischen Systemen

Im folgenden Abschnitt werden das Zusammenspiel und die gegenseitige Abhängigkeit der Kommunikation und des Systems vorgestellt. Es wird gezeigt, dass Kommunikation ein fester Bestandteil eines soziotechnischen Systems ist, und dass das Betrachten von solchen Systemen ein unvollständiges Bild liefert, wenn dabei die Kommunikationsvorgänge nicht hinreichend berücksichtigt werden. Als Grundlage der Überlegungen wird das ursprüngliche Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver genutzt [Sha48]. Das Modell wird schrittweise im Hinblick auf die sicherheitskritischen Systeme erweitert. Zum Schluss wird eine Mächtigkeit des Modells angestrebt, mit der Kommunikationsvorgänge in sicherheitskritischen Systemen, unter Berücksichtigung von wesentlichen Facetten, modelliert werden können. Zuvor sollen jedoch einige Vorüberlegungen angestrebt werden.

Definition: Kommunikation Um eine zielbewusste Analyse der Kommunikation in soziotechnischen sicherheitskritischen Systemen durchzuführen, wird im Hinblick auf die korrekte Übertragung von Informationen der Begriff *Kommunikation* als Synonym für den Austausch von Informationen genutzt [Küp03]. Es gibt unterschiedliche Definitionen des Begriffs *Kommunikation*. Von 160 zusammengetragenen wissenschaftlichen Definitionen des Kommunikationsprozesses nutzen 39,3 % die Metapher des Transports für die Erklärung des Begriffs. Dabei lehnen 50,6% der Definitionen ihre Aussage an das klassische Stimulus-Response-Modell an, das aus drei Elementen besteht: Kommunikator, Stimulus und Rezipient [Mer99]. Dieses Modell findet sich auch im Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver wieder, das im Abschnitt 6.3 beschrieben wird, und als Grundlage für das Aufstellen eines eigenständigen Kommunikationsmodells genutzt wird.

Das Kommunizieren innerhalb eines Systems, wie auch zwischen einem System und Einheiten, die sich außerhalb des Systems befinden, erlaubt dem System seinen Zustand zu verändern und, falls die Dynamik des Systems dies erlaubt, sich einer neuen Sachlage anzupassen. Kommunikation wirkt auf ein System in einer direkten oder indirekten Art, da die Veränderungen, die aufgrund der Informationsübertragung stattfinden, sofort oder erst später eine Auswirkung auf das System haben werden. Infolgedessen stellt die Kommunikation einen notwendigen Bestandteil eines Systems dar, da die Kommunikation innerhalb eigener Strukturen wie auch zwischen anderen Systemen dafür benötigt wird, das System am Leben zu erhalten. Damit ist die Kommunikation eine essentielle Eigenschaft, die einen integralen Bestandteil eines intakten Systems darstellt. Die Kommunikation wiederum kann nur dann stattfinden, wenn sie in ein System integriert wird. Kommunikation benötigt ein System für ihren Erhalt. Ohne ein System kann es keine Kommunikation geben und umgekehrt, ohne Kommunikation kann es kein intaktes dynamisches System geben. Dieser Zusammenhang lässt eine spezielle Form der *Symbiose* zwischen einem System und der Kommunikation entstehen.

Eine notwendige Voraussetzung für die Integration der Kommunikation in ein System oder zwischen mehreren Systemen, und damit für die beidseitige *Koexistenz*, ist die Existenz eines Informationsflusses um die Botschaften zu übermitteln. In einer vereinfachten, abstrakten Form besteht ein Informationsfluss aus einem oder mehreren aneinandergereihten Kommunikationsvorgängen, die wie folgt aufgebaut sind.

Ein Kommunikationsvorgang besteht aus einem Kommunikator, einem Rezipienten und einem Kommunikationskanal, in dem die Übertragung von Informationen stattfindet. Als erstes Glied eines Informationsvorgangs agiert eine Nachrichtenquelle, in der die Nachricht erzeugt wird. Diese Nachricht wird im nächsten Schritt durch einen Sender (Kommunikator) versendet. Der Sender ist für das korrekte Kodieren und Versenden einer Nachricht verantwortlich. Während eines Kodierungsprozesses werden Regeln (Semantik, Syntax und Phonetik) einer Sprache eingesetzt, um eine kommunikative Intention in einer verständlichen Form dem Empfänger mitzuteilen, damit die Reaktionsabsicht beim Kommunikationspartner erreicht wird. Die Nachricht kommt als ein kodiertes Signal beim Empfänger (Rezipienten) an. Der Empfänger dekodiert diese Nachricht. Er übersetzt sie mithilfe der gleichen sprachlichen Regeln, mit denen die Nachricht kodiert wurde, in eine für ihn verständliche Form. Sender und Empfänger bilden Quelle und Senke eines Informationsvorgangs. Sollte eine Nachricht, nachdem sie empfangen wurde weiter von dem ursprünglichen Empfänger versendet werden, so wird von *Propagation* einer Nachricht gesprochen. Dieser Sachverhalt spielt eine wesentliche Rolle-, beim Aufspüren von Stellen in einem System, an denen der Inhalt einer Mitteilung verfälscht oder ein Parameter eines Kommunikationsvorgangs nicht eingehalten wurde.

Ein Beispiel eines Kommunikationsvorgangs veranschaulicht die Abbildung 6.1.

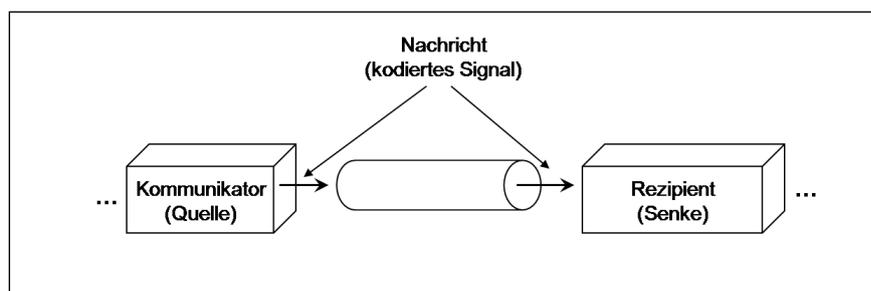


Abbildung 6.1.: Vereinfachte Form eines Kommunikationsflussmodells

Solch eine vereinfachte Darstellung der Kommunikation geht von einer Übermittlung der Informationen aus, die keine möglichen Störquellen während eines Übermittlungsvorgangs berücksichtigt. Dies stellt eine zu optimistische und unvollständige Sicht des Geschehens dar. Deswegen ist es notwendig, die Sicht auf die Kommunikationsvorgänge zu vervollständigen und dies im angedachten Kommunikationsmodell zu berücksichtigen. Bevor jedoch die Möglichkeiten zur Modellierung von

Störquellen eines Kommunikationsvorgangs weiter vorgestellt werden, wird zuerst diskutiert, was für Arten von Kommunikationsvorgängen innerhalb des Modellierungsrahmens von Kommunikation von sicherheitskritischen Systemen modelliert und berücksichtigt werden.

Restriktionen bei der Kommunikationsmodellierung In einem soziotechnischen System *kooperieren* mehrere Akteure, die gemeinsam eine *kollaborative* Aufgabe durchführen. Während diese Tätigkeiten durchgeführt werden, tauschen die Akteure untereinander Nachrichten aus. Dies wird getan, um einen gemeinsamen Plan der kooperierenden Akteure zu erfüllen. Auf diese Art und Weise entstehen [wohl]definierbare und charakterisierbare Konstellationen von Situationen in einem System [Cla96].

Wie sich die Menschen untereinander verständigen, um etwas mitzuteilen, erleben wir tagtäglich. Menschen nutzen verbale Sprache, Gestik, und Mimik in einer vorher erlernten Struktur. Manches davon ist uns bewusst, vieles jedoch kommt aus dem Unterbewusstsein und wird als angeborener Instinkt bezeichnet. Die vielfältigen sozialen und psychologischen Aspekte von Kommunikation werden in der folgenden Methode ausgeblendet und das Augenmerk auf die dem Akteur bewussten, kognitiven Vorgänge gelegt. Vor allem auf die Kommunikationsvorgänge von Akteuren, die eine Veränderung in einem System bewirken, soll der Fokus der Methode gelegt werden. Das Betrachten der Kommunikation wird auf die relevanten Aspekte eingeschränkt. Sie wird in ihrer rationalen Form, als Informationsfluss, der einen Arbeitsprozess unterstützt, beobachtet. Während des Aufstellens der Methode wird davon ausgegangen, dass die vom Modellierer spezifizierten Kommunikationsvorgänge beobachtbare Ereignisse für den Experten darstellen.

Weiterhin werden im Beschreibungskalkül modellierte Kommunikationsvorgänge aktiv von Akteuren des soziotechnischen Systems initiiert und beendet². Jeder Kommunikationsvorgang (beobachtbare Mitteilung), der in dem Beschreibungskalkül berücksichtigt wird, besitzt einen eindeutig definierbaren *Start-* und *Endpunkt*, was einen wichtigen Aspekt für die weiteren Überlegungen darstellt. Diese Informationen über die Kommunikationsvorgänge erzeugen Transparenz für den Analysten und die angedachte Methode. Sie informieren, an welcher Stelle im System oder zwischen welchen Aufgaben die Kommunikationsvorgänge und die Informationsübertragungen beginnen und enden.

Ein weiterer Punkt, der von der Seite der Kognition bezüglich der Kommunikation erwähnt werden soll, beinhaltet die Fähigkeiten des Kodierens und Dekodierens von Botschaften und deren Inhalt. Dazu gehört auch das Vorhandensein von Wissen über das System, welches bei dem Kommunikator und dem Rezipienten in der folgenden Methode gleichermaßen und stillschweigend vorausgesetzt wird. Diese Annahmen

²Dabei handelt es sich um die technische Komponente der Mensch-Maschine-Schnittstelle, sowie auch die menschlichen Operateure des Systems.

werden gemacht, um von den Problemen der Verarbeitung von Informationsreizen auf der kognitiven Ebene der menschlichen Akteure zu abstrahieren. Zum einen sind die hierarchischen Aufgabenmodelle, die der Methode zugrunde gelegt werden, ungeeignet feingranulare kognitive Entscheidungsprozesse zu modellieren (siehe Abschnitt 2.1.4), zum anderen ist nicht das der Ziel der angestrebten Methode die Wissensstrukturen, die dem beobachtbaren Verhalten zugrunde liegen, zu untersuchen (siehe Abschnitt 2.1.7).

Abhängig von der Granularität, anhand welcher die Kommunikationsvorgänge in einem Aufgabenmodell integriert werden, kann die Kommunikation entweder eine explizite Übertragung von einzelnen Informationen oder eine bewusste Wahrnehmung einer Zustandsänderung im System, aber auch ein kompliziertes Gespräch, indem mehrfach Informationsaustausch stattfindet, sein. Um eine möglichst hohe Qualität der angestrebten Methode zu erreichen, sollten sich Kommunikationsvorgänge auf möglichst atomarer Ebene eines Aufgabenmodells befinden.

Die Forderung, Kommunikationsvorgänge auf möglichst unterer Ebene eines Aufgabenmodells zu modellieren, soll gewährleisten, dass die modellierten Kommunikationsvorgänge in einem Aufgabenmodell keine zu generellen Informationen über ihre Parameter beinhalten. Kommunikationsvorgänge, die auf einer atomaren Ebene eines Aufgabenmodells modelliert werden, erlauben eine eindeutigere Spezifikation und Analyse der Kommunikation eines Systems als Kommunikationsvorgänge, die auf den höheren Abstraktionsebenen eines Aufgabenmodells modelliert werden. Je feiner (tiefer) die Ebene in einem Aufgabenmodell ist, auf der die Kommunikationspartner untereinander die Nachrichten austauschen, desto akkurater ist das Modellieren der Kommunikation und desto präziser lassen sich die einzelnen Kommunikationsabläufe untersuchen.

Stehen dagegen einem Analysten Kommunikationsvorgänge, die auf höheren Ebenen spezifiziert wurden, so kann es sein, dass es von Parametern deren Ausprägungen, die erst auf den untersten Ebenen festgestellt werden zuerst abstrahiert werden muss. Eine solche Situation kann von Vorteil sein, wenn während der Analyse auf derartige Effekte (siehe auch Abschnitt 6.6.1) verzichtet werden kann.

6.3. Basismodell der Kommunikation

Für die Integration der Kommunikation in die Aufgabenmodelle wird als Basismodell das von Shannon und Weaver entwickelte nachrichtentechnische Modell der Kommunikation vorgeschlagen [Sha48]. In diesem Abschnitt soll das ursprüngliche Modell, das mit weiteren Parametern erweitert wird, zuerst vorgestellt und danach auf seine Stärken und Schwächen hin untersucht werden.

6.3.1. Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver

Claude Elwood Shannon und Warren Weaver waren Mathematiker. Sie arbeiteten während des Zweiten Weltkrieges in den Laboratorien von Bell-Telephone am Massachusetts Institute of Technology und befassten sich mit dem Problem der fehlerfreien Übertragung von Militärfonogesprächen. Sie gelten als Gründer der Informationstheorie, die ihren Ursprung im Bereich der Wahrscheinlichkeit und Statistik hat. Ziel der Informationstheorie ist das Trennen von Hintergrundgeräuschen und Informationssignalen. Dabei wird versucht, während der Übertragung aufgetretene Fehler zu erkennen und zu korrigieren.

Das nachrichtentechnische Modell von Shannon und Weaver wird mit mathematischen Termini beschrieben. Es formalisiert das korrekte syntaktische Übertragen von elektronisch verschlüsselten Aussagen (Botschaften). Dabei wurde versucht, mit dem Modell die folgende Frage zu beantworten: Wieviel Bits können pro Zeiteinheit durch elektrische Impulse von einer Quelle zu einem Ziel übertragen werden?

Die Abbildung 6.2 stellt schematisch die Grundidee dieses Kommunikationsmodells dar. Das Prinzip dieses Modells ist die Betrachtung der Kommunikation als einen linearen Prozess, dessen Mittelpunkt durch ein Signal gebildet wird.

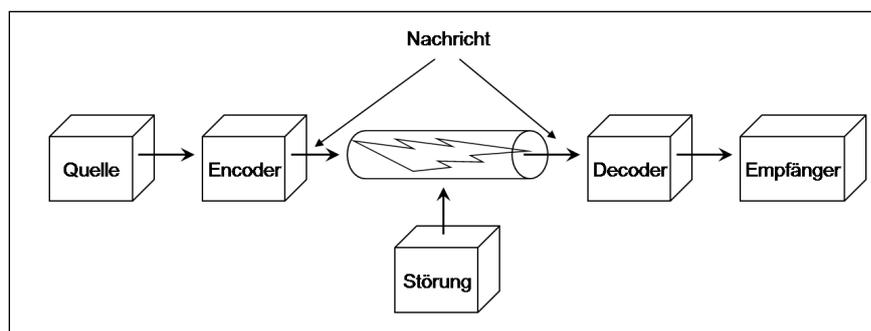


Abbildung 6.2.: Kommunikationsmodell von Shannon und Weaver mit einer integrierten Störungsquelle, angelehnt an [Sha48].

Das Modell besitzt folgende Struktur: Die *Quelle* einer Nachricht bildet ein Akteur oder eine Gruppe von Akteuren, die aus einem bestimmten Grund kommunizieren wollen. An dieser Stelle entsteht die Idee der Botschaft, die dem Empfänger mitgeteilt werden soll. Die Aufgabe des *Encoders* ist es, die Ideen der Quelle zu entnehmen und diese entsprechend zu kodieren. Die kodierte Information wird in Form einer *Nachricht* (Botschaft) versendet. Für die Nachricht selbst wurde in diesem Modell die Idee eines Containers übernommen. Die Nachricht ist demnach etwas, das identisch (in Form und Inhalt) vom Kommunikator zum Rezipienten übertragen werden kann. Die Nachricht bildet in diesem Modell das wichtigste Ziel der Kommunikation. Sie wird mithilfe eines Übertragungskanal transportiert.

Ein *Kommunikationskanal* ist eine geeignete Vorrichtung, die zum Übermitteln

von Nachrichten (Signalen) über räumliche oder zeitliche Distanz genutzt wird. Zu jedem Kanal gehört auch ein *Medium*, das die Nachricht überträgt. Erst das Zusammenfügen eines Kanals und eines entsprechenden Mediums erlaubt den tatsächlichen Transport von Nachrichten. Im Shannon und Weaver Modell wird dieser Tatbestand vereinfacht und der Begriff des *Kanals* vereint in sich beide Komponenten. Die Aufgabe des *Decoders* ist, die vom Transmitter gesendeten Nachrichten zu entschlüsseln und dem Empfänger bereit zu stellen. Der *Empfänger* nimmt die Nachricht entgegen. Er ist das Gegenstück zum Sender. Sender und Empfänger sind gleichberechtigte Teilnehmer während einer Kommunikation.

Zwischen den beiden Teilnehmern eines Kommunikationsprozesses können kanalbedingte Verzerrungen von sprachlichen Signalen vorkommen. Diese werden durch z.B. Nebengeräusche, mangelnde Sicht (bei gestischer Kommunikation), schlechtes Hören (Schwerhörigkeit) oder Sehen bedingt. Quellen von solchen Störungen wurden in diesem Modell aus einer rein technischen Sicht betrachtet und als *physikalisches Rauschen* definiert.

6.3.2. Störquelle im Kommunikationsmodell

Shannon und Weaver berücksichtigen in ihrem Modell eine Störquelle, die das physikalische Rauschen erzeugt. Trotz der vereinfachten Darstellung, die nur die physikalischen Störungen berücksichtigt, war dies zu der Zeit, als sich die beiden Mathematiker mit der Kommunikation beschäftigten, das einzige Kommunikationsmodell, das Probleme, die aufgrund von technischen Störungen vorkommen, berücksichtigte. Diese Tatsache verbesserte die bis dahin naive und unvollständige Sicht auf die Kommunikationsvorgänge.

Die Kommunikation kann an mehreren Stellen, während eines Kommunikationsvorgangs, beeinträchtigt werden. Die generellen Schwachstellen der Kommunikation sind die Schnittstellen eines Kommunikationsvorgangs.

Die erste Stelle, an der Störungen auftreten können, befindet sich beim Sender. Ein Grund für eine mögliche Störung, kann eine Fehlinterpretation sein, die aufgrund einer falschen Wahrnehmung der Situation, in der sich der Sender befindet, auftritt. Weiterhin ist es möglich, dass ein Sender dem Adressaten eine korrekte aber unverständliche oder unvollständige Information mitteilt. Dieser Fall tritt auf, wenn zum Beispiel der Kommunikator seine Information dem Rezipienten mit einer entsprechenden linguistischen Konstruktion mitteilt und dabei zu optimistische Annahmen über das Wissen bezüglich der Wahl des Codes oder der Form, mit der die Botschaft mitgeteilt werden soll [Cla96], machte. Es sind letztendlich die Sprachkenntnisse der Akteure und ihr Wissen über das Gesprächsthema, die die Fehlinterpretationen begünstigen.

Aus diesem Grund ist es möglich, dass es bereits während der Kodierungsphase zu Störungen kommt, die die gesendeten Informationen auf der syntaktischen wie auch der semantischen Ebene unverständlich machen.

Als nächstes kann die Information durch Störungen im Kommunikationskanal ihre ursprünglich angedachte Form verlieren und damit unbrauchbar werden. Dabei kann zum Beispiel das Medium zerstört werden. Zu guter Letzt können die gleichen Probleme, die beim Sender beschrieben wurden, auch beim Empfänger, während der Interpretation und beim Dekodieren der Informationen, vorkommen.

Die bereits erwähnten Gründe sprechen für eine Erweiterung eines Kommunikationsmodells um eine (imaginäre) Störquelle. Die Störquelle wird in erster Linie dazu genutzt, die Störungen, die vom Sender und vom Empfänger verursacht werden, zu symbolisieren-, vgl. 6.2. Zusätzlich werden auch jegliche Störungen, die während des technischen Kodierungs- und Dekodierungsprozesses passieren, an dieser Störquelle verankert.

Eine weitere Art von Störungen sind Situationen in denen keine Nachricht, eine unvollständige Nachricht oder eine verfälschte Nachricht, die aufgrund technischen Versagens vorkommt, den Adressaten erreicht. Wird das durch den Kommunikationskanal übertragene Signal verschlechtert und ist dadurch das empfangene Signal nicht identisch mit dem gesendeten, so spricht man vom *Rauschen* während des Kommunikationsvorgangs. Ob bei einer unvollständigen oder verfälschten Nachricht eine kontextuelle Zuordnung möglich ist, hängt vor allem von der Rauschintensität wie auch *Rauschqualität* ab. Ein Rauschen kommt vor, wenn zum Beispiel beim Übertragen der menschlichen Stimme während eines Telefongesprächs Nebengeräusche, die das Telefongespräch stören, auftreten, oder die Sicht beim Gestikulieren zwischen den zwei Personen getrübt wird. In solchen Fällen wird die Kommunikation durch die Umgebung, in der sie stattfindet, gestört. Der Geräuschpegel oder -amplitude wäre in diesem Fall die Intensität des Rauschens und die Rauschqualität die Klangfarbe.

6.3.3. Kritik am Modell von Shannon und Weaver

Die Kritik, der sich das Modell in den letzten Jahren stellen musste, ist, dass das Modell suggeriert, die *Bedeutungen*, die der Sender einer Information zuschreibt, gleiche der des Empfängers. Zum anderen wird kritisiert, dass das Modell die Kommunikation zu sehr simplifiziert, die Wirkung der Umwelt auf den dynamischen Prozess der Kommunikation nicht ausreichend modellierbar ist und das *semantische Rauschen* außer acht lässt [Mer99].

Vom *semantischen Rauschen* spricht man, wenn die Verständigung zwischen den Kommunikatonspartnern auf der Ebene der Beziehung zwischen den sprachlichen Zeichen und deren Bedeutung gestört ist.

Das semantische Rauschen kann während der Kommunikation durch unterschiedliche Kulturzugehörigkeit oder durch eine Diskrepanz im Wissen über die Bedeutung der genutzten Formulierungen oder Redewendungen der beiden Akteure verursacht werden. Es kann zwischen zwei folgenden Arten des semantischen Rauschens unterschieden werden:

- Das *Nichtverstehen eines Sachverhaltes auf der gegenständlichen Ebene*. Dies liegt dann vor, wenn der Sender und der Empfänger über unterschiedliche Zeichenvorräte verfügen. Der Code kann nicht auf einer gemeinsamen Grundlage decodiert werden [Bur98, S.84].
- Das *Missverstehen auf der gegenständlichen Ebene*. Dies liegt dann vor, wenn der Sender und der Empfänger über ähnliche Zeichenvorräte verfügen und das Dekodieren durchgeführt werden kann. Die Bedeutung der einzelnen Wörter ist aber für beide Kommunikationspartner unterschiedlich [Bur98, S.84].

Diese Probleme des Kommunikationsmodells waren den beiden Autoren bewusst. Aus ihrer Perspektive lagen sie aber nicht im Fokus ihrer Forschung. „*Frequently the messages have meaning; that is they refer to or are correlated according to some system with certain physical or conceptual entities (...) Semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem.*“ [Sha48].

Eine weitere Einschränkung des ursprünglichen Shannon und Weaver Modells war das Ausbleiben vom Feedback. Das Shannon und Weaver Modell war ein unidirektionales Modell. Das Feedback wurde erst nicht berücksichtigt. Erst spätere Modifikationen des Modells ergaben ein Modell mit Feedback.

Das vorgestellte Modell der Kommunikation von Shannon und Weaver bildet trotz der kritischen Seite des Modells eine stimmige und flexible Basis, die durch eine geeignete Anpassung im Rahmen eines Aufgabenmodells eine adäquate Alternative für die Modellierung der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen bietet. Das Kommunikationsmodell wird mit angemessenen Parametern, die in 6.4 vorgestellt und untersucht werden, so weit modifiziert, bis die gewünschte Ausdruckskraft für das Abbilden und Analysieren von Kommunikation in sicherheitskritischen soziotechnischen Systemen erreicht wird. Das so erweiterte Modell wird dann im Abschnitt 6.5 mit anderen Kommunikationsmodellen verglichen, um seine Qualitäten und Schwächen anderen gegenüber zu prüfen.

6.4. Modellierung der Kommunikationsparameter

Die bereits am Anfang des Kapitels erwähnte Zielsetzung dieser Abhandlung ist eine detaillierte Darstellung der strukturellen und technischen Aspekte von Kommunikation in Aufgabenmodellen, um ihren Einfluss auf die Bildung von Kommunikationsfehlern in einem soziotechnischen sicherheitskritischen System zu untersuchen und zu dokumentieren. Die technischen Aspekte der Kommunikation werden dadurch dargestellt, dass entsprechend zu den technischen Aspekten Parameter der Kommunikation definiert werden, die dann die einzelnen Aspekte mit ihrem Verhalten beschreiben.

Im folgenden Abschnitt werden die Kommunikationsparameter systematisch vorgestellt. Die Parameter können nach Kategorien gruppiert werden, in denen die Kommunikation Schwachstellen aufweisen kann. Die Parameter kristallisieren sich aus den bereits im letzten Abschnitt erwähnten Eigenschaften des Kommunikationsmodells heraus:

- Information
- Medium
- Kontrollprozess
- Zeitpunkt der Kommunikation
- Relation zwischen beteiligten Akteuren
- Umgebung

Im Folgenden werden die Bereiche, mit ihren jeweiligen Parametern vorgestellt. Das Untersuchen beginnt bei *Information* und geht in weitere Zweige über, bis zu der *Umgebung* der Kommunikation. Mit dieser Reihenfolge wird eine Systematik angestrebt die einzelnen Kategorien von *innen* nach *außen* des Kommunikationsmodells zu untersuchen. Als Nächstes werden Parameter der Kommunikation vorgestellt, die für die einzelnen Eigenschaften der Kommunikation eine Schlüsselposition spielen. Es geht vor allem darum die einzelnen Parametern zu definieren, ihre Rolle in dem Kommunikationsmodell herauszukristallisieren, ihre praktikable Umsetzung in der Modellierungsumgebung vorzustellen und mögliche Schwerpunkte, die diese Parameter auf die Kommunikation ausüben, zu beleuchten.

6.4.1. Information

Im folgendem Abschnitt soll der Begriff der *Information* selbst wie auch seine Bedeutung für sicherheitskritische Systeme erläutert werden. Dabei wird die Information als eine messbare Substanz mit mehreren Ebenen gesehen.

Der Begriff der *Information* ist ein weitläufig verwendeter Begriff, der in verschiedenen Bereichen der Wissenschaft unterschiedlich verwendet wird. Ursprünglich stammt der Begriff aus dem lateinischen Wort *informare* und bedeutet so viel wie bilden oder etwas in Form bringen [Mac83]. Daraus ergibt sich auch die heutige Bedeutung des *Informierens*: damit ist gemeint, dass man kommuniziert, miteinander redet, jemanden benachrichtigt oder etwas in Erfahrung bringt.

Der tägliche Gebrauch des Begriffs selbst beschränkt sich auf die Information als *Bedeutungsinformation* und so gehört die semantische Ebene des Begriffs stillschweigend dazu. Webster betont in diesem Zusammenhang, dass in der semantischen Definition von Information, die Information an sich bedeutungsvoll ist, eine Intelligenz besitzt, ein Subjekt im Sinne eines Gegenstands oder eine Instruktion über etwas oder jemanden darstellt [Web95, S.26-27].

Anders als im täglichen Sprachgebrauch, in dem die Information mit *Bedeutung* oder *Begrifflichkeit* gleichgesetzt wird, wird die *Information* in der Signaltheorie betrachtet. In der Signaltheorie (oder Nachrichtentechnik) wird der Informationsbegriff auf die syntaktische Ebene reduziert und stellt das Quantifizieren des Informationsgehaltes von übermittelten Nachrichten in den Vordergrund. Der Kern der wegweisenden mathematischen Informationstheorie ist die „*Ausarbeitung und Beschreibung eines den Umgang mit Information ermöglichenden und zugleich von ihm getragenen Wahrscheinlichkeitskalkül, das auf jeder einzelnen Nachricht auf den Zustand der Welt schließt, in der man sich jeweils befindet, und vom Zustand der Welt wieder zurück auf die verwertbaren Nachrichten*“ [Bae05]. Diese Theorie beruht auf den bereits erwähnten Veröffentlichungen von Claude Shannon über die mathematische Theorie der Kommunikation [Sha48]. Seine ingenieurwissenschaftliche Sicht in dem mathematisch orientierten Kommunikationsmodell war eine optimale Übertragung von Information von einem Sender über einen Nachrichtenkanal zum Empfänger zu erreichen. Dabei sollten Datensignale, die in einem elektronischen Kanal übertragen werden, von den Hintergrundgeräuschen möglichst optimal separiert werden.

Zentrale Rollen in dieser Theorie spielen der Informationsgehalt und die Entropie. Der Informationsgehalt ist eine logarithmische Größe und bestimmt ob-, und wie viel Information eine Nachricht enthält. In der Informationstheorie ist die Information eine räumliche oder zeitliche Folge von physikalischen Signalen. Die Signale z_i sind Elemente eines endlichen Alphabets $Z = z_1, z_2, z_3, \dots, z_x$ und kommen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit p_{z_i} in einer Nachricht vor. In der Informationstheorie hängt der Informationsgehalt ausschließlich von der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Ereignis auftritt, ab. Der Wert des Informationsgehalts bezeichnet die minimale Anzahl an Bits, die benötigt werden, um eine Information zu übertragen oder darzustellen. Um den Informationsgehalt I eines Zeichens z zu berechnen wird die *umgekehrte* Wahrscheinlichkeit p logarithmiert. Der Informationsgehalt wird nach folgender Formel berechnet:

$$I_z = -\log_a * p_z$$

Die Basis des Logarithmus bezeichnet die Anzahl der möglichen Zustände einer Nachrichtenquelle. Da Bits als Binärziffern (also Elemente eines binären Alphabets) sich besonders leicht technisch handhaben lassen, weil sie nach dem Logarithmus zu Basis 2 organisiert sind, wird praktischerweise auch als Basis des Logarithmus diese Zahl genutzt. Übergang zu einer anderen Basis ist dabei nur ein konstanter Faktor, der je nach Alphabetsgröße angepasst wird.

Ein weiterer Begriff, der eine zentrale Rolle in der Informationstheorie spielt ist die Entropie³. Die Entropie E ist ein Maß für das Bewerten des mittleren Informationsgehaltes pro Zeichen eines Alphabets. Das Berechnen erfolgt durch das Aufsummieren von den Informationsgehalten der einzelnen Zeichen einer Nachricht, der mit der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit eines Zeichens gewichtet wird. Dies lässt sich wie folgt zum Ausdruck bringen:

$$E = \sum_{z \in Z} p_z * I_z = - \sum_{z \in Z} p_z * \log_a p_z$$

Durch die Gewichtung des Informationsgehaltes mit der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Ereignis auftritt, erhält man den mittleren Informationsgehalt. Mit diesem Maß lässt sich bei einer bekannten Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ereignisse bestimmen, mit welcher durchschnittlichen Kodelänge es möglich ist eine Nachricht zu kodieren.

Aus dem shannonischen Ansatz des Informationsgehalts lassen sich neben der *mittleren* Entropie E auch weitere Größen wie zum Beispiel die *maximale* Entropie E_{max} einer Nachrichtenquelle gewinnen. Die Differenz der beiden Größen wird als *Redundanz* bezeichnet und ist ein Maß für die optimale Kanalausnutzung.

Die von Shannon propagierte *mathematische Theorie der Kommunikation* sieht Information als eine messbare Substanz, deren bestimmte Eigenschaften mit mathematischen Funktionen bemessen werden können. Im Hinblick auf die Zeichentheorie, die in der Semiotik zwischen drei Disziplinen unterscheidet: der Syntax, die Ebene der formalen Ordnung; der Semantik, Ebene, die die Bedeutung der Zeichen in einer Sprache definiert und der Pragmatik, Ebene, die den Gebrauch der Zeichen beschreibt [Mor82], minimiert die mathematische Theorie der Kommunikation, diese auf die syntaktische Ebene. Auf dieser Ebene lässt sich mit der bereits erwähnten Entropie die strukturelle Eigenschaft von Zeichen messen und die Informationsdichte eines Zeichensystems errechnen. Diese Eigenschaften haben einen wichtigen Stellenwert, denn zum Beispiel die notwendigen technischen Kanalkapazitäten oder etwa die Redundanz der Informationsübermittlung präzise berechnen.

Das Beurteilen von semantischen Aspekten einer Information wird aber aus der Sicht der Informationstheorie ausdrücklich ausgeschlossen. Dies kommt dadurch,

³Der Begriff selbst kommt aus der Thermodynamik. Er ist eine extensive Zustandsgröße und bezeichnet die Anzahl der mikroskopisch erreichbaren Zustände eines Systems, unabhängig von seinem Ordnungsgrad.

dass das Quantifizieren des Bedeutungsinhalts einer Information bereits an der nicht vorhandenen Stringenz und Eindeutigkeit für semantische Regeln der natürlichen Sprache versagt [Wil71]. Die Versuche, etwa von Schramm, [Sch55] die mathematische Kommunikationstheorie auf die semantische Ebene zu adaptieren, brachten die Kommunikationswissenschaft lediglich in eine Sackgasse [Mer99, S. 151].

Die pragmatische Ebene einer Information zeichnet sich dadurch aus, dass sie das Wissen eines Empfängers kreiert oder verbessert. Ist der Wert einer empfangenen Information dem Empfänger bereits bekannt, so ist ihre Wirkung minimal oder gar keine. Der Informationsgewinn, der durch das Erfahren einer Nachricht erscheint, führt zu einem Verlust an Entropie und zu einer Reduktion der innerlichen Unsicherheit im Wissen eines Empfängers.

Die bereits erwähnte Kommunikationstheorie nach Shannon wurde als Basis für das Kommunikationsmodell in dieser Ausarbeitung verwendet. Die Problemstellung der mathematischen Kommunikationstheorie besteht in der Sicherstellung technischer Signalübertragung mit rauschenden Kanälen. Da im Fokus der Ausarbeitung die soziotechnischen Systeme stehen, darf die Information sich nicht auf die Information als Folge von Signalen beschränken. Dies würde zwangsläufig den Menschen mit einer Maschine gleichsetzen.

Während einer Interaktion werden zwar im technischen Sinne lediglich Signale oder Zeichen versendet oder empfangen, diese sind aber für die involvierten Akteure mit einer bestimmten Bedeutung behaftet. Damit wird Information Form von Materie oder Energie, die für den Betrachter relevant ist, kontextbezogen, und kann ihrerseits zu bestimmten Erkenntnissen führen. Ob-, und was für eine Erkenntnis stattfindet, liegt bei einem menschlichen Akteur nicht, wie in der mathematischen Kommunikationstheorie, auf der Ebene der statistischen Kausalitäten, sondern auf der Ebene, die von dem erworbenen Wissen der beteiligten Individuen abhängig ist. Das Wissen eines Akteurs selbst wird im vorgeschlagenen Kommunikationsmodell nicht abgebildet. Der Modellierer kann aber implizit aus der Rolle, die ein Akteur im System bekleidet, schließen was ein Akteur auch wissen sollte.

In dem Kommunikationsmodell wird vorgeschlagen, dass sich Botschaften in Kommunikationsobjekten befinden. Eine Botschaft wird in dieser Form von einer Aufgabe zur anderen während eines Kommunikationsvorgangs übermittelt. Diese Nachrichten sind Folgen von Zeichen, die für das einzelne Individuum als Information verstanden werden und kontextuell zugeordnet werden können.

Schwachstellen, die direkt mit dem Parameter *Information* verbunden sind, treten im System dann auf, wenn zum Beispiel eine Information vom Empfänger nicht zugeordnet werden kann. Dies kommt zu Stande, wenn eine Information, während des Kommunikationsvorgangs, verfälscht wurde oder von Anfang an inkorrekt war.

6.4.2. Medium

Um eine Information im soziotechnischen System zu kommunizieren bedarf es eines Hilfsmittels. In der Kommunikationswissenschaft wird an dieser Stelle vom *Medium* oder *Übertragungsmedium* gesprochen. Diese Begriffe stehen „sowohl für personale (der menschlichen Person anhaftende) Vermittlungsinstanzen als auch für jene technische Hilfsmittel zur Übertragung einer Botschaft“ [Bur98, S. 36]. Dies hängt von der Disziplin der Wissenschaft, in der der Terminus *Medium* verwendet wird, ab.

In der Pädagogik zum Beispiel wird von *Unterrichtsmedien* gesprochen, in der Literaturwissenschaft von der *Literatur* als Medium. In der Informationstheorie steht dagegen der Begriff Medium (neben der Information) im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Bestrebens und bedeutet ein *Zeichenvorrat*. Im Bereich der Massenkommunikation und Kommunikationssoziologie bestimmt der Begriff den *technischen Kanal* der Kommunikation. Ausprägungen dieses Kanals finden sich in Telekommunikation als Telefon, Sprechfunk, Fax etc., in der bereits erwähnten Massenkommunikation als Zeitung, Zeitschrift, Radio oder Fernsehen und schließlich in der computervermittelten Kommunikation als Multimedia- oder Onlinekommunikation. Es gibt eine Vielfalt materieller wie immaterieller Formen der Vermittlungsformen. Harry Pross erarbeitete 1972 eine Differenzierung der medialen Vielfalt. Er unterscheidet zwischen *primären*, *sekundären* und *tertiären* Medien [Pro72, S. 10 ff].

- Unter *primären Medien* werden Medien zusammengefasst, die dem menschlichen Elementarkontakt dienen. Dazu gehört die menschliche Sprache wie auch die nonverbalen Ausdrucks- und Mitteilungsformen wie Mimik, Gestik, Körperhaltung oder Blickkontakt usw. Medien aus dieser Gruppe benötigen keine technischen Hilfsmittel, um zu funktionieren.
- Mit *sekundären Medien* sind alle jene Kommunikationsmittel gemeint, die auf der Seite des Senders technische Geräte benötigen, nicht jedoch beim Empfänger. Gemeint sind schriftliche Formen der Kommunikation wie Brief, Zeitung, Buch, aber auch Rauchzeichen, Feuer- und Flaggensignale.
- In Gruppe der *tertiäre Medien* gehören alle Kommunikationsmittel, die sowohl auf der Seite des Senders wie auch auf der Seite des Empfängers das Nutzen von technischen Mittel erforderlich machen. Dazu gehören die Kommunikationsmittel der Telekommunikation wie Telefon, Fax und Massenmedien wie Radio, Fernseher, Computer, DVD-Player etc.

Um eine Nachricht zu übermitteln, erfordert es eines geeigneten Mediums. Wie in den bereits genannten Beispielen gezeigt wurde, besitzt das Medium die Funktion vom Träger einer Botschaft (*wie zum Beispiel ein Stück Papier auf dem eine Nachricht geschrieben wird*) und ist mit dem Kommunikationskanal (*dies kann zum Beispiel die Rohrpost sein*) eng verbunden. Über die Kanäle *läuft die Kommunikation ab*

und erzeugt Wirkungen [Pra68]. In der zwischenmenschlichen Kommunikation kommunizieren wir über mehrere Kanäle. An dieser Stelle sind jene Sinnesmodalitäten gemeint, mit deren Hilfe die Menschen sich gegenseitig wahrnehmen. In der Kommunikationswissenschaft wird zwischen dem *auditiven*, dem *visuellen*, dem *taktilen*, dem *olfaktorischen*, dem *thermalen* und dem *gustatorischen* Kanal unterschieden.

Über den *auditiven* Kanal nehmen wir die gesprochene Sprache zusammen mit den paraverbalen Elementen wie zum Beispiel das Lachen wahr. Der *visuelle* Kanal wird von uns Menschen benötigt, um nonverbale Informationen, wie die Mimik oder Gestik, aber auch die Schrift wahrzunehmen. Der *taktile* Kanal vermittelt uns Informationen, die durch eine Körperberührung entstehen. Dazu gehört zum Beispiel ein Händedruck während einer Begrüßung, bei dem gleichzeitig Wärme wahrgenommen wird. Dies geschieht über den *thermalen* Kanal. Sollten wir bei einer Begrüßung zusätzlich noch den Geruch wahrnehmen, wird dieser über den *olfaktorischen* Kanal übermittelt. Als letzter Kanal, der den primären Medien zugeordnet werden kann, soll der *gustatorische* Kanal erwähnt werden, über den die Geschmacksempfindungen übermittelt werden.

Befinden sich die Akteure *in derselben physikalischer Umgebung*, so kann ein Gespräch von Angesicht zu Angesicht erfolgen, vorausgesetzt die Sicht erlaubt es. In solcher zwischenmenschlicher Kommunikation nehmen die Kommunizierenden abwechselnd die Rolle von Sender und Empfänger ein. Dies erfolgt oft „in so rascher Folge und mit Überschneidungen, dass man von einer gewissen Koinzidenz beider Rollen bei beiden Partner ausgehen kann“ [Sch04b]. Dieser Prozess läuft wechselseitig ab, sodass der Kommunikationsprozess einen dialogischen Charakter annimmt. Dieser muss aber nicht zwingend symmetrisch strukturiert sein [Küb03, S.38].

Ein Austausch von Informationen zwischen einer Crew, die sich in einem Cockpit befindet (Kommunikation findet in derselben Umgebung statt), bedient sich *sprachlicher* (verbaler) und *nicht sprachlicher* (nonverbaler) Kommunikation. Dies ist auch einer der wichtigsten Parameter einer *Angesicht-zu-Angesicht* Kommunikation. Das Sprachliche manifestiert sich im Gebrauch von Symbolen bzw. Zeichen. Dies passiert beim Sprechen wie beim Schreiben. Bei gesprochener Sprache spielen zusätzlich solche Merkmale wie Stimmqualität, Tonfall, Lautstärke, Stimmmelodie, Sprechpausen oder eine dialektische Färbung eine Rolle. Zusätzlich zu der *verbalen Kommunikation* kommt während einer *Angesicht-zu-Angesicht* Kommunikation die *nonverbale Kommunikation* dazu. Diese findet Ausdruck in der Mimik, Gestik, Körperhaltung oder dem Blickkontakt und wird vorwiegend visuell bzw. optisch wahrgenommen. Die beiden Kommunikationsformen sind eng miteinander verbunden und während eines *Angesicht-zu-Angesicht* Gesprächs ergänzen sich diese. Das Zusammenfügen der beiden Kanäle ermöglicht Leistungen zu erbringen, die sie alleine nicht erfüllen können [Mer77, S.82].

Das in dieser Arbeit angestrebte Kommunikationsmodell weist derzeit keine Beschränkungen bezüglich des Kommunikationskanals in der zwischenmenschlichen wie auch der Mensch-Maschine-Kommunikation auf. Was für ein Kanal bei einem

Kommunikationsvorgang genutzt wird, kann anhand des Kommunikationsobjektes im Modell, oder wenn nötig explizit mit einer textuellen Beschreibung des Kommunikationsvorgangs, spezifiziert werden.

Die bereits erwähnten Beispiele zeigen die verfügbare mediale Vielfalt. Das Medium, das die Kommunikationspartner nutzen, soll so gewählt werden, dass es sich nicht als Schwachpunkt während eines Kommunikationsvorgangs herauskristallisiert. Um das zu gewährleisten, sollte das Medium an die Information, Umgebung und an die involvierten Akteure angepasst werden.

Das gezielte Anpassen eines Medium an die Akteure soll anhand eines geeigneten Beispiels präsentiert werden. Es ist einleuchtend, dass das Erreichen von einem bestimmten Publikum einen gezielten Einsatz von Medien, die dem Publikum zugänglich sind, erfordert. In der Medizin muss zum Beispiel die Erklärung auf dem Beipackzettel eines Medikaments in einer Sprache geschrieben werden, die von den Menschen, die das Medikament einnehmen, auch verstanden wird. Dies ist in der europäischen Union im Artikel 63 Absatz 2 der Richtlinie 2001/83/EG verankert. Gemäß dieser Richtlinie⁴ „*muss ein Beipackzettel zumindest in der Amtssprache bzw. den Amtssprachen des Mitgliedstaats bzw. der Mitgliedstaaten abgefasst werden, in dem bzw. denen das Arzneimittel in den Verkehr gebracht wird. Wird dabei mehr als eine Sprache verwendet, muss der gesamte Text in sämtlichen Sprachen abgedruckt sein. Die Lesbarkeit des Etiketts darf dadurch nicht beeinträchtigt werden. Der Inhalt muss in sämtlichen Sprachen identisch sein*“⁵.

Diese Richtlinie hilft Menschen, deren Kultur eine schriftliche Form ihrer Sprache besitzt. Es gibt aber Kulturen, die sich anders entwickelten. Die Sprache der Aborigines etwa besitzt keine schriftliche Form. So wird zum Beispiel von älteren Aborigines eines Stammes nur ein gesprochenes Wort als wichtig empfunden und nicht ein geschriebenes. Die persönliche Bindung besitzt für diese Gruppe von Menschen eine besondere Bedeutung. Das erfordert wiederum von Apothekern in manchen Regionen Australiens, dass sie ihre Kunden genau über die Dosierung der Medikamente in einem persönlichen Gespräch aufklären, denn die Beipackzettel werden nicht als *würdige* Informationsträger akzeptiert.

Ähnlich der Anpassung eines Medium an die kommunizierenden Akteure, sollte eine entsprechende Anpassung des Mediums zu der Information selbst nicht vernachlässigt werden. Dies kann von dem Kontext des Inhalts einer Information abhängen. Ist eine Information kritisch oder außerordentlich wichtig, so kann die Bedeutung eines Mediums etwa mithilfe einer geeigneten Farbe oder eines akustischen Signals hervorgehoben werden. Zum Beispiel ist ein rotes Licht einer Lampe, die sich auf einer Intensivstation befindet, verbunden mit einem entsprechendem Signal, das über das Herzversagen eines Patienten informiert, mit Sicherheit ein geeignetes Mittel,

⁴Richtlinie 2001/83/EG des Parlaments und des Rates vom 6. November 2001 zur Schaffung eines Gemeinschaftskodexes für Humanarzneimittel, *ABl.L311* vom 28.11.2001.

⁵<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2003:280E:0059:0060:DE:PDF> letzte Einsicht am 01.10.2009

um die Aufmerksamkeit einer Krankenschwester zu erwecken.

Die letzte Anpassung eines Mediums, die an dieser Stelle erwähnt werden soll, ist die Anpassung bezüglich der Umgebung, in der kommuniziert wird. Herrschen in einer Umgebung ungünstige Bedingungen, z.B. aufgrund von niedrigen oder hohen Temperaturen, extremer Feuchtigkeit, hoher Lautstärke, hohem Luftdruck, Sterilität, oder völliger Dunkelheit, so kann es sein, dass ein Medium, das für eine bestimmte Umgebung seine Dienste zufriedenstellend erfüllt, in einer anderen versagt. Welches Medium für welche Umgebung geeignet ist, hängt von den einzelnen Parametern ab und muss demnach einem System und einer Umgebung spezifisch angepasst werden.

Das Übertragungsmedium wird im angestrebten Kommunikationsmodell als ein Teil des bereits angesprochenen Kommunikationsobjekts gesehen. Eine initiale Zuordnung der Medien wurde bereits in AMBOSS vorgeschlagen. Wenn eine Botschaft in diesem Modell zum Beispiel kein Medium nutzt, dann handelt es sich um die bereits erwähnte erste Gruppe der primären Medien. Außerdem kann es für die Übertragung einer Information ein physikalisches Medium (z.B. Zeitung, Brief) oder elektronische Medium (z.B. E-Mail, Video) nutzen.

6.4.3. Kontrollprozess

Im folgenden Abschnitt sollen die einzelnen Parameter des Kontrollprozesses, der in einem Kommunikationsmodell verwendet wird, untersucht werden. Es handelt sich dabei um das Protokoll, die Rückkopplung und die Redundanz.

Kommunikationsprotokoll

Ein Protokoll wird in dem angestrebten Kommunikationsmodell als eine Vorschrift oder eine Vereinbarung, die eine bestimmte Ordnung im System festlegt, definiert. Eine Ordnung wird bestimmt, um die Kontrolle über einen Sachverhalt, z.B. Verhaltenskodex, Kommunikationsablauf etc., zu erlangen. Die Vereinbarung kann absolut festlegen, zu welchem Zeitpunkt oder relativ in welcher Reihenfolge welche Operation durchgeführt werden sollen.

Im Hinblick auf die Kommunikation schreibt ein Protokoll vor, wie eventuelle Übertragungsfehler, während eines Kommunikationsvorgangs vermieden oder behoben werden können. Auf der zwischenmenschlichen Ebene soll ein Kommunikationsprotokoll helfen, durch die Vorschrift von Kommunikationsabläufen Fehlverhalten oder Unsicherheiten zu vermeiden. Ein Kommunikationsprotokoll besteht zunächst aus einem Satz von Regeln und Formaten, die die syntaktische (aber auch pragmatische) Ebene einer Kommunikation vereinbaren. Darüber hinaus kann eine derartige Vorschrift das Kommunikationsverhalten der kommunizierenden Instanzen festlegen und damit die Semantik bestimmen. Grundsätzlich werden Protokolle in solchen Systemen eingesetzt in denen mit Fehlern, Störungen oder Abweichungen zu rechnen

ist und deren Abläufe entweder im Voraus, gegenwärtig oder im Nachhinein kontrolliert werden sollen.

In der Telekommunikation werden Protokolle als Regeln gesehen, die die Darstellung, die Bedeutung, das Format, den Inhalt und die Reihenfolge der gesendeten Nachrichten zwischen den kommunizierenden Instanzen festlegen. Das OSI-7-Schichtenmodell⁶ ist das bekannteste Referenzmodell der Kommunikationsprotokolle. Das Schichtenmodell ist ein Protokollstapel, dessen jeweilige Ebene für eine eigene Aufgabe der Informationsübertragung zwischen den kommunizierenden Instanzen verantwortlich ist. Das OSI-Modell besitzt sieben Schichten. Die Schichten reichen von einer Bitübertragungsschicht, in der das Bitübertragen bewältigt wird, bis hin zu einer Anwendungsschicht, die den Anwendungen einen Zugriff auf das Netzwerk verschafft. Die einzelnen Schichten sind über Schnittstellen mit den angrenzenden Schichten verbunden. Die Protokolle verwenden Dienste der benachbarten Schichten und arbeiten zusammen an einer zuverlässigen und effizienten Kommunikation.

In soziotechnischen, sicherheitskritischen Systemen spielt eine korrekte Kommunikation eine Schlüsselposition, da eine Abweichung, während eines Kommunikationsvorgangs zu unerwünschten Störungen führen kann. Aus diesem Grund werden an ein Protokoll für derartige Systeme hohe Anforderungen gestellt. Ein Kommunikationsprotokoll soll demnach so konzipiert sein, dass es eine hohe Zuverlässigkeit und Gültigkeit innerhalb eines Systems aufweist. Im angestrebten Kommunikationsmodell soll vor allem gewährleistet werden, dass die Frage nach dem Vorhandensein eines Protokolls für einen bestimmten Kommunikationsvorgang beantwortet wird. Ob das Protokoll entsprechend von den Kommunikationspartnern genutzt wurde, wird dann während der aufgestellten Methode im Abschnitt 6.7 untersucht.

Rückkopplung

Das Prinzip der Rückkopplung wird oft als das Geheimnis aller Vorgänge in natürlichen Systemen genannt. Das Prinzip, bei dem die Reaktion auf eine veränderte Umwelt stattfindet, ist grundlegend für die Theorie der Regelvorgänge in verschiedenen Wissenschaften wie Biologie, Medizin oder Psychologie. Der Begründer der Kybernetik, Norbert Wiener, sieht in der Rückkopplung den Ursprung jeglicher Intelligenz, da die Reaktion auf veränderte Umweltparameter jedes Wesen in die Lage versetzt, sich seiner Umwelt anzupassen und seine Ziele zu verfolgen [Wie01].

Die Bedeutung der Rückkopplung (der Begriff wird in dieser Ausarbeitung mit Feedback gleichgesetzt) lässt sich am besten anhand einer Kausalkette zeigen, in welcher Ereignis x ein Ereignis y bewirkt und dann y ein Ereignis z bewirkt und z seinerseits ein anderes. Diese Kausalkette zeigt Eigenschaften eines deterministischen, linearen Systems. Übt aber das Ereignis z auf ein vorheriges Glied der

⁶OSI bedeutet *Open System Interconnection*. Das OSI-Modell ist seit 1983 von der Internationalen Organisation für Normung standardisiert.

gleichen Kette z.B. y eine Wirkung aus und agiert damit entgegen der ursprünglichen Wirkungsrichtung, so wird ein derartiges System nicht mehr linear, sondern *zirkulär*. Solche Systeme zeichnen sich aufgrund der in ihrer Struktur verankerten Rückkopplung, durch höhere Komplexität im quantitativen wie auch im qualitativen Sinne im Vergleich zu Systemen der klassischen Mechanik aus. Eine der charakteristischen Eigenschaften der selbstregulierenden Systeme (Systeme mit Feedback) ist, dass bei vollkommener Kenntnis aller Tatsachen eines Systems zu einem gegebenen Zeitpunkt, die Voraussage aller zukünftigen Entwicklungen in diesem System nicht möglich ist.

Unter Bezugnahme auf Watzlawick sei darauf hingewiesen, dass in der Kommunikationswissenschaft bei Rückkopplung zwischen einer *positiven* und einer *negativen* Rückmeldung unterschieden wird [Wat07, S.31]. Die *negative* Rückkopplung ist eng mit dem Gleichgewicht eines Systems verbunden. Sie besitzt die Rolle der Erhaltung oder Herstellung eines Systemgleichgewichts. Die *negative* Form wird dann verwendet, wenn ihre Information für das Vermindern eines Ausgabewertes vom Sollwert genutzt wird.

Wird eine Information der Rückkopplung für die Verstärkung einer Ausgabeabweichung genutzt, spricht Watzlawick von einer *positiven* Rückkopplung. Diese Art von Rückkopplung führt zu einer Änderung im System und bringt das System aus seinem Gleichgewicht. Das System verliert unter der Wirkung der *positiven* Rückkopplung seine ursprüngliche Stabilität. Seine These stützt er auf zwischenmenschliche Systeme, in denen Gruppen, Ehepaare, Familien oder internationale Beziehungen als Rückkopplungskreise angesehen werden [Wat07, S.32].

Die negative und positive Rückmeldung ist aber nicht gleichzusetzen mit einem gewollten und ungewollten Vorgang. Beide Arten der Rückkopplung besitzen ihre eigene Aufgabe in einem System. In Rückkopplungskreisen bedingt das Verhalten jedes einzelnen Individuums einer Gruppe das Verhalten von jedem anderen Individuum derselben Gruppe.

In dieser Ausarbeitung handelt es sich um eine Rückkopplung, während eines Kommunikationsvorgangs, wenn eine *Gegenbotschaft* seitens des Empfängers auf die ursprüngliche Nachricht des Senders erfolgt. Diese besondere Art der Kommunikation dient Kontrolle der korrekten Informationsübertragung. Der Sender und der Empfänger tauschen untereinander ihre Rollen, dabei fließt die Kommunikation in die entgegengesetzte Richtung des ursprünglichen Kommunikationsflusses. Der Empfänger informiert mit dem Feedback den anfänglichen Sender über den Erhalt einer Nachricht.

Das Ausbleiben von Feedback oder wenn das Feedback Erwartungen des ursprünglichen Senders nicht entspricht, veranlasst den Sender von einer Fehlübertragung auszugehen. Im solchen Fall wird die fehlgeschlagene Nachricht ein weiteres Mal versendet oder es werden Maßnahmen ergriffen, die ein Kommunikationsprotokoll bestimmt. Je nach Qualität des Feedbacks ist der Sender in der Lage zu sagen, ob die Nachricht den richtigen Adressaten erreichte und ob diese korrekt wahrgenommen

wurde.

Bei der Betrachtung eines Feedbackvorgangs, unabhängig von seinem auslösenden Kommunikationsvorgang, besitzt dieser die gleichen Eigenschaften wie ein einseitiger Kommunikationsvorgang. Der einzige Unterschied ist, dass die Kommunikationspartner ihre Rollen tauschen. Damit unterliegt der Vorgang denselben Kommunikationsfehlern. Dieser Sachverhalt gewinnt an Gewicht, wenn man bedenkt, dass in sicherheitskritischen Systemen das Feedback ein wichtiges Werkzeug des Kontrollprozesses von Kommunikation darstellt und deswegen mit besonderer Sorgfalt behandelt werden sollte.

Mit dem Instrument der Rückmeldung ist der Sender in der Lage zu überprüfen, ob die versendete Nachricht richtig verstanden wurde. Das Verständnis liegt dann vor, „wenn der Rezipient eine ihm mitgeteilte Aussage so versteht, wie sie vom Kommunikator gemeint ist“ [Bur98, S.75].

Im Falle des *Nichtverstehens* und des *Missverstehens* auf der gegenständlichen Ebene (siehe auch Abschnitt 6.3.3) kann eine Rückmeldung helfen, Fehler, die solche Eigenschaften aufzeigen, aufzulösen und damit das semantische Rauschen einer Nachricht möglichst niedrig zu halten. Die einfachste Methode wäre, wenn der Sender, um Klarheit zu bekommen wie seine Nachricht verstanden wurde, eine entsprechende Anfrage stellen würde. Eine andere Qualität von Problemen im Bereich des Feedbacks wurde in der Fallstudie von Chassin unter dem Titel „Wrong Patient“ beschrieben, in aufgrund von inkorrekten Informationen ein falsches Feedback oder gar kein Feedback zwischen dem Personal erfolgte [CB02]. Die Abbildung 6.3 stellt die einzelnen Probleme, die direkt mit dem Feedback verbunden sind, dar.

Auf der Y -Achse befinden sich Kürzel von Personen, die in der Fallstudie miteinander kommunizieren. Die X -Achse, ein Zeitstrahl, soll verdeutlichen, dass die Ereignisse nacheinander erfolgten. Zur Verallgemeinerung werden in der Graphik keine genauen Zeitpunkte festgehalten. Im rechten Teil der Graphik werden mit einer Legende die Rückmeldungsfehler erläutert. Chassin beschreibt in seiner Fallstudie unter anderem Situationen, in denen kein adäquates Feedback seitens der Patienten erwartet wurde, und nachdem solches kam, wurde es ignoriert (siehe in der Abbildung 6.3 Vorgang Nr. 3 und 6). Weiterhin wurden Situationen festgestellt, in der Krankenhauspersonal falsches (Vorgang Nr. 1 und 9) oder gar kein Feedback geleistet hat (Vorgang Nr. 4, 7 und 8).

Die Kommunikation funktionierte in diesem Team so schlecht, dass sogar ein Feedback mit inkorrekten oder unvollständigen Daten nicht bemerkt wurde. Die sogenannte Gegenprobe (engl. Cross Check) brachte keinen Erfolg. Die vollständige Beschreibung der Ereignisse, die während der Fallstudie stattfanden, wurden im Abschnitt 7.2 beschrieben.

In Mensch-Maschine-Systemen spielt das Feedback des technischen Systems eine besondere Rolle. Früher erfolgte die Kontrolle der Systeme mechanisch und der Operator befand sich in der unmittelbaren Nähe des Systems. Zum Beispiel Lokführer einer Dampflokomotive. Eine direkte Wahrnehmung der physischen Veränderungen, wie

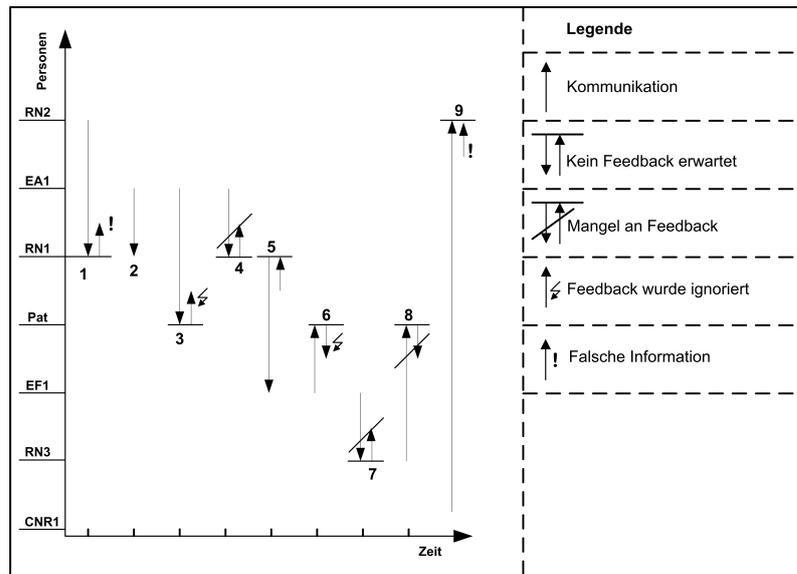


Abbildung 6.3.: Beispiele von fehlerhafter Rückkopplung

Temperatur, Vibration etc. in Verbindung mit Anzeigegeräten, gab der Aufsichtsperson eine reichhaltige Information über den Zustand des technischen Systems. Das Ablösen von mechanischen Kontrollgeräten durch elektronische ermöglichte einerseits das Steuern eines Prozesses aus einer größeren Entfernung. Cook spricht in diesem Zusammenhang von der Lockerung der physischen Begrenzungen [Coo96]. Andererseits gehen Informationen über den Prozess und den Zustand des technischen Systems wegen der Entfernung vom tatsächlichen Geschehen verloren. Das mentale Modell des Benutzers kann unter solchen Umständen mit dem Zustand des technischen Systems, wie Navigationssystem eines Flugzeugs oder Blutdruckpumpe, [Deg04] divergent sein und zu falschen Entscheidungen führen.

Mit dem technischen Fortschritt der Informations- und Kommunikationstechnologie verzeichnet die Automatisierung in sicherheitskritischen Systemen, wie etwa im Cockpit eines modernen Flugzeugs, eine kontinuierliche Zunahme der Komplexität. Die benötigte hohe Funktionalität der Cockpitsteuerungselemente zusammen mit dem beschränkten Raum stellen die Entwickler der interaktiven Geräte vor einer nicht zu unterschätzenden Herausforderung. Die Navigationsgeräte in einem Cockpit werden zum Beispiel mit multiplen Funktionen überlagert (Moduslogik). Dies wiederum erhöht den Anspruch an die kognitiven Leistungen eines Piloten, was zu Interpretationsschwierigkeiten führen kann.

Ähnliche Probleme sind aus anderen Bereichen der Industrie bekannt. So zeichnet zum Beispiel die Integration von nautischen Unterstützungssystemen in den letzten Jahren eine stark technikzentrierte Entwicklung ohne den Parameter Mensch zu berücksichtigen [JSH08]. Eine sensible Komponente stellt dabei eine Schiffsbrücke dar, von der der gesamte Betrieb des komplexen soziotechnischen Systems Schiff gesteu-

ert wird. Zwar ist die Automatisierung direkt mit einem wirtschaftlichen Gewinn verbunden, weil die Schiffe mit viel kleineren Mannschaften auskommen, dies kann aber zur Verringerung der Sicherheit auf einem Schiff in kritischen Situationen, in denen jede Hand gebraucht wird, führen. Oft wird eine voll integrierte Schiffsbrücke nur von einem Nautiker bedient und ein *cross check* mit einem anderen Nautiker ist nicht möglich. So bilden fehlende Standards in der Schiffsbrückengestaltung und Unzulänglichkeiten in der Mensch-Maschine Interaktion auf den Schiffsbrücken einen Nährboden für falsche Situationswahrnehmungen, die in gefährlichen Situationen und Unfällen münden [Sch04a].

Damit das Feedback angemessen gestaltet wird und aus relevanten Informationen von einem Display korrekte Rückschlüsse gezogen werden, sind Analysen von soziotechnischen Systemen bezüglich der Informationen wie auch der Kommunikation nötig. Um dies zu gewährleisten, werden Entwurfsmethoden und Analysewerkzeuge für die Unterstützung der Systemdesigner entwickelt, mit denen bereits in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses möglich ist, Probleme des Feedbacks aufzudecken. Nicht selten bedienen sich Entwickler Methoden, die auf Erkenntnissen aus der kognitiven Psychologie basieren. So wird zum Beispiel mithilfe eines kognitiven Pilotenmodells die Interaktion zwischen Piloten und Cockpitsystemen, wie zum Beispiel eines neuen Navigationssystems, mittels Simulation untersucht [FML08].

Ein anderes Vorgehen verfolgt Nancy Leveson mit der Methode STAMP (siehe auch Abschnitt 5.2.1), die an dem Massachusetts Institute of Technology's (MIT) entwickelt wurde. Die Methode basiert auf der Systemtheorie, und ihre Grundidee ist, dass kritische Situationen ihren Ursprung in inadäquaten Kontrollmechanismen eines soziotechnischen Systems nehmen. In STAMP werden als erstes die soziotechnischen Kontrollstrukturen eines Systems aufgestellt, und dann mithilfe eines *Feedback-Control-Modells* systematisch Faktoren, die Schwachstellen eines Systems bewirken, aufgedeckt [Lev04]. In den veröffentlichten Analysen von sicherheitskritischen Systemen, wie Wasserversorgungsanlagen [LDDM03] oder Friendly-Fire [LAS02], ist zu erkennen, dass ein nicht adäquat behandeltes Feedback zur Zerstörung von Systemen führte und Menschen das Leben kostete.

Redundanz in der Kommunikation

Das Wort Redundanz wurde aus dem lateinischen Begriff *redundante* abgeleitet und bedeutet im Überfluss vorhanden sein. In der Informationstheorie wird der Begriff der Redundanz verwendet um ein *Informationsüberschuss* zu bezeichnen. Eine passende Definition des Begriffs kommt aus dem Lexikon der Psychologie: „Redundanz ist das Maß für denjenigen Teil einer Information, um den diese reduziert wurde oder reduzierbar ist, ohne deren Inhalt zu beschränken oder zu verstümmeln; von großer Bedeutung in der Informationstheorie, da durch verminderte Redundanz Infokanäle besser genutzt werden können; andererseits schützt Redundanz vor Informationsverlust durch unvorhergesehene Störungen.“ [LB95, S. 407]. Aus der Definition geht

demnach hervor, dass, wenn eine Nachricht eine redundante Information enthält, diese weggelassen werden kann, ohne einen Informationsverlust in dieser Nachricht zu verursachen. Diese Information bildet Teil Nachricht, der bereits vorhanden war.

Der Kommunikationswissenschaftler Paul Watzlawick setzt den Begriff der Redundanz dem Begriff der Struktur einer Kommunikation gleich, in dem er schreibt „*Im Sinne der Informationstheorie kann man auch sagen, dass stochastische (den Zufall betreffende) Prozesse Redundanz zeigen - ein Begriff, der mit dem bereits häufiger verwendeten Begriff der Struktur praktisch gleichbedeutend ist.*“ [Wat07]. Dies ist jedoch nicht gleich der Bedeutung, die sich auf das mehrfache Vorhandensein einer Aussage, Information oder Eigenschaft bezieht. In dieser Ausarbeitung ziehe ich vor, den Begriff der Redundanz gleich ihrer ursprünglichen Bedeutung, die aus der Informationstheorie stammt, zu verwenden und die Definition von Watzlawick abzulehnen.

Redundanz spielt in der zwischenmenschlichen Kommunikation eine besondere Rolle. Vor allem während eines persönlichen Kontakts erwarten wir, außer der rein sprachlichen Mitteilung, zusätzlich Gestik und Mimik seitens unseres Kommunikationspartners, um seine Nachrichten möglichst natürlich zu empfangen. Der Einsatz des Körpers, zusätzlich zu der gesprochenen Sprache, ist für uns eine Selbstverständlichkeit. Wir nutzen unsere zusätzlichen Kommunikationskanäle, um unsere Aussagen prägnanter darzustellen und sie unseren Kommunikationspartnern deutlicher zu präsentieren.

In sicherheitskritischen Systemen werden funktional gleiche oder vergleichbare Ressourcen wie Motoren, Steuereinheiten und Navigationsgeräte eingesetzt, um die Korrektheit einer Anzeige oder beim Eintritt einer Störung den Dienst von redundanten Systemen in Anspruch zu nehmen. In einem Cockpit werden zum Beispiel Informationen über die Höhe, Richtung und Geschwindigkeit des Flugzeugs auf mehreren Geräten angezeigt, um dem Piloten bereits während des Normalbetriebs die Möglichkeit zu geben, zu überprüfen, ob die Fluginformationen des Flugzeugs übereinstimmen. Auch bei Kommunikationsvorrichtungen in solchen Systemen werden einem Empfänger Informationen auf verschiedenen Wegen (Kommunikationskanälen) mitgeteilt, um sicher zu gehen, dass der Empfänger die Nachricht auf jeden Fall bekommt.

Redundanz ist ein praktisches Hilfsmittel, um die Sicherheit in einem System zu erhöhen. Die Zuverlässigkeit der Kommunikation wird mit der zahlenmäßigen Erhöhung der redundanten Kommunikationskanäle oder Verlängerung einer Nachricht erkauft. Das Erhöhen der Redundanz wie auch eine Verlängerung einer Nachricht steigert auch die Komplexität und damit die Grenzwertigkeit eines Systems. Charles Perrow verweist in seinem Buch *Theorie der normalen Unfälle* mit zahlreichen Beispielen aus der Industrie auf das Problem der Redundanz und zeigt wie schwierig es für Menschen ist, Systeme mit hoher Komplexität zu beherrschen [C.92]. Perrow plädiert für das Vereinfachen der Systeme und es müsse einzeln abgewogen werden, wie wichtig eine Erhöhung der Redundanz sei. Bringt sie die erhoffte Verbesserung

in der Kommunikation und wird die Möglichkeit der zusätzlichen Informationsmitteilung auch entsprechend genutzt? Erst dann kann darüber entschieden werden, ob die Redundanz ihre vorgesehene Funktion erfüllt. Die im Abschnitt 3.1.2 dargestellte Graphik 3.2 zeigt deutlich wie die Vulnerabilität eines Systems mit der Erhöhung der Interaktion zusammen mit der Kopplung eines Systems zunimmt.

Die redundante Modellierung der Kommunikationsvorgänge wird aufgrund ihrer Wichtigkeit für sicherheitskritische Systeme in das Kommunikationsmodell übernommen. Es soll möglich sein mehrere Kommunikationsvorgänge, die die gleiche Informationen vermitteln, zu modellieren. In der Modellierungsumgebung AMBOSS wird redundante Kommunikation durch mehrfache Darstellung der Kommunikationsvorgänge zwischen den gleichen Aufgaben-Knoten modelliert. Es bleibt jedoch nicht direkt erkennbar, welche Kommunikationsvorgänge zu welchen redundant bleiben.

6.4.4. Trigger

Beim Modellieren von Aufgaben, die in einer bestimmten oder beliebigen Reihenfolge durchgeführt werden, stellt sich die Frage: Was veranlasst einen Akteur das Bearbeiten einer bestimmten Aufgabe zu starten? Eine anfängliche Antwort ist: Weil die vorherige Aufgabe bereits beendet wurde. Dies ist oft lediglich eine Vorbedingung und gibt keine ausreichende Antwort bezüglich eines tatsächlichen Auslösers einer Aufgabe. Eine weitere Möglichkeit, die vorherige Frage zu beantworten, wäre anzunehmen, dass ein Akteur über ausreichendes Wissen über das System verfügt und dies allein ihn legitimiert, solche Entscheidungen, wie starten und stoppen von Tätigkeiten zu treffen. Diese Annahme lässt allerdings die Dynamik eines Systems außer Acht, und macht allein einen Akteur für das Aktivieren verantwortlich. Eine angebrachte Sicht wäre anzunehmen, dass ein Akteur in der Lage ist, auf bestimmte Veränderungen seiner Umgebung zu reagieren und erst diese Veränderung zusammen mit seinem Wissen ihn dazu verleitet, bestimmte Tätigkeit zu starten, zu beenden oder anders zu gestalten.

In diesem Abschnitt soll verdeutlicht werden was ein Trigger ist und warum das Phänomen berücksichtigen werden soll. Darüber hinaus soll verdeutlicht werden inwieweit Kommunikation als Trigger agieren kann und wie ein Auslöser in einem Aufgabenmodell unter Berücksichtigen von Kommunikation modelliert werden kann. Desweiteren sollen Vorteile, die das Auslöser-Konzept für die Methode mit sich bringt, erläutert werden.

Beim Erstellen eines hierarchischen Aufgabenmodells ist es notwendig, die temporalen Operatoren zu nutzen, um die zeitlichen Relationen zwischen den Aufgaben bezüglich ihrer Reihenfolge zu beschreiben. Modelliert man zum Beispiel eine strikte Reihenfolge von Aufgaben, so wird der Operator, der eine Sequenz (*bei AMBOSS ist das „SEQ“*) symbolisiert, im Aufgabenmodell verwendet. Vor dem Hintergrund, warum eine weitere Aufgabe gestartet wird, wird in Modellen, in denen die Abfolge

von Aufgaben lediglich mit den temporalen Operatoren modelliert wird, abstrahiert. In mächtigeren Aufgabenmodellen, in denen zusätzlich der Mechanismus des Triggers modelliert werden kann (wie zum Beispiel bei Euterpe), ist der Modellierer in der Lage, die Interaktion eindeutiger zu beschreiben und eine Aussage darüber zu treffen *warum* eine Aktion ausgeführt wird [Dix93]. Trigger sind jedoch nicht nur dafür wichtig die Interaktion in einem System zu verstehen, sondern auch, weil sie Verweise über potentielle Schwachstellen in einem System liefern. Sollte ein Trigger zum Beispiel nicht vorkommen, so ist es möglich, dass eine entsprechende Aufgabe nicht ausgeführt wird. Die gleichen Probleme kommen vor, wenn ein Trigger von einem Akteur nicht wahrgenommen wird. Wenn ein Akteur mehrere ähnliche Trigger empfängt, ist es möglich, dass aufgrund einer Verwechslung und einer falschen Entscheidung, eine Aufgabe falsch durchgeführt wird.

Im Bereich des Workflow-Managements ist das Konzept des Triggers bereits weit verbreitet. Joosten schlägt das Modellieren des Triggers als eine Technik vor, um die Relationen zwischen den einzelnen Komponenten eines Arbeitsflusses aus der organisatorischen Perspektive zu untersuchen [Joo94]. Derselbe Autor empfiehlt eine passende Definition des Triggers. Ein Trigger ist demnach ein Ereignis e (engl. *event*), das eine Aktivität a auslöst, wenn das Auftreten von e sich als eine Ursache für das Durchführen von a herausstellt. Unter Berücksichtigung, dass beim Nachrichtenaustausch zwischen zwei Kommunikationspartnern die mitgeteilte Information als ein Auslöser (*Trigger*) für die Aufgabe des Rezipienten agieren kann, wird diese Definition in dieser Ausarbeitung beibehalten.

In einzelnen Schritten sieht ein Kommunikationsvorgang, in dem eine Nachricht mit der erhaltenen Information, die als ein Trigger fungiert, wie folgt aus: als erstes erfolgt das Kreieren und Versenden einer Nachricht. Nach dem Versenden wird die erhaltene Nachricht vom Akteur wahrgenommen. Als nächstes startet ein Prozess, in dem Entscheidungen des Akteurs bezüglich der Information getroffen werden (siehe dazu auch Abschnitt 4.2.2 und 4.2.3). Dies ist ein kognitiver Vorgang, in dem ein Adressat mithilfe seines Wissens darüber entscheidet, ob die von ihm erhaltene Nachricht einen entsprechenden Informationsgehalt aufweist, um eine anstehende Aufgabe (oder Tätigkeit) anzufangen. Zeigt sich die Entscheidung als positiv, fungiert die erhaltene Information als Auslöser einer Aufgabe. Derartige Informationen werden entsprechend verarbeitet und die anstehende Aktivität einer Aufgabe kann beginnen. Diese Sicht harmoniert mit der Klassifikation von Triggern, die von Dix und seinen Kollegen vorgeschlagen wurde. Dabei wurden fünf unterschiedliche Kategorien aufgestellt [DREW03]:

- *immediate* tritt auf, wenn eine Aktivität sofort startet, nachdem die vorherige Aktivität beendet wurde.
- *temporal* kommt vor, wenn Aktionen in regelmäßigen Abständen vorkommen oder nach einem bestimmten Aufenthalt (engl. *delay*)

- *sporadic* entsteht, wenn die verantwortliche Person sich an eine Aktion erinnert, die durchgeführt werden soll.
- *external event* passiert aufgrund eines Signals (z.B.: elektronischer Kalender) oder eines externen Ereignisses (z.B.: ein Anruf, mündliche Anfrage, die von Angesicht-zu-Angesicht passiert, Empfangen einer Nachricht, ein Ereignis in der Umwelt des Akteurs).
- *environmental cue* zeigt Sachen in der Umgebung auf, die darauf hinweisen, dass etwas gemacht werden soll. Es können explizite aufgeschriebene Notizen sein, wie zum Beispiel eine *To do Liste* oder implizite Notizen wie eine unbeantwortete E-Mail oder Brief, der immer noch in der Schreibmaschine steckt.

Die drei ersten Kategorien sind eng mit dem zeitlichen Geschehen verbunden. Die zwei weiteren beziehen sich auf Änderungen in der Umgebung des Akteurs. Kritik, der sich diese Klassifikation stellen muss, ist, dass einige vorgeschlagenen Trigger schwer zu identifizieren sind und damit auch ihre Zuordnung. Dies gilt vor allem für Trigger, die nicht direkt beobachtbar sind. Zum Beispiel, wenn jemand sich sporadisch an etwas erinnert und aufgrund dessen eine bestimmte Aktion durchführt. Trigger, die durch Dritte beobachtbar sind, sind dagegen leichter eindeutig zu entdecken und zu klassifizieren. Dazu gehören unter anderem Trigger aus der *external event* Kategorie, zu der auch Trigger, die von einem Kommunikationsvorgang verursacht werden, gehören.

Die bereits angesprochenen drei ersten Kategorien der Triggerklassen sind eng mit dem Tempo (Geschwindigkeit) der Interaktion verbunden. Das Tempo und damit auch die Dynamik der Interaktion zwischen Menschen wie auch zwischen Menschen und Maschine spielt eine besondere Rolle. Die Dynamik der Auslöser von Aufgaben und Abläufen, sowie die Flexibilität der Aufgabenträger legen das Leistungspotential und die Steuerungserfordernisse eines Systems fest. Feste und genormte Aufgaben lassen sich zeitlich takten, der Ablauf von solchen Aufgaben lässt sich einmal optimal festlegen und bleibt so lange unverändert, so lange keine unvorhergesehenen Abweichungen auftreten [Fis99]. Aufgaben, die dagegen flexibel gestaltet werden und selten nach einer genormten Struktur ablaufen, stellen eine hohe Herausforderung für einen Systemdesigner dar. Ihre Freiheitsgrade können dazu führen ein System aus dem sicheren Zustand zu bringen.

Die wichtigsten Parameter, die sich gegenseitig beeinflussen und deren gemeinsame Abstimmung erst eine erfolgreiche Interaktion garantiert sind nach [DREW03]:

Das grundlegende Tempo eines Kommunikationskanals (wie Telefonleitung, Luft, etc.) sagt wie schnell Informationen mithilfe eines bestimmten Kommunikationskanals übermittelt werden können.

Das interne Tempo einer Aufgabe spiegelt die Geschwindigkeit der Durchführung einer Aufgabe wider. Dabei ist die Dauer, die für das Ausführen einer Aufgabe benötigt wird, eine entscheidende Restriktion.

Das unaffektierte Tempo eines Akteurs bezieht sich auf die Geschwindigkeit, die ein Akteur benötigt, um seine mentalen Aktivitäten (wie Entscheidungen etc.) durchzuführen.

Die Abhängigkeit der unterschiedlichen Tempi zusammen mit der Kommunikation zeigt noch einmal die Graphik 6.4. Die Abbildung verdeutlicht, dass Interaktion in einem Zusammenhang steht mit dem Tempo (Rhythmus) der drei wesentlichen Elemente: Aufgabe, Kommunikationskanal und Akteur.

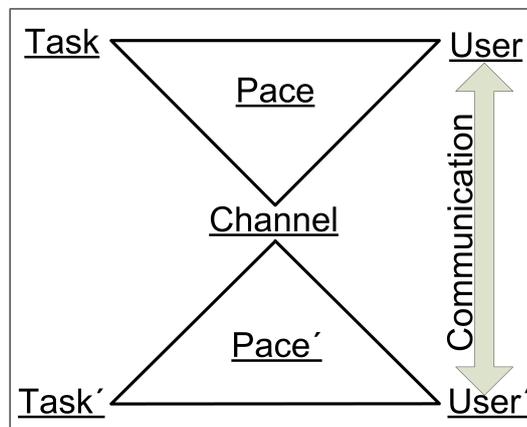


Abbildung 6.4.: Zusammenspiel des internen Rhythmus von Aufgabe, Kommunikationskanal und den Kommunikationspartnern, angelehnt an [DREW03]

Wie bereits angesprochen, ist die Kategorie der *external event* die interessanteste Klasse der Trigger. In dieser Kategorie ist ein Trigger ein externes Ereignis, das das Starten einer Aufgabe verursacht. So ein Ereignis kann zum Beispiel ein Anruf, das Empfangen einer schriftlichen Nachricht in Form einer Mail oder als Fax, aber auch ein persönliches Gespräch sein. Ein Event wurde bereits explizit beim Modellierungsansatz für die kooperative Umgebungsanalyse von Euterpe [VWE98b] in ein Aufgabenmodell integriert. Es wird als eine generelle Änderung eines Zustands in der Aufgabenumgebung definiert. Die Änderung beeinflusst eine Aufgabe, in dem sie diese auslösen kann.

Es kann eine Änderung eines internen Attributs beim Objekt, bei einer Aufgabe, beim Agenten, bei einer Rolle, aber auch bei externen Einflüssen wie Wetteränderung oder Stromversorgung sein. Das Modell von Euterpe lässt jedoch Fragen dahingehend offen, wie ein Event als Trigger entsteht und welcher Art es ist.

In der Modellierungsumgebung AMBOSS lassen sich Kommunikationsvorgänge, die Aufgaben auslösen, als Trigger modellieren. Damit ist der Modellierer in der Lage präzise auszudrücken *warum* eine Aufgabe ausgeführt wird. Weiterhin ist aus dem Modell direkt ersichtlich, welchen Inhalt so ein Trigger besitzt, wer ihn veranlasste und wer ihn empfängt.

6.4.5. Zeit

Im folgenden Abschnitt soll der Einfluss der zeitlichen Komponente auf die Kommunikation in soziotechnischen Systemen erläutert werden. Zuerst wird die zeitliche Dimension definiert und es wird erläutert, warum diese Dimension eine wichtige Rolle in der Kommunikation spielt. Danach werden mithilfe der Zeitintervalle synchrone und asynchrone Kommunikationen zusammen mit den unterschiedlichen Arten der Verbreitung von Informationen vorgestellt. Schließlich wird gezeigt, wie der zeitliche Parameter in ein Aufgabenmodell im Hinblick auf die Kommunikation integriert wird.

Die zeitliche Komponente ist eine bedeutende Dimension für die Kommunikation. Das folgende Beispiel aus der Luftfahrt soll die Integration dieser Komponente in das Kommunikationsmodell bekräftigen. Ein Pilot bekommt, während eines Fluges, von ATC⁷ Informationen, die ihm helfen, Kollisionen mit anderen Flugzeugen zu vermeiden. Die Informationen über Höhe, Geschwindigkeit und Richtung muss ein Pilot bis zu einem bestimmten Zeitpunkt kennen. Erreichen ihn die Informationen zu spät, sind diese für ihn nutzlos, da jetzt das technische System Informationen über ein sofortiges Ausweichmanöver liefert. Diese Informationen besitzen nun die höchste Priorität. Informationen in sicherheitskritischen Systemen, wie das Beispiel zeigte, unterliegen oft strikten zeitlichen Restriktionen. Die praktische Konsequenz ist die Integration der Zeit in das Aufgabenmodell.

Definition von Zeit In den Naturwissenschaften bildet die Zeit eine fundamentale Dimension unseres Universums. Sie ist eine grundlegende und messbare Größe. Die Zeit bildet zusammen mit dem Raum das Kontinuum, in dem jegliches materielle Geschehen stattfindet. Diese Größe dient dazu, die Dauer und die Reihenfolge von Vorgängen, die im Zeit-Raum-Kontinuum stattfinden, zu bestimmen. In der klassischen Physik wird die Zeit als eine Folge von Punkten, die den Zeitraum bilden, definiert. Jeder Zeitpunkt ist mit einem eindeutigen Wert belegt. Die Anordnung der Zeitpunkte in diesem (eindimensionalen) Raum richtet sich dabei nach ihrem Wert. Das Konzept der Wahrnehmung eines Zeitpunktes als einen früheren oder einen späteren Zeitpunkt ist direkt von dem jeweiligen Wert eines Zeitpunktes abhängig. Ein genereller Anfangspunkt und ein Endpunkt der zeitlichen Dimension können nicht bestimmt werden.

⁷Air Traffic Control (ATC) - Bodenkontrolle des Luftverkehrs

Diese Definition der Zeit, die auch für die weiteren Untersuchungen der Kommunikation übernommen wird, ist vereinbar mit der Sicht der traditionellen Psychologie, Thermodynamik wie auch der modernen Astrophysik [Haw88].

Um die Kommunikation bezüglich der Zeit zu beschreiben, ist es nötig zuerst ein zeitliches Ereignis und ein Zeitintervall zu definieren. Festzuhalten ist, dass wenn ein Ereignis passiert, so passiert es *in* der Zeit. Das heißt, dass zwischen jedem Ereignis eine Assoziation zu einem Zeitpunkt aus der Menge von Zeitpunkten, besteht. Diese Relation ermöglicht festzustellen, *wann* ein Ereignis in der zeitlichen Dimension passierte.

Um einen formalen Charakter zu behalten wird als nächstes eine Zuordnung Θ definiert. Es sei $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ eine Menge von Ereignissen und Θ eine Abbildung, die jedem Ereignis einen Zeitpunkt, das heißt einen Wert aus der Menge der nicht negativen reellen Zahlen $\mathbb{R}_{\geq 0}$ zuordnet, also $\Theta : E \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$. Die reellen Zahlen sind größer als 0, demnach kann rein gedanklich die Null als der Urknall gesehen werden.

Auf diese Art und Weise lässt sich definieren, wann ein Ereignis in der zeitlichen Dimension passiert. Nun ist es möglich zu bestimmen, wann ein Kommunikationsvorgang als Ereignis *in* der Zeit stattfand. Für weitere Überlegungen wird definiert, dass ein Kommunikationsvorgang ein Ereignis ist, das zu einem Zeitpunkt, in dem eine Information den Empfänger erreicht, passiert.

Von der Frage nach der Dauer der Übertragung eines Kommunikationsvorgangs wird abgesehen. Es wird angenommen, dass die *reine* Dauer der Übertragung von Informationen sehr klein ist und vernachlässigt werden kann.

Ein weiterer Sachverhalt, mit dem das Kommunikationsmodell angereichert werden soll, ist die Möglichkeit eine Aussage darüber zu treffen, ob die Kommunikation *synchron* oder *asynchron* stattfindet. Das heißt, es soll möglich sein die Frage zu beantworten, ob sich beide Kommunikationspartner zum gleichen Zeitpunkt an einer Kommunikation beteiligen oder nicht. Um dies zu modellieren, ist es zuerst nötig ein Intervall in der Dimension der Zeit zu definieren.

Ein Zeitintervall ist eine geordnete Menge von Zeitpunkten. Diese geordnete Menge besitzt einen eindeutig spezifizierten Anfangs- und einen Endzeitpunkt. Eine formale Definition eines Zeitintervall T mithilfe eines Paares von Zeitpunkten $[t_1, t_2]$ sieht wie folgt aus:

$$T = \{t | (t \geq t_1) \wedge (t \leq t_2)\}$$

Mit zwei Projektionsfunktionen A, E auf ein Zeitintervall T können der Anfangs- und der Endpunkt $[t_a, t_e]$ eines Zeitintervalls bestimmt werden.

$$A(T) = t_a \quad \text{und} \quad E(T) = t_e$$

Dabei ist zu beachten, dass die Projektionsfunktion $A(T)$ einen Zeitpunkt mit dem kleinsten Wert aus einem Zeitintervall und die Projektionsfunktion $E(T)$ einen Zeitpunkt mit dem größten Wert aus einem Zeitintervall bestimmt. Mithilfe von den

Zeitintervallen ist es nun möglich die synchrone und die asynchrone Kommunikation zu definieren.

Synchrone Kommunikation Eine natürliche Art von uns Menschen zu kommunizieren ist ein persönliches Gespräch. Dies kann etwa von Angesicht zu Angesicht, per Telefon oder während einer Videokonferenz stattfinden. In Bezug auf die zeitliche Dimension sind in solchen Situationen (meistens) beide Gesprächspartner, der Sender, wie auch der Empfänger, gleichzeitig an dem Geschehen *mental* beteiligt. Genauer gesagt, die besondere Eigenschaft solcher Kommunikation ist, dass es einen gemeinsamen Zeitpunkt t_{aktiv} gibt, dem beide Kommunikationspartner ihre Kommunikation als solche wahrnehmen und daran aktiv partizipieren. In der Literatur wird ein Zustand der mentalen Anwesenheit von beiden Kommunikationspartnern als gegenseitige Wahrnehmbarkeit bezeichnet [Mer99].

In einem Aufgabenmodell wird eine synchrone Kommunikation dann modelliert, wenn Zeitintervalle von Aufgaben, die von beiden Kommunikationspartnern ausgeführt werden, eine gemeinsame Schnittmenge in Form eines Zeitintervalls T_{aktiv} bilden. In diesem Zeitintervall T_{aktiv} sind beide Kommunikationskontrahenten *aktiv* an dem Austausch von Botschaften beteiligt. In der Modellierungsumgebung AMBOSS ist der Modellierer in der Lage einen Kommunikationsvorgang, der zu einer synchronen Kommunikation gehört, als solchen zu markieren. Damit kann man erkennen, bei welchen Aufgaben sich die Akteure synchronisieren. Synchrone Kommunikation, die durch unterschiedliche Akteure durchgeführt wird, kann folgendermaßen formalisiert werden:

$$T_1 \text{ synchron } T_2 \leftrightarrow \exists t_{aktiv} : ((t_{aktiv} \in T_1) \wedge (t_{aktiv} \in T_2)) \quad \text{oder einfacher: } T_1 \cap T_2 \neq \emptyset$$

Die Intervalle T_1 und T_2 symbolisieren dabei die Zeitintervalle, in denen Akteure an der Kommunikation *aktiv* partizipieren. Während der *asynchronen* Kommunikation sind diese disjunkt. Die Definition von synchroner Kommunikation setzt voraus, dass Aufgaben ein bestimmtes Zeitintervall in Anspruch nehmen. Da Aufgaben ein materielles Geschehen darstellen, steht diese Annahme in keinem Konflikt zu der vorgestellten Definition der Zeit.

Asynchrone Kommunikation Nachdem die synchrone Kommunikation erläutert wurde, soll nun die asynchrone Kommunikation definiert werden. Während der asynchronen Kommunikation gibt es keinen gemeinsamen Zeitpunkt t_{aktiv} , zu dem eine gleichzeitige gegenseitige Wahrnehmbarkeit der Kommunikationspartner vorhanden ist. Die Akteure können sich demnach nicht direkt, während der Kommunikation synchronisieren. Das Phänomen kann wie folgt formalisiert werden:

$$T_1 \text{ asynchron } T_2 \leftrightarrow \neg \exists t_{aktiv} : (((t_{aktiv} \in T_1) \wedge (t_{aktiv} \in T_2))) \quad \text{oder einfacher: } T_1 \cap T_2 = \emptyset$$

Für solche Art der Kommunikation ist es nötig, dass den Kommunikationspartnern ein entsprechendes technisches System zur Verfügung steht. Das technische System muss die Eigenschaft besitzen Botschaften so lange abzuspeichern bis der Adressat diese wahrnimmt.

Verbreitungseffekte der Informationen Das zuletzt beschriebene Phänomen, das asynchrone Kommunizieren, wird mit Medien wie Fax, E-Mail, Zeitung oder Brief durchgeführt. Je nachdem, ob das Lenken der Kommunikation beim Empfänger oder beim Sender liegt, wird von dem Push- oder dem Pull-Effekt gesprochen.

Der Push-Effekt beschreibt das Verbreiten von Informationen, welches in der Verantwortung des Senders liegt. Der Empfänger wird über einen definierten Kommunikationskanal über Neuerungen informiert. Nach dem Versenden einer Nachricht ist der Kommunikationsvorgang seitens des Senders abgeschlossen. Es wird auch kein Feedback vom Empfänger erwartet. Die Kommunikationspartner sind nicht in der Lage sich unter Verwendung desselben Kommunikationskanals zu synchronisieren. Die Möglichkeit der Synchronisation steht hier nicht im Vordergrund. Die primäre Aufgabe eines Senders bei diesem Kommunikationsmechanismus ist vielmehr das Bereitstellen von Informationen.

Ein gelungenes Informationssystem, für das das Push-Verfahren genutzt wird, ist zum Beispiel das seit 2005⁸ aktive *Visual Paging System* auf dem Flughafen in San Francisco. Das besondere Informationssystem besteht aus einer Reihe von Monitoren, die auf dem Gelände des Flughafens platziert wurden. Die Monitore enthalten schriftliche Nachrichten, die bis dahin nur per Lautsprecher auf dem Flughafen angesagt wurden. Bei einem Notfall ist es möglich auf den Displays, wie auch auf allen anderen Fernsehbildschirmen, die bis vor kurzem noch für die Unterhaltung der Passagiere genutzt wurden, eine Warnung auszustrahlen. Die Nachrichten werden je nach Bedarf in mehreren Sprachen eingeblendet und zusätzlich, wie bisher, durch die Lautsprecher angesagt. Schwerhörige und gehörlose Passagiere, die sich gerade auf dem Gelände des Flughafens befinden, können auf diesem Wege geschriebene Informationen wahrnehmen und entsprechend reagieren. Dank solcher intelligenter *Push-Systemen* lässt sich das Verbreiten von Informationen schnell und effektiv kommunizieren, gleichzeitig erlauben solche Systeme behinderte Menschen besser in das tägliche Geschehen zu integrieren.

Ein besonderer Fall kommt zu Stande, wenn ein Empfänger, unabhängig vom Sender, auf eine Botschaft aktiv wartet. Kommt die Botschaft zum Zeitpunkt des Wartens, so ist der Empfänger in der Lage unverzüglich mit dem Durchführen seiner Aufgabe anzufangen. Das *Pushen* der Botschaft agiert in einem solchem Fall wie ein Trigger. Ein Beispiel wäre eine SMS oder ein aktiver E-Mail Client.

Der Gegenpol zum *Push-Effekt* bildet der *Pull-Effekt*. Bei einem Pull-Effekt handelt es sich um einen Kommunikationsmechanismus in dem der Empfänger in der

⁸<http://www.raggededgemagazine.com/departments/news/000680.html>

Hol-Schuld steht und verpflichtet ist selbst aktiv zu werden, um eine Nachricht zu empfangen. Der Empfänger selbst bestimmt den genaueren Zeitpunkt, zu dem die Nachrichten abgeholt und wahrgenommen werden. Er ist daher in der Lage den Kommunikationsfluss so zu steuern, dass die Informationen nach Bedarf abgerufen werden. Die Nachrichten werden, oft ohne einen konkreten Empfänger zu nennen, *bereitgestellt* und vom Empfänger *gezogen*. Ein Artefakt, das für eine solche Informationsverbreitung geeignet ist, ist zum Beispiel die Sonntagszeitung, die in einem Postkasten abgelegt wird. Der Postkasten ist in diesem Beispiel ein Container. In dem Container, liegt die Zeitung so lange, bis sie vom Adressaten zum Frühstück abgeholt wird. Dieses Medium, ähnlich zu anderen Massenmedien, ist ein unidirektionales Medium. Weitere Beispiele hierfür sind Internetforen, Blogs oder Twitter.

Einfluss des Parameters Zeit auf Fehler in der Kommunikation Zeitliche Abstimmung der Kommunikationsvorgänge spielt in den sicherheitskritischen Systemen eine besondere Rolle. Wenn wichtige Informationen zu früh oder zu spät gesendet, beziehungsweise empfangen werden, so kann es sein, dass bestimmte Einstellungen (z.B. Höhe eines Flugzeugs) nicht rechtzeitig erfolgen und dadurch kritische Situationen hervorgerufen werden.

Nachrichten, die in einem Kommunikationsvorgang *zu früh* übermittelt wurden, können vom Empfänger, bevor er diese umsetzt, vergessen werden. Vor allem dann, wenn zwischen dem Empfang einer Nachricht und dem eigentlichen Einsatz der empfangenen Informationen viel Zeit vergeht und kein geeignetes Artefakt, mit dem die Informationen gesichert werden konnten, zur Verfügung stand. Die Folge ist, dass die Informationen zwar übermittelt wurden, bei dem Akteur aber aber zum entsprechendem Zeitpunkt nicht mehr verfügbar waren und so nicht verwendet werden können.

Bei Informationen, deren Inhalt sich dynamisch ändert, spielt der zeitliche Aspekt eine besonders wichtige Rolle. Informationen mit dynamischem Inhalt, die zu früh kommuniziert wurden, können oft zum Zeitpunkt des Empfangens in Prozeduren nicht eingesetzt werden, da ihre Werte *noch* nicht gültig sind. Zum verspätetem Zeitpunkt auch nicht, da sich die Umstände in einem dynamischen System bereits geändert haben. Das soziotechnische System befindet sich möglicherweise in einem Zustand, in dem die Werte bereits veraltet und damit nicht mehr verwendbar sind.

Das Problem kann an einem Beispiel aus der Luftfahrt veranschaulicht werden. Um das Umprogrammieren eines modernen Navigationssystems beim Umfliegen eines Schlechtwetterbereiches zu ermöglichen, braucht ein Pilot Informationen, welche ihm erst ab einem gewissen Zeitpunkt zur Verfügung stehen. Beispielsweise kann der Pilot aufgrund der Geometrie des Radarstrahls seines Wetterradars, sowie der vorhandenen Erdkrümmung in Relation zur Flughöhe das Schlechtwettergebiet (Gewitterzelle) nicht aus beliebiger Entfernung orten. Das Errechnen der Ausweichkoordinaten kann z.B. nur in einem Bereich von 80 NM (nautischen Meilen) vor dem

Gewitter stattfinden und muss dennoch so rechtzeitig abgeschlossen sein, dass dem Piloten noch Raum für das zu programmierende Ausweichmanöver bleibt. Dies kann bei einem mindestens einzuhaltenen Sicherheitsabstand zum Gewitter von z.B. 20 NM und einem Kurvenradius von 15 NM dazu führen, dass der Pilot zwischen dem ersten Erscheinen eines verwertbaren Radarbildes bis zum letztmöglichen Zeitpunkt eines Ausweichmanövers eine Distanz von 45 NM zur Verfügung hat, was in etwa einem Zeitfenster von 4 bis 6 Minuten entspricht.

Zeitparameter im Kommunikationsmodell In der Modellierungsumgebung AMBOSS ist der Benutzer bereits während des Modellieren in der Lage Kommunikationsvorgang als Teil der synchronen oder asynchronen Kommunikation zu markieren. In AMBOSS wurde darauf verzichtet weitere explizite Informationen zu der zeitlichen Abfolge einer Kommunikation anzugeben. Mögliche Angaben bezüglich zweier Zeitintervalle T_1 und T_2 , während zwei Akteure kommunizieren sind:

- T_1 vor T_2 ; Ein Akteur beendet das Kommunizieren, bevor der andere Kommunikationspartner seine Kommunikation anfängt.
- T_1 trifft T_2 ; Ein Empfänger fängt mit dem Empfangen von Nachrichten an, direkt nachdem der Sender aufgehört hat zu senden.
- T_1 gleichlang zu T_2 ; Die Kommunikationszeiten von beiden Partnern sind gleichlang.
- T_1 überlappend mit T_2 ; Beide Intervalle der Kommunikation weisen ein gemeinsames Zeitintervall auf.
- T_1 während T_2 ; Das Zeitintervall für das Kommunizieren des einen Kommunikationspartners liegt innerhalb des anderen.
- T_1 startet mit T_2 ; Beide Kommunikationspartner starten gleichzeitig.
- T_1 endet mit T_2 ; Beide Kommunikationspartner hören gleichzeitig auf zu kommunizieren .

Die einzelnen Relationen können der synchronen und asynchronen Kommunikation zugeordnet werden. Die ersten zwei Fälle ermöglichen asynchrone Kommunikation, der Rest der Relationen zwischen zwei Zeitintervallen ermöglicht eine synchrone Kommunikation. Dies ist Dank des gemeinsamen zeitlichen Intervalls möglich, während dessen die gegenseitige Synchronisation durchgeführt werden kann. Das Verankern der einzelnen Relationen in einem Kommunikationsmodell ermöglicht ein genaueres Modellieren der Kommunikationsabläufe. In AMBOSS besteht die Möglichkeit neben den temporalen Relationen zwischen den Aufgaben zusätzlich *Marker* für synchrone oder asynchrone Kommunikation zu verwenden, vgl. 2.2.5.

6.4.6. Relation zwischen Akteuren

Die Eigenschaften des Kommunikators und des Rezipienten bilden eine Relation zwischen den beiden Kommunikationspartnern ab. Diese Relation stellt zusammen mit dem Inhaltsaspekt einer Nachricht eine stets vorhandene, grundlegende Eigenheit der Kommunikation dar. Im Hinblick auf die Kommunikation der beiden Kontrahenten übt der Beziehungsaspekt einen erheblichen Einfluss auf das Übermitteln einer Nachricht aus. So zum Beispiel kann eine problematische Konstellation innerhalb einer Verantwortungshierarchie im Krankenhaus entstehen, wenn eine Krankenschwester wegen widersprüchliche Anordnungen von Arzt und Oberschwester in einen Autoritätskonflikt gerät. Solche ungünstigen Situationen verschärfen sich, wenn sprachliche oder kulturelle Barrieren hinzukommen. Das vorgestellte Beispiel einer Krankenschwester deutet darauf hin, dass sich zwischen den Kommunikationspartnern Beziehungsformen herauskristallisieren, die, aufgrund der zugeschriebenen oder erworbenen Fähigkeiten, in einer sozialen Struktur stattfinden. Dieser Sachverhalt lässt sich mithilfe der Kommunikationswissenschaft erklären.

In der Kommunikationswissenschaft unterscheidet man zwischen einer *symmetrischen* und einer *komplementären* Kommunikation. Eine symmetrische Kommunikation kommt dann vor, wenn sich beide Partner einander als gleichgewichtig oder ebenbürtig erachten. Stehen beide Partner dagegen in einem Über- oder Unterordnungsverhältnis, so wird von einer komplementären Beziehungsform gesprochen [Del94, S. 18]. Beispiele für komplementäre Beziehungen sind soziale Strukturen, in denen zum Beispiel Erziehungsabhängigkeit (Lehrer - Schüler) oder Herrschaft zusammen mit Unterwerfung (Herrscher-Diener) zu finden sind.

Eine wichtige symmetrische Relation, die von Dehlees in den Vordergrund gestellt wird und in der Kommunikationswissenschaft eine besondere Rolle spielt, ist die *Informationsabhängigkeit* [Del94, S. 19]. Kommt Informationsabhängigkeit vor, so ist der Empfänger von einer Information des Senders abhängig und kann seinen Zustand erst verändern (*Veränderung seines Wissens oder seines Handels*), wenn er eine entsprechende Nachricht empfängt. Die symmetrische Kommunikation ist leider eine zu idealisierte Form der Kommunikation. Das Bild der Realität prägen die Unter- und Oberordnungsverhältnisse, die in ökonomische-rechtliche, soziale und psychologische Ungleichheiten eingebettet werden.

Im folgenden Abschnitt wird die Relation zwischen Kommunikationspartnern untersucht, die aufgrund von Kommunikationsabhängigkeit entsteht und als eine komplementäre Form der Kommunikation im soziotechnischen System angesehen wird. Als erstes soll untersucht werden wie sich eine Anordnung der Akteure in einer hierarchischen Unternehmensstruktur auf die Kommunikation auswirkt und ob dies als Parameter des geplanten Kommunikationsmodells übernommen wird.

Kommunikation entlang der Unternehmenshierarchie In einem Unternehmen, in dem Kommunikationswege schnell und unproblematisch sind, bilden diese be-

reits die wichtigste Voraussetzung neben der Unternehmenskultur, um erfolgreich eine Idee oder Information zwischen Organisationseinheiten auszutauschen. In einer Organisation, in der die Hierarchie besonders flach ist, gestalten sich die Kommunikationswege kurz und mühelos.

Ein Vorgesetzter ist in solchen Unternehmensstrukturen in der Lage, auf eine Abweichung vom Sollwert in einem Produktionsprozess besonders schnell zu reagieren, indem er seine Mitarbeiter über zutreffende Maßnahmen informiert. Entgegengesetzte Kommunikation gestaltet sich in solchen dynamischen Systemen ähnlich unproblematisch. Diese spiegelt sich besonders deutlich in der Zeit wider, die dafür benötigt wird einen Vorgesetzten zu informieren und Veränderungen, die vom Mitarbeiter unterer Hierarchieebene vorgeschlagen werden, durchzusetzen. Dabei erweisen sich Informationen von den ausführenden Mitarbeitern aus den unteren Hierarchieebenen (*engl. front line worker*), die direkt mit einem Problem im System konfrontiert werden, als außerordentlich hilfreich dar. Ihre Rolle für sicherheitskritische Systeme zeigte James Reason [Rea04] anhand eines Krankenpflegesystems. In solchen Systemen spielen Informationen von Krankenpflegern, Krankenschwestern und jungen Ärzten eine bedeutende Rolle. Sie helfen schwerwiegende Fehler bei der Behandlung von Patienten zu vermeiden. Kommunikationswege für solche Informationen, die einer Entscheidungsebene mitgeteilt werden, sollen ohne Probleme an Vorgesetzte gelangen. Ausgeprägte und starre hierarchische Strukturen in sicherheitskritischen Systemen verschlechtern jedoch diese Kommunikationswege. Die Positionsungleichheit zwischen den Kommunikationspartnern erweist sich wegen der herrschenden Organisationshierarchie als oft zu groß.

Ein weiteres Beispiel, in dem erschwerte Kommunikation in einer starren hierarchischen Organisation zum Unglück führte, ist die NASA. Die Vorfälle von Columbia im Jahre 1986 und Challenger in Februar 2003 zeigten dies deutlich.

Aus der Analyse beider Unfälle sticht hervor, dass Informationen von Ingenieuren der Entwicklung und Produktion über aufgedeckte Probleme vom Management nicht ernst wahrgenommen wurden. Beim Challenger-Unglück waren es vor allem Informationen über die Unbeständigkeit von O-Ringen, die für Flüge in niedrigen Temperaturen nicht gesichert waren [GB98, S.80]. Untersuchungen zeigten, dass eine bessere Kommunikation innerhalb der NASA dazu hätte beitragen können diese Unfälle zu vermeiden [Hal03]. Die oben genannten Beispiele zeigen wie stark die Relationen zwischen einem Kommunikator und dem Rezipient mit der hierarchischen Organisationsstruktur verbunden sind und wie ausgeprägte hierarchische Strukturen in Organisationen in der Lage sind, unglückliche Relation zwischen den Kommunikationspartnern zu kreieren.

Kommunikation entlang des Arbeitsflusses Informationen verbreiten sich in einem Unternehmen nicht nur entlang ihrer hierarchischen Strukturen, sondern auch entlang des Arbeitsflusses. Bildlich gesehen begleitet Kommunikation einen Prozess

und verläuft quasi parallel zu ihm in einem gegebenen System.

Entlang eines Arbeitsflusses (*etwa eines Produktionsprozesses in einer Fabrik*) tauschen Kommunikationspartner untereinander Informationen über Zustände des Prozesses oder des Erzeugnisses aus. Wenn eine Folge von Tätigkeiten vom Akteur abgeschlossen wird, wird einem anderen Akteur, der für den nächsten Teil des Prozesses verantwortlich ist, explizit oder implizit mitgeteilt, dass *seine* Aufgabe ausgeführt werden kann. Die kommunizierenden Partner werden als gleichberechtigt bezüglich der hierarchischen Anordnung im Unternehmen gesehen. Sie befinden sich aber zueinander in einer Informationsabhängigkeit, welche hinsichtlich des Empfängers unidirektional ist. Im Hinblick auf die Kommunikation stehen die Kommunikationspartner in einer komplementären Relation⁹.

In diesem Abschnitt wurde das Entstehen von Relationen im ökonomisch-rechtlichen wie auch sozialem Kontext zwischen der beteiligten Kommunikationspartnern diskutiert. Im Fokus stand vor allem der Einfluss von Verhältnissen auf die Kommunikation und das Bestimmen von entsprechenden Parametern im Modell. Der nächste Abschnitt stellt die Umgebung der Kommunikation vor. Es wird diskutiert, welche Aspekte der Umgebung einen wichtigen Einfluss auf den Kommunikationsprozess ausüben.

6.4.7. Raum

Die physikalische Umgebung, in der die Kommunikation stattfindet, ist in der Lage die Sicherheit der Kommunikation beträchtlich zu beeinflussen. Dies umfasst vor allem die physikalischen Eigenschaften der Umgebung, in der sich die kommunizierenden Akteure befinden. Als erstes soll an dieser Stelle die räumliche Entfernung der kommunizierenden Akteure erwähnt werden. Die einfachste Unterscheidung kann dadurch getroffen werden, man trennt, ob sich die beteiligten Kommunikationspartner, während der Kommunikation, in gleichen oder in verschiedenen physikalischen Räumen aufhalten.

Befinden sich die Akteure *in derselben physikalische Umgebung*, so kann ein Gespräch von Angesicht zu Angesicht erfolgen, vorausgesetzt die Sicht erlaubt es. Clark und Brenan untersuchten Eigenschaften, die eine direkte Kommunikation einschränken, und zeigten drei Klassen der Kommunikationsqualität. Ihre Anordnung basiert auf der visuellen und auditiven Wahrnehmung eines Menschen [CB91].

- *Co-presense* ist dann vorhanden, wenn beide Akteure ihre Tätigkeiten auf eine leichte Art und Weise beobachten können und sich zusätzlich gegenseitig auch hören.

⁹Dies ist sicherlich eine vereinfachte Sicht. In der Realität werden Informationen über den Zustand des Prozesses oder des Produktes nicht ausschließlich für den Nachfolger versendet. Vielmehr erfolgt in solchen Momenten, je nach Komplexität des Systems, eine regelrechte Versendung (Bekanntmachung) von relevanten Informationen an alle Akteure, deren Aufgabe sich in einer Abhängigkeit von diesen Daten befindet.

- *Visibility* ist dann vorhanden, wenn beide Akteure sich gegenseitig nur sehen, aber nicht zusätzlich hören können.
- *Audiobility* ist dann vorhanden, wenn beide Akteure sich hören können und die Satzmelodie dabei klar hörbar ist.

Zwischen den einzelnen oben benannten Kommunikationsqualitäten zu unterscheiden war lange Zeit nur in ein und derselben Umgebung möglich. So wie die geschriebene Sprache lange Zeit Menschen zur Kommunikation über Personen, Dinge und Gegenstände, aber auch Sachverhalte, unabhängig von ihrer raum-zeitlichen Gegenwart, befähigte, ermöglicht das Nutzen von einem Telefon etwa die *Audiobility*, und mithilfe von Kommunikationsartefakten wie Videokonferenzsystemen, ist es möglich verbal und zusätzlich nonverbal, unabhängig von geographisch-räumlichen Gegebenheiten, zu kommunizieren. Damit sind die *Co-presense* und die *Visibility* nicht mehr auf einen Raum beschränkt.

Im Weiteren wird von Kommunikation und ihrer Parameter, die in verschiedenen Räumen stattfindet, dann gesprochen, wenn der Kommunikationsprozess in einem System so modelliert wurde, dass sich die kommunizierenden Rollen zur Zeit der Kommunikation jeweils in unterschiedlichen physikalischen Räumen befinden. Die Trennung von Räumen kann unter dem Gesichtspunkt der *physischen Anordnung* erfolgen. In einem solchen Fall kann ein Gebäude, ein Stockwerk, ein Zimmer oder eine Insel als ein eigenständiger Raum definiert werden. Eine Unterteilung der Räume kann aber auch in der Abhängigkeit von Aufgaben, die an einer bestimmten Stelle einer Umgebung erledigt werden, erfolgen. In einem solchen Fall spricht man von einer *funktionalen Anordnung* der Umgebung. So ist es möglich ein Großraumbüro nach Bereichen wie Marketing, Controlling, Versand etc. zu unterteilen. Die räumliche Unterteilung hängt stark ab vom System, das modelliert wird, und wird vom Modellierer, während des Modellierens, festgelegt.

Die Betrachtung von räumlichen Gegebenheiten ist abhängig von den Zielen, die mithilfe eines Kommunikationsmodells verfolgt werden. In Anbetracht dessen, dass in der hier angestrebten Methode nach Schwächen gesucht wird, die aufgrund von missglückter Kommunikation entstehen, soll als Nächstes auf Parameter der Umgebung eingegangen werden. Vor allem auf solche, die die bereits erwähnten drei Kommunikationsqualitäten beeinflussen.

Ein wichtiger Aspekt der Umgebung, in der kommuniziert wird, ist die *Sicht*. Ist ein Raum entsprechend beleuchtet und die Sicht ist nicht durch Rauch, Vorhänge, etc. zusätzlich erschwert, so ist eine Grundvoraussetzung für die Kommunikation über den visuellen Kanal gegeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die kommunizierenden Akteure sich gegenseitig wahrnehmen bzw. ein Operator in der Lage ist seinen Monitor zu sehen und dessen Inhalt zu erkennen, wenn er nicht von anderen Faktoren abgelenkt wird.

Ein weiterer Aspekt der Umgebung ist die vorhandene *Lautstärke*. Verläuft die

Kommunikation über den auditiven Kanal, so ist die gesprochene Sprache der Träger der zu übertragenden Informationen. Dabei werden zugleich paraverbale Komponenten der Sprache wahrgenommen. Zu diesen Komponenten gehört Stimmvariation, Sprechgeschwindigkeit und Sprechrhythmus. Zusätzlich kommen extralinguistische Elemente wie Lachen, Weinen, Gähnen, etc. hinzu. Die Information selbst und die begleitenden paraverbalen Komponenten werden bei einer erhöhten Lautstärke gestört. Zum einen kann die Stimmverzerrung so ungünstig ausfallen, dass es sich für den Empfänger als unmöglich erweist die Information als solche zu verstehen. Zum anderen kann sich das Versenden der Information als unmöglich in einer ungünstigen Umgebung erweisen.

6.5. Vergleich mit anderen Kommunikationsmodellen

Im folgenden Teil des Kapitels soll ein Überblick über die Endfassung des Kommunikationsmodells gegeben werden. Dafür wird die am Anfang des Kapitels vorgestellte initiale Version des Kommunikationsmodells mit den bereits definierten Kommunikationsparametern als ein einheitliches Kommunikationsmodell, mit seiner Mächtigkeit, skizziert. Mit der Verwendung des Modells in einem Rahmenwerk für die Dokumentation und Analyse der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen wird gezeigt, dass seine Mächtigkeit erlaubt, solche Untersuchungen durchzuführen. Die Methode für eine solche Analyse wird im Anschluss aufgezeigt. Bevor dies jedoch passiert, wird das Modell mit seinen Stärken und Schwächen mit anderen Kommunikationsmodellen verglichen.

6.5.1. Kommunikationsmodell für sicherheitskritische Systeme

Um Kommunikationsparameter in ein Kommunikationsmodell integrieren zu können, müssen zuerst die relevanten Eigenschaften von Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen verstanden werden. Daher wurde am Anfang des Kapitels in Abschnitt 6.3 mithilfe des informationstheoretischen Ansatzes von Shannon und Weaver ein Kommunikationsmodell mit seinen Parametern vorgestellt. Bevor das erarbeitete Modell mit weiteren Kommunikationsmodellen verglichen wird, sollen die Eigenschaften des vorgeschlagenen Modells noch einmal in Kürze wiederholt werden.

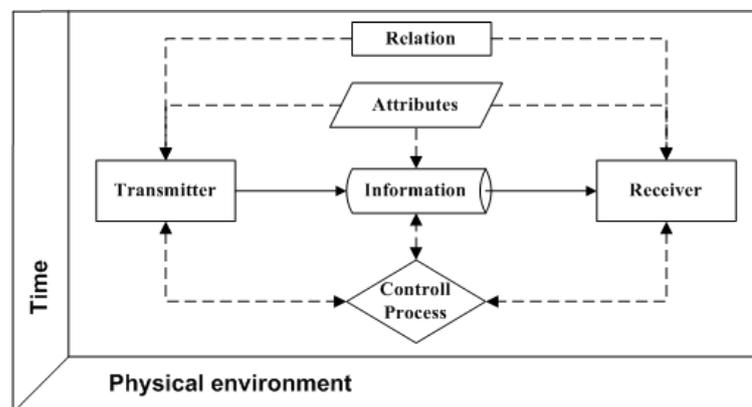


Abbildung 6.5.: Metamodel Kommunikationsmodells für sicherheitskritische Systeme, [Mis10]

Die Graphik 6.5 zeigt eine mögliche visuelle Darstellung des angestrebten Kommunikationsmodells. Das Modell bildet die Kommunikation als einen Prozess ab, der im Zeit-Raum Kontinuum verankert wird. Der dynamische Kommunikationsprozess

der Kommunikation findet in festgelegten Zeitgrenzen statt. Die zeitliche Komponente durchdringt den gesamten Kommunikationsprozess und interagiert mit den beteiligten Attributen.

Das Modell ist in der Lage einerseits solche Phänomene wie *synchrone* oder *asynchrone* Kommunikation zu beschreiben, andererseits aber auch festzuhalten, wann eine Kommunikation stattfinden soll. *Zeit* ist in der Lage zum Beispiel die Priorität einer Information zu verändern, siehe dazu Abschnitt 6.4.5.

Ein weiterer Bereich der Kommunikation ist die physikalische *Umgebung*, die ein Raum, in dem eine bestimmte Kommunikation stattfindet, umspannt. Dieser Bereich bildet die äußere Schicht eines Kommunikationssystems. Die Umgebungssituation, innerhalb derer Kommunikation stattfindet, beeinflusst oft entscheidend den Kommunikationserfolg. So wird etwa visuelle Kommunikation durch die Dunkelheit gestört und eine akustische Kommunikation wird bei Lärm wiederum schwierig. Diese Parameter stellen, zusammen mit der Entfernung, die wesentlichen Einflussfaktoren einer Kommunikation dar. Der erste Offizier etwa und sein Kapitän tauschen in einem Cockpit Informationen über den Flug sicherlich anders aus, als ein Fluglotse mit einer Crew, die mehrere Kilometer von ihm entfernt ist. In beiden Fällen unterliegt die Kommunikation festgelegten Prozeduren, doch die Freiheitsgrade der Kommunikation zwischen den Piloten können schon aufgrund des persönlichen *Kontakts* zwischen den beiden deutlich unterschiedlich sein.

Die bereits im räumlichen Bereich erwähnten *Akteure* üben einen beträchtlichen Einfluss auf die Kommunikation aus. Ihre Eigenschaften wie kultureller Hintergrund, Muttersprache, Stressfaktoren, aber auch die Position im Unternehmen, spielen eine erhebliche Rolle im Prozess der Kommunikation. Um genau diesen Prozess zu untersuchen, ist es nötig die Eigenschaften der Akteure und ihre wechselseitigen Beziehungen zu berücksichtigen [Sch04b, S.81]. Die *Relation*, in der ein Kommunikator und ein Rezipient stehen, kann zum Beispiel Aufschluss darüber geben, ob die beiden Kommunikanten gleichberechtigte Kommunikationspartner sind. Dies spricht eindeutig dafür, dass in einem Kommunikationsmodell erkennbar ist *wer* an einem bestimmten Kommunikationsvorgang partizipiert. Die Informationen über die involvierten Akteure geben die jeweiligen Attribute des *Senders* und des *Empfängers*. Wie bereits am Anfang des Kapitels beschrieben, wird ein Sender oder ein Empfänger in diesem Kommunikationsmodell von einem Akteur zusammen mit einer Aufgabe gebildet. Damit ist eine eindeutige Zuweisung eines Kommunikationsvorgangs zu den dazugehörigen Aufgaben und Akteuren, die diese ausführen, möglich.

Eine Kommunikation findet zwischen den Kommunikationspartnern mit Hilfe eines *Übertragungsmediums* statt. Das Übertragungsmedium bildet zusammen mit der Information in dem Kommunikationsmodell das *Kommunikationsobjekt*, welches die Kombination aus Information und Übertragungsmedium darstellt: Ist etwa die zu übertragende Information ein Laborwert im Krankenhaus und das Übertragungsmedium ist handgeschriebenes Papier, dann ist das ausgefüllte Formular, das den Laborwert enthält, das so genannte Informationsobjekt [MS08]. Dem Kommuni-

kationsobjekt können funktionale Eigenschaften zugeordnet werden. So kann ein Kommunikationsobjekt als ein *Trigger* im Kommunikationsmodell agieren und den Empfänger dazu veranlassen eine bestimmte Aufgabe zu starten.

Mit einem Kommunikationsmedium werden demnach im technischen Sinne elektrische Signale oder Zeichen versendet und empfangen. Diese sind für die involvierten Akteure mit einer bestimmten Bedeutung behaftet. So ist die *Information* als Form von Materie oder Energie, die für den Sender und/oder Empfänger in einem sozio-technischen System von Relevanz ist, kontextbezogen und kann zu einer bestimmten Erkenntnis auf beiden Seiten führen. Dies ist ein wichtiger Sachverhalt für das angestrebte Kommunikationsmodell, da das Modell nicht nur in einem technischen sondern in einem sozio-technischen System bewertet werden soll.

Das Übertragungsmedium selbst kann außerdem in einer engen Relation zu anderen Eigenschaften der Kommunikation gesehen werden. Bei der Betrachtung der Relation von Standorten und der Kommunikationsumgebung der beiden Kommunikationspartner wird man das Informationsobjekt daran entsprechend angepasst gestalten. Im Kapitel 7.1 wird eine Fallstudie vorgestellt, in der neben einem alten Krankenhausinformationssystem, in dem noch ein handgeschriebenes Formular verwendet wird, auch ein neues elektronisches System genutzt wird. Beide Systeme werden dazu verwendet dem Personal des Krankenhauses die gleichen Informationen mitzuteilen. In diesem Beispiel wird deutlich, dass ein Informationsobjekt leider ungeeignet angepasst wurde und, wegen der Wichtigkeit der enthaltenen Informationen, eine Schwachstelle im System.

Um die Korrektheit der Kommunikation in einem Aufgabenmodell zu gewährleisten, wird in das Kommunikationsmodell ein *Kontrollprozess* integriert. Ein Kontrollprozess steuert, überwacht und stellt die Korrektheit der Kommunikation sicher. Kontrollprozesse definieren Konventionen, die während des Kommunizierens eingehalten werden sollten. Ein *Protokoll* ist einer der Kontrollprozesse, die das Übertragen einer elektronischen Information regelt. Es kann zum Beispiel die Syntax der Kommunikation reglementieren, indem auf der Grundlage von Gesetzen einer Gesellschaft, Kultur einer Organisation oder Wissen einer Gruppe festgelegt wird, welche Ordnung von Zeichen oder Formaten eine Kommunikation zulässt. Ein weiterer Typ eines Kontrollprozesses ist die *Rückkopplung*, auch als *Feedback* bezeichnet. Sie bildet eine Kommunikation, die in der Gegenrichtung zu der eigentlichen stattfindet. Die Funktion von Feedback in einem Kommunikationsmodell ist, dem Sender eine Möglichkeit zu bieten, sicherzustellen, dass seine Nachricht den Adressaten erreichte. Dadurch ist der Kommunikator in diesem interpersonalen Modell, Dank der direkten Rückkopplung, besonders flexibel, denn er kann die potentielle Wirkung der Botschaft sofort nachprüfen und entsprechend reagieren.

Im Zentrum des nun folgenden Abschnittes steht zunächst ein Vergleich des erarbeiteten Kommunikationsmodells mit anderen Modellen der Kommunikation. Dabei werden die wichtigsten Repräsentanten von Kommunikationsmodellen mit ihren zentralen Grundannahmen vorgestellt und mit dem vorgeschlagenen Modell für si-

cherheitskritische Systeme verglichen.

6.5.2. Das Reiz-Reaktions-Modell

Das Reiz-Reaktions-Modell auch als Stimulus-Response bezeichnet (S-R-Modell), ist eines der ältesten bekannten Kommunikationsmodelle. Sein Ursprung reicht auf die aristotelische Rhetorik (330 v.Chr.) zurück [Mer99]. Das zugrunde gelegte Modell umfasst folgende drei Elemente: den Redner, die Rede und das Publikum. Eine der Grundannahmen des S-R-Modells ist, dass eine Nachricht den Rezipienten unmittelbar bei der Ankunft stimuliert und so eine monokausale Wirkung erzeugt. Die übermittelte Nachricht ist eindeutig und wird vom Rezipienten sofort wahrgenommen, verarbeitet und abgespeichert. Da die Botschaft eindeutig ist, wird diese von allen Empfängern identisch aufgefasst und es erfolgt immer die gleiche Wirkung. Von einer identischen Auffassung einer Nachricht kann das Kommunikationsmodell deswegen ausgehen, weil alle Rezipienten als sehr ähnlich angesehen werden. Sie stellen praktisch eine undefinierte Menschen-Masse dar [Jäc05, S.61]. Zudem zeichnet das Modell eine lineare Struktur ab, in der jegliche Rückkopplung ausgeschlossen wird. Seine Renaissance erlebte das Modell in den 20er bis zu den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts. Zu dieser Zeit passte das einfache Kausalitätsmodell besonders gut, um den Einsatz der Medien, zum Beispiel für Propagandazwecke, zu rechtfertigen. Das Modell diente zur gleichen Zeit aber auch als Ausgangspunkt für die Entwicklung von weiteren Kommunikationsmodellen.

Die Implikationen des S-R-Modells stellen gleichzeitig die Schwächen des Modells dar. In dem S-R-Modell wird nicht beachtet, dass die Rezipienten Individuen sind, die in der Lage sind unterschiedliche Rollen einzunehmen. Die Kommunikationspartner, anders als in dem angestrebten Kommunikationsmodell, befinden sich immer in der gleichen Beziehung zueinander. Dies ist aber in den meisten sozialen und auch soziotechnischen Systemen nicht der Fall. Deswegen trägt die Homogenitätsthese zu einem bedeutenden Nachteil bei, der das Abbilden der Vielfalt von Relationen zwischen den Beteiligten unmöglich macht.

Weiterhin wird in diesem Modell von einer Annahme ausgegangen, die besagt, dass jeder Kommunikationsvorgang eine Absicht seitens des Kommunikators beinhaltet. Erreicht sie ihr Ziel, so ist ein Kommunikator immer in der Lage mit der Botschaft eine Wirkung zu erzeugen. Diese transitive Annahme des S-R-Modells zeichnet eine idealisierte Sicht auf die Kommunikation, die jegliche Abweichung der Reaktion ausschließt und so in realen Systemen nicht haltbar ist. Soll ein Modell für weitere Untersuchungen von realen soziotechnischen Systemen genutzt werden, so muss davon ausgegangen werden, dass nicht jede Kommunikation zwingend in sich eine Absicht trägt, die auf den Rezipienten zielt, um eine bestimmte Wirkung zu erzeugen.

Ein weiterer Kritikpunkt am S-R-Modell ist die Annahme der Proportionalität. Diese besagt: Je intensiver, anhaltender und direkter ein Stimulus auf den Rezi-

pierten zielt, desto größer und andauernder ist seine Wirkung. Diese Vorstellung ist jedoch nichtig und muss zugunsten komplexerer Vorstellung aufgegeben werden. Die Gegenargumentation kann wie folgt festgemacht werden. Der Stimulus wird in seiner Definition als eine physikalische Größe, eine Kraft, gesehen. Ihre Auswirkungen sind demnach exakt prognostizierbar. Die Wirkung wächst mit der Stärke der Stimulation. Dieses physikalische Konzept der Wirkungsforschung, kann jedoch auf die Kommunikationswissenschaft nicht übertragen werden. Dies zeigt bereits die Psychologie im Prinzip der Übersummation [Heb69, S. 64 ff.]. Dieses Prinzip besagt, dass das wiederholte Auftreten eines Stimulus zu einer Reaktionskumulation hinführt, deren Wirkung erst bei Überschreiten eines Schwellenwertes auftritt.

Ein weiteres Argument, das gegen das Modell spricht, ist, dass Kommunikation nicht Stimuli sondern Symbole erfordert, mit deren Bedeutungen sich Menschen ausdrücken.

Die oben aufgeführten Argumente zusammen mit der Tatsache, dass das S-R-Modell ein lineares Modell ist, das zum einen jegliche Rückkopplung ausschließt und zum anderen genau so wenig Möglichkeiten lässt die räumlichen oder zeitlichen Eigenschaften der Kommunikation näher zu beschreiben, zeigen eindeutig die Unzulänglichkeiten dieses Ansatzes.

6.5.3. Die Lasswell-Formel

Ein weiteres Kommunikationsmodell wurde in der Mitte des letzten Jahrhunderts von Harold Dwight Lasswell erstellt. Das Modell wurde mit besonderem Interesse des Autors an dem Zusammenhang von Inhalts- und Wirkungsforschung formuliert. Das Modell basiert auf fünf Interrogativpronomina, die aus folgendem Satz entstah: „Who says what in which channel, to whom, with what effect?“ [Las48]. Mit diesen Fragewörtern lässt sich jeder Kommunikationsprozess intuitiv beschreiben. Jedes Interrogativpronomen bezeichnet laut Lasswell einen eigenen Forschungsbereich der Kommunikationswissenschaften:

- WHO steht für die Kommunikatorforschung.
- WHAT steht für die Inhaltsanalyse.
- WHICH CHANNEL steht für die Medienkunde.
- WHOM steht für die Publikumsforschung.
- WHAT EFFECT steht für die Wirkungsforschung.

Die ebenso einfache wie einleuchtende Heuristik dieses Modells liegt zum einen in seiner Einfachheit, zum anderen in der Verwendung eingängiger Fragepronomen. Die Simplizität des Modells muss sich aber der Kritik stellen, dass es lediglich fünf

Positionen eines Kommunikationsprozesses spezifiziert. Diese Positionen sind weder miteinander stringent verbunden, noch zeichnet das Modell eine plausible Relation zwischen den Positionen des Axioms aus [Mer99, S.70-71]. Ein weiterer Punkt, der in der Literatur kritisiert wird, ist die fehlende Berücksichtigung von Interaktionen zwischen den Kommunizierenden. Ähnlich dem S-R-Modell wird auch in diesem Modell keine Rückkopplung berücksichtigt. Des Weiteren ermöglicht die Lasswell-Formel keine durchdachte und begründete Abbildung der Struktur eines Kommunikationsprozesses. Ein genaues Studium der Schriften von Lasswell lässt jedoch den Schluss zu, dass dem Autor diese Tatsache bewusst war. Sein Augenmerk lag nicht in der Erstellung eines möglichst allgemeingültigen, kommunikationstheoretischen Ansatzes, vielmehr waren für ihn der Akt der Kommunikation und ihre Relation auf den gesamten sozialen Prozess von Interesse [Las48].

Im Vergleich zu dem bereits vorgestellten R-S-Modell zeichnet sich allerdings in diesem Ansatz eine eindeutige Verbesserung ab. Das Modell berücksichtigt Mittel, mit deren Hilfe eine Kommunikation stattfindet. Leider ist das schon die einzige Stärke, neben der Einfachheit, die das Modell als ein Kommunikationsmodell auszeichnet. Die fehlende Struktur und die Eingrenzung der Kommunikation lediglich auf den verbalen Teil schließt den Bereich der nonverbalen Kommunikation aus dem Modell aus. Die zeigt deutlich, dass das Modell eindeutige Schwächen gegenüber dem angedachten Kommunikationsmodell aufweist. Für die Spezifikation und Analyse der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen stellt demnach die Lasswell-Formel keine Alternative dar.

6.5.4. Austauschmodelle der Kommunikation

Im folgenden Abschnitt werden Kommunikationsmodelle, die eine eingeschränkte Sicht auf den Kommunikationsprozess propagieren und die Kommunikation auf einen Austausch von Informationen (Zeichen) zwischen Kommunikanten reduzieren, vorgestellt.

Der bekannteste Repräsentant der Gruppe der Austauschmodelle ist das bereits in diesem Kapitel beschriebene Sender-Empfänger-Modell [Sha48]. Dieses veranschaulicht den Informationstransfer als Grundmuster der zwischenmenschlichen Kommunikation. Ein Kommunikationsprozess beginnt mit einer Quelle, dem Sender, der eine Nachricht mithilfe eines Kommunikationskanals an das Ziel übermittelt, dem Empfänger, der diese Botschaft wahrnimmt und übersetzt. Ein ähnliches, interessantes, lineares Kommunikationsmodell wurde von dem bekannten Linguisten Roman Jakobson entwickelt. Das in der Abbildung 6.6 dargestellte Modell funktioniert wie folgt:

Der Sender, in diesem Fall ein Sprecher sendet seine Botschaft zum Empfänger. Die Botschaft wird mithilfe eines *Codes* angeliefert (darunter werden die sprachlichen Mittel und der Weg, der für die Anlieferung genutzt wird, verstanden). Für das Übermitteln von Botschaften nutzt das Modell den direkten *Kontakt* (im Sinne von



Abbildung 6.6.: Kommunikationsmodell nach Jakobson

Medium. Um der Botschaft einen Sinn zu verleihen, wird sie mit einem Kontext verbunden.

Mit seiner Sicht von Kommunikation macht Jakobson deutlich, dass ein erfolgreicher Kommunikationsvorgang von drei wichtigen Aspekten abhängig ist: einem *Kontakt*, der die Botschaft übermittelt - dieser kann physikalisch oder/und psychologisch erfolgen - einem *Code*, in dem die Botschaft verfasst wird und einem *Kontext*, auf den sich die Botschaft bezieht, damit sie verstanden wird.

Jakobson zeigt in seinem Aufsatz über Linguistik und Poetik [OJ05], dass Kommunikation ein kompliziertes Unterfangen darstellt und eine Vereinfachung lediglich zum Transportieren von Informationen mit Problemen, die nicht nur technischer sondern auch psychologischer Natur sind, verbunden ist. Er zeigt vor allem auf, dass die Kommunikation einen funktionalen Charakter besitzt. Jakobson unterscheidet zwischen folgenden Charakteristika:

- *Referentielle Funktion*, die sich auf Kontakt, Referenten und Botschaft während der Einstellung der Kommunikationsteilnehmer bezieht.
- *Emotive Funktion*, die sich vor allem auf die Haltung des Sprechers zum Gesprochenen bezieht.
- *Konative Funktion*, diese Funktion richtet sich auf den Empfänger und bestimmt den grammatischen Ausdruck der Botschaft (Vokative oder Imperative).
- *Phatische Funktion*, dies ist die Funktion, die lediglich den Zweck hat eine Kommunikation herzustellen, aufrechtzuerhalten, abubrechen oder zu beenden.
- *Metasprachliche Funktion*, diese Funktion orientiert sich am Code und stellt fest, dass Sender und Empfänger denselben Code auch nutzen.
- *Poetische Funktion*, diese Funktion richtet die Struktur einer Botschaft aus. Sie gestaltet eine Aussage und ist für den Aufbau einer Nachricht zuständig.

Diese sechs Charakteristika zeigen wie wichtig für Jakobson das Funktionale einer Kommunikation war. Trotzdem bleibt das Modell die Antwort schuldig, wie eine Botschaft in diesem Modell zu verstehen ist. Der Autor spezifiziert die Botschaft (orig. *message*) nicht weiter und lässt offen, ob die Nachricht sich auf das übermittelte Wort beschränkt oder auch die Bedeutung des Wortes einbezieht. Ebenso wird die zeitliche Abfolge der Kommunikation nicht näher spezifiziert.

Beide bereits erwähnten Austauschmodelle betrachten die Kommunikation als einen linearen Prozess, der nur in eine Richtung ausgerichtet ist. Mit einer spiegelbildlichen Verdopplung des Sender-Empfänger-Modells, die nach der Etablierung des Modells auch passierte, wurde eine Integration der Rückkopplung in das Kommunikationsmodell erreicht. Zu dem mathematischen Modell wurde dann auch bald eine *ent-technisierte* Variante erstellt, das so genannte *Konversationsmodell* von Osgood und Shramm [Sch65]. Dieses Modell unterstreicht die Kommunikation als einen zirkulären Prozess, in dem der Sender und der Empfänger ihre Rollen, während eines Kommunikationsvorgangs, auch tauschen können. Beide Gesprächspartner sind in dem kontinuierlichen Prozess in der Lage das Kodieren, das Interpretieren wie auch das Decodieren ihrer Botschaften durchzuführen. Sie sind gleichberechtigte Kommunikationspartner. Zudem weist das Modell explizit auf den Vorgang der Interpretation hin. Dies ist eine Stärke im Vergleich zu dem Sender-Empfänger-Modell, das diesen Vorgang nicht exakt berücksichtigt. Als Kritik des Modells kann unter anderem erwähnt werden, dass durch den Fokus des Modells auf die sozialen Strukturen, die technischen Aspekte der Kommunikation ausgeblendet werden. Es kann zum Beispiel keine Aussage über das Medium oder den Kommunikationskanal gemacht werden. Dies ist ein bedeutender Nachteil, wenn das Modell als eine Alternative für das Spezifizieren von Kommunikation in einem soziotechnischem System verwendet werden sollte.

Die in dem Osgood/Shramm Kommunikationsmodell erwähnten Nachteile wurden in dem von Kunczik vorgeschlagenen Modell passend eliminiert. Es ruht auf dem mathematischen Modell von Shannon und Weaver und erweitert dieses um mögliche technische und psychologische Störungsquellen. Die Abbildung 6.7 zeigt eine schematische Darstellung des Modells von Kunczik.

Als Beispiel für eine psychologische Störungsquelle benennt der Autor *Fehlinterpretation aufgrund ungleicher Situationsinterpretation*, für die technischen Probleme werden *Missverständnisse im gemeinsamen Code* oder eine *Störung beim Empfang* erwähnt. Zuerst wird in diesem Modell davon ausgegangen, dass eine soziale Situation während der Kommunikation vorliegt, in der sich ein oder mehrere Individuen in Gegenwart anderer befinden und ein Akteur Gegenstand visueller und kognitiver Aufmerksamkeit eines anderen wird und umgekehrt [KZ05, S.45]. Der situative Kontext determiniert den Gebrauch von Kommunikationsformen. Die so genannte „Kommunikative Kompetenz“ regelt gleichzeitig die angemessene Auswahl der Sprache, Kommunikationskanäle oder Codes. Das von Kunczik vorgeschlagene Modell der interpersonalen Kommunikation kommt aus dem Bereich der Publizistik und

berücksichtigt vor allem die soziokulturellen Faktoren der Kommunikation. Zu diesen Faktoren zählen sozialer Status und Geschlecht der Kommunizierenden, Anwesenheit Dritter, aber auch räumliche Parameter wie z.B. Fahrstuhl, Arbeitszimmer, öffentlicher Platz oder eigene Wohnung. Auch die unbeabsichtigten, nonverbalen Informationen, die durch das Verhalten eines Kommunikators als informativ interpretiert werden, finden in diesem Modell Berücksichtigung. Diese werden jedoch nicht weitreichend genug spezifiziert, um darauf einen Kommunikationsvorgang systematisch abzubilden. Der Autor berücksichtigt in seinem Modell bereits erwähnte Missverständnisse und Fehlinterpretationen, die aufgrund von ungleichen Situationsdefinitionen bei den Kommunizierenden vorkommen. Zu Verzerrungen während einer Kommunikation kann es zum Beispiel aufgrund eines defekten Übertragungskanals oder unmöglicher Dekodierung kommen. Das Dekodieren einer Botschaft und damit auch verbundene Verzerrungen werden dabei nicht nur im technischen Sinne, sondern auch im kognitiven Sinne verstanden. Beim letzten knüpft Kunczik an Mead an und stellt die Anzahl der Verzerrungen in einem Kommunikationsprozess als reziprok zu gemeinsamen Erfahrungen und der Wahrnehmung der Kommunikationssituation, die die Kommunikationspartner besitzen, dar [Mea75, S.94]. Mit diesem Modell ist es möglich, komplexe Sachverhalte der Kommunikation zu erfassen. Trotz der wichtigen Erweiterungen des interpersonalen Modells der Kommunikation, bleibt die Frage nach dem zeitlichen Ablauf eines Kommunikationsvorgangs offen. Der Autor deutet die Wichtigkeit der situationellen Faktoren als vorrangig, doch es wird bei der Vorstellung des Modells nicht klar, wie diese im Modell direkt abgebildet werden und um welche es sich tatsächlich handelt.

Damit scheidet auch dieses Modell trotz seiner positiven Komplexität als eine geeignete Alternative zum Abbilden von Kommunikationsvorgängen in sicherheitskritischen Systemen aus. Als nächstes sollen Kommunikationsmodelle aus dem Bereich der Massenkommunikation untersucht werden.

6.5.5. Modelle der Massenkommunikation

Ähnlich der interpersonalen Kommunikation, beeinflusste die Massenkommunikation bereits am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts die heutigen Kommunikationsmodelle. Damalige Wissenschaftler sahen die Entwicklung der sozialen Gruppen im Hinblick auf die Primärgruppen¹⁰-bindungen, während der Industrialisierung und Urbanisierung, als zusammengebrochen.

Dieser Zustand, zusammen mit der Tatsache, dass wenn jeglicher Rückhalt durch

¹⁰Der Begriff *Primärgruppen* geht auf den amerikanischen Soziologen Charles H. Cooley (1864-1929) zurück. Er bezeichnete damit kleine Gruppen, die idealerweise-, face to face miteinander kommunizieren; eine geringe Arbeitsteilung aufweisen; relative Beständigkeit haben, wie zum Beispiel eine Familie; intime Bindungen zwischen den Mitgliedern darstellen. Diese Gruppen spielen nach Cooley eine fundamentale Bedeutung für die Bildung der sozialen Natur eines Individuums.

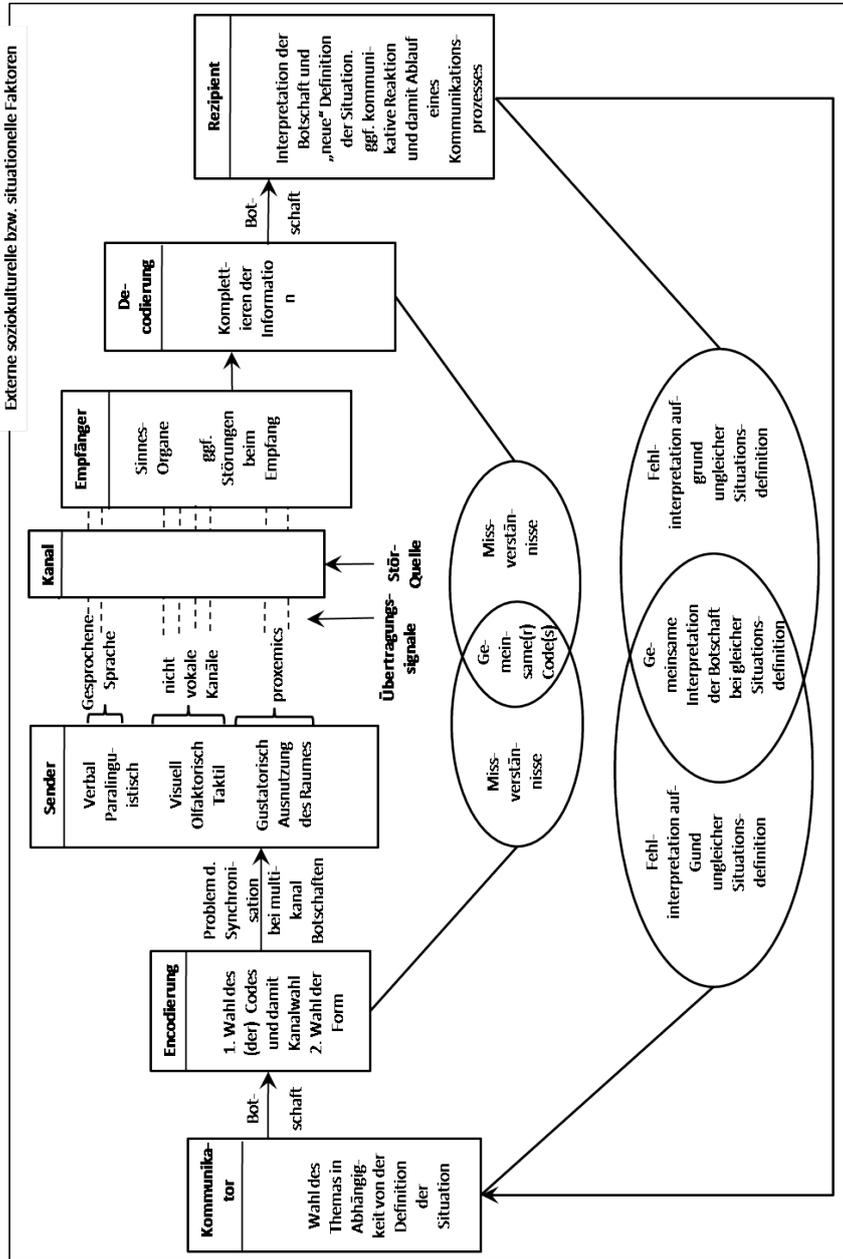


Abbildung 6.7.: Modell der interpersonalen Kommunikation nach Kunczik, angelehnt an: [KZ05, S.45]

soziale Strukturen nicht mehr vorhanden ist, ermöglicht es den Massenmedien (bzw. einem charismatischen Führer) einen deutlichen Einfluss auf den sozial isolierten Menschen auszuüben und ihn auszunutzen. Dieser Auffassung war der französische Arzt und Psychologe Gustave Le Bon, aber auch der italienische Kriminalpsychologe Scipio Sighele. Beide sahen die Massen bereits lange vor den beiden Weltkriegen als leicht zu manipulieren oder zu delegieren [LB82], [Sci08].

Dies war einer der Gründe, warum auch Medienforscher versuchten Wirkungsmechanismen der Medien aufzudecken und zu verstehen. Ziel des ganzen war *die Demokratie gegen die mögliche Überrumpelung durch totalitäre Kräfte zu schützen* [KZ05]. Die Erwähnung dieser Tatsachen ist wichtig, um ein besseres Verständnis für den Ursprung der Massenkommunikationsmodelle zu erlangen. *Eine mögliche Definition der Massenkommunikation liefert Maletzke, indem er diese als jene Form der Kommunikation, bei der Aussagen öffentlich (also ohne begrenzte und personell definierte Empfängerschaft), durch technische Verbreitungsmittel (Medien), indirekt (also bei räumlicher oder zeitlicher oder raumzeitlicher Distanz zwischen den Kommunikationspartnern) und einseitig (also ohne Rollenwechsel zwischen Aussagenden und Aufnehmenden) an ein disperses Publikum vermittelt werden begreift* [Bec07, S.124].

Seine Definition beschreibt den Sachverhalt der Massenkommunikation verständlich, ohne in die tiefere Materie der Publizistik einzutauchen. Einige Autoren kritisieren die Tatsache, dass die politischen und ökonomischen Aspekte der Sozialstrukturen, in denen die Kommunikation stattfindet, in die Definition nicht einbezogen wurden [Pür98]. Trotz diesen kritischen Stimmen scheint dies die meistgenutzte Definition zu sein, die eine breite Zustimmung durch Wissenschaftler bekam.

Es existieren diverse Modelle anhand derer Massenkommunikationsprozesse dargestellt werden können. An dieser Stelle sollen das Modell von John W. Riley und Matida W. Riley [RJM59] und das von Maletzke [Mal63] entwickelte *Feldschema der Massenkommunikation* vorgestellt werden.

Abbildung 6.8 zeigt schematisch das so genannte Riley und Riley Modell auf. Die Akteure des Kommunikationsprozesses werden nicht als isolierte und autonome Einheiten gesehen, sondern als Bestandteile einer größeren Sozialstruktur. Die Kommunikatoren und Rezipienten stehen unter dem Einfluss der Sozialstruktur vor allem der primären Bezugsgruppen. Die soziale Gruppe, gesehen als eine Bezugsgruppe des Kommunikators, ist in der Lage, auf die Nachrichtenselektion oder Berichterstattung seitens der Kommunikatoren und auf die Wahrnehmung und die Reaktion auf die Inhalte der Kommunikation seitens der Rezipienten, Einfluss auszuüben. So kommen die Werte, Konventionen und Regeln einer sozialen Gruppe zum Vorschein.

Im Mittelpunkt des Modells stehen die soziologischen Aspekte der Kommunikation. Sie wird aus der soziologischen Perspektive betrachtet und ist als ein Bestandteil des gesamten Sozialsystems zu sehen. Dieses wird von der Kommunikation mitgestaltet. So gesehen werden die Kommunikationsmedien als eine von vielen Einflussgrößen, die auf das menschliche Verhalten einwirken, verstanden. Als einzige Bezie-

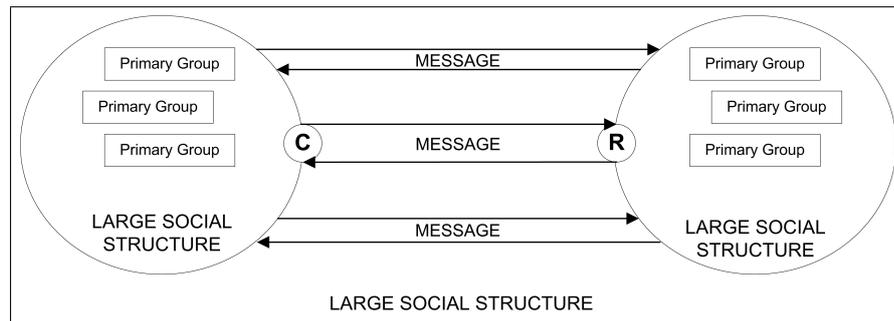


Abbildung 6.8.: Kommunikationsmodell von Riley&Riley, angelehnt an: [RJM59, S.577].

hung, die zwischen den Kommunikatoren und Rezipienten stattfindet, zeigt das Modell eine symmetrische Relation von gleichberechtigten Kommunikationspartnern. Dies ist jedoch eine fiktive Annahme, die vor allem in der Welt der Massenmedien nicht vorhanden ist. Das Modell genügt der Modellierung auf einer recht abstrakten Ebene. Sollte mit ihm aber eine Modellierung eines konkreten Kommunikationsprozesses aufgezeichnet werden, so versagt es bereits in der Frage nach dem Medium oder räumlicher und zeitlicher Anordnung der Kommunikation. Als nächstes Massenkommunikationsmodell soll das *Feldschema der Massenkommunikation* von Maletzke mit seinen Grundelementen beschrieben werden [Mal63]. Das Feldschema der Massenkommunikation wurde schematisch in Abbildung 6.9 dargestellt. Dieses Modell zeichnet sich durch eine Vielzahl von Aspekten aus, die hier berücksichtigt werden. Vor allem die psychologischen Variablen wurden in diesem Modell beachtet. Das Grundgerüst des Modells besteht aus mehreren einzelnen Grundelementen. Hierzu zählen der *Kommunikator*, die *Aussage*, das *Medium* und der *Rezipient*. Der Kommunikator ist „jede Person oder Personengruppe, die an der Produktion von öffentlichen, für die Verbreitung durch ein Massenmedium bestimmten Aussagen beteiligt ist, sei es schöpferisch-gestaltend oder kontrollierend“. Ähnlich dem Riley und Riley Modell betrachtet das Modell den Kommunikator nicht als eine isolierte Einheit, sondern als einen integralen Teil der Gesellschaft. Auf den Kommunikator wirken demnach unterschiedliche Einflüsse, die sich aus den sozialen Beziehungen, Strukturen der Institution und aus seinem Selbst- und seinem Publikumsbild ergeben. Durch diese Faktoren wird automatisch auch die Struktur der *Aussage* beeinflusst. Eine Aussage definiert Maletzke als eine *symbolhafte Objektivation*, die von einem Menschen erstellt wird, um bei einem anderen Menschen physische Prozesse zu initiieren, die wiederum in einer sinnvollen Handlung im Zusammenhang mit der Bedeutung der Aussage stehen. Für die Verbreitung von Botschaften werden *Medien* genutzt. Medien für die Massenkommunikation sind nach Maletzke technische Instrumente, mit denen Aussagen öffentlich, einseitig und indirekt dem Publikum zugänglich gemacht werden. Das Medium selbst steht in einer bestimmten Relation

zum Kommunikator. Durch seine Eigenschaften und Bedingungen beeinflusst es die Tätigkeiten und Aussagen des Kommunikators. Der letzte Bestandteil des Modells ist der *Rezipient*. Dieser wird als „jede Person, die eine durch ein Massenmedium vermittelte Aussage sowie, *entschlüsselt*, sodass der Sinn der Aussage dieser Person - zumindest in groben Zügen - zugänglich wird“ definiert [Mal63, S.77]. Der Rezipient besitzt die Freiheit sich aus einem Medienangebot eine bestimmte Aussage auszuwählen. Die ausgewählte Aussage übt eine Wirkung auf den Rezipienten aus. Das Auswählen einer bestimmten Aussage wie auch die Wirkung sind von den sozialen Beziehungen, Charakter des Rezipienten und von seinem Selbstbild und Art des Mediums abhängig. Der Rezipient ist in der Lage dem Kommunikator Antworten zu liefern und damit eine Resonanz beziehungsweise eine Rückkopplung zu liefern.

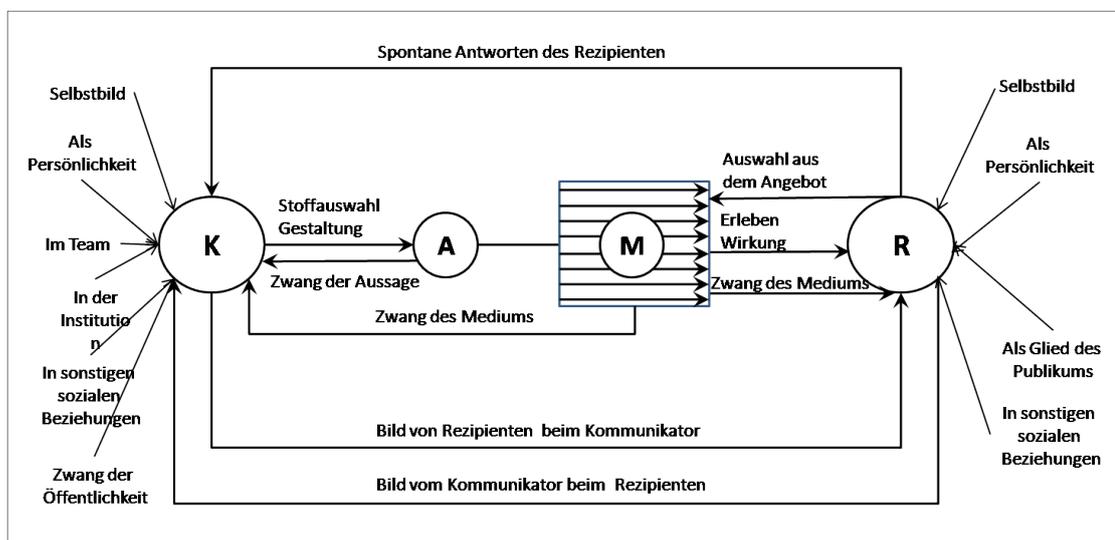


Abbildung 6.9.: Feldschema von Maletzke, angelehnt an: [Mal72, S.14].

Das Modell der Massenkommunikation von Maletzke, das *Feldschema der Massenkommunikation*, baut auf den bereits vorgestellten nachrichtentechnischen Überlegungen der Informationstheorie von Shannon und Weaver auf und verbindet diese mit soziologischen und psychologischen Aspekten von Kommunikation. Mit diesen Aspekten versucht das Modell die Massenkommunikation differenzierter darzustellen, es bleibt jedoch in einigen Bereichen unscharf. So lässt sich anhand des Modells nicht genau sagen, in welcher Relation sich die beiden Kommunikationspartner zueinander befinden. Zwar lässt es die Möglichkeit eines Rückkopplungsprozesses zu, doch die Tatsache, dass unterschiedliche Rezipienten unterschiedlich auf die gleiche Botschaft reagieren und für die Mitteilungen unterschiedliche Kommunikationskanäle nutzen können, wird in dem Modell nicht berücksichtigt.

6.5.6. Zusammenfassung

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Kommunikationsmodelle stellen unterschiedliche Repräsentationen der Kommunikation dar. Sie abstrahieren auf unterschiedliche Art und Weise von der Realität, um für bestimmte Problemstellungen relevante Aspekte herauszuheben und überschaubar zu präsentieren. Der Vergleich der unterschiedlichen Modelle fing mit einem Reiz-Reaktion-Modell an, zog sich über heuristische Modelle wie das von Lasswell, bis hin zu den Massenkommunikationsmodellen, die unter anderem durch das *Feldschema der Massenkommunikation* repräsentiert wurden. Jedes dieser Modelle hat seine eigenen Stärken, die jedoch, wie in der Diskussion gezeigt wurde, für die Darstellung der Kommunikation in sicherheitskritischen soziotechnischen Systemen nicht ausreichend genug waren. Als nächstes soll mithilfe des im nächsten Abschnitt noch einmal vorgestellten Kommunikationsmodells, die Methode vorgestellt werden, mit der die Kommunikation im sicherheitskritischen System untersucht werden kann.

6.6. Kommunikation in Aufgabenmodellen

Als nächstes soll die Integration der Kommunikation in Aufgabenmodelle diskutiert werden. Während der Diskussion werden Probleme, die beim Modellieren von Kommunikationsvorgängen in einer hierarchischen Struktur eines Aufgabenmodells vorkommen, inklusive möglicher Lösungen vorgestellt.

Das bekannteste Aufgabenmodell, mit integrierter Kommunikation ist wohl das CTT-Modell. Die bereits in Kapitel 2.2.1 beschriebene dazugehörige Modellierungsumgebung CTTE erlaubt es, mit einem zweckmäßigen Symbol den Austausch von Informationen zwischen benachbarten Aufgabenknoten eines Aufgabenmodells derselben Hierarchieebene (Bruder-Knoten eines Aufgabenbaums) zu symbolisieren [Pat99]. Mit diesem Ansatz ist es möglich zu zeigen, dass neben der temporalen Abhängigkeit, die besagt in welcher Reihenfolge die Aufgaben ausgeführt werden, auch eine Abhängigkeit von Informationen zwischen den einzelnen Aufgaben existiert. Das Modellieren der Kommunikation in Aufgabenmodellen mit diesem Editor erlaubt allerdings lediglich die Existenz der Kommunikationsvorgänge mit einem graphischen Element aufzuzeigen. Die Parameter der Kommunikation, wie zum Beispiel: *Medium*, *Inhalt*, *Nachricht* oder *Sicherheitsmechanismen der Informationsübermittlung*, aber auch die *Identität des Senders* oder *Empfängers* während der Kommunikation, bleiben dagegen unberücksichtigt.

Um Kommunikation in Aufgabenmodellen präziser zu beschreiben, ist es nötig, nicht nur die Existenz von Kommunikation aufzuzeigen, sondern auch ihre Eigenschaften zu modellieren. Um die Kommunikationsvorgänge genauer als die bisherigen Ansätze zu modellieren, wurden bereits während der Entwicklung des Aufgabenmodells von AMBOSS mehrere Parameter der Kommunikation berücksichtigt. Eine

Modellierungsumgebung, die Kommunikation in einem sicherheitskritischen System mithilfe von Aufgabenmodellen zu modellieren vermag, wurde während der Projektgruppe AMBOSS, unter demselben Titel erarbeitet. Diese Modellierungsumgebung wurde im Abschnitt 2.2.5 vorgestellt. AMBOSS wurde speziell für die Spezifikation von Aufgaben in sicherheitskritischen Systemen derart erweitert, dass die Untersuchung von relevanten Aspekten, insbesondere der Kommunikation, ermöglicht wird [MS08]. Des Weiteren ermöglicht der Ansatz die Spezifikation von soziotechnischen Systemen unter Berücksichtigung von z.B. *Barrieren, Topologie und Akteuren*.

Ein erster Einsatz des Kommunikationsmodells, das für die Modellierung der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen eingesetzt wurde, wurde bereits in eigenen Veröffentlichungen vorgestellt [MS08], [MS07].

Im Mittelpunkt der nachfolgenden Ausführung soll untersucht werden, ob die Mächtigkeit des Aufgabenmodells von AMBOSS genügt, um mit diesem Ansatz die Kommunikation in Aufgabenmodellen adäquat zu spezifizieren. Dafür ist es nötig, diesen Vorschlag in Bezug auf die Kommunikation genauer zu erläutern.

In gängigen Aufgabenmodellansätzen kann die Kommunikation lediglich zwischen den benachbarten Aufgaben spezifiziert werden [Pat99] oder als eine summative Angabe der Kommunikation zwischen Kommunikator und Rezipienten [SP04]. AMBOSS löst sich von diesen stringenten Vorgaben und behandelt Kommunikation durch die Einfügung von Nachrichtenobjekten und deren Verknüpfung mit Aufgaben als eine strukturelle Information neben der Unteraufgabenhierarchie. Es ist möglich den Kommunikationsaustausch mittels Kommunikationsvorgängen auf jeder Ebene zwischen Bruderknoten und zwischen weiter entfernten Aufgabenknoten von anderen Ebenen zu modellieren.

Kommunikationsvorgänge besitzen jeweils einen *Start-* und einen *Endpunkt*. Auf den Endpunkt eines Kommunikationsvorgangs zeigt der Kommunikationspfeil. Der *Startpunkt* eines Kommunikationsvorgangs wird durch eine Aufgabe gekennzeichnet, aus der die Mitteilung versendet wird und an der der Kommunikationspfeil seinen Ursprung besitzt. Solch eine Aufgabe, zusammen mit der jeweiligen Rolle, von der die Aufgabe ausgeführt wird, wird als Sender bezeichnet. Ein *Endpunkt* eines Kommunikationsvorgangs bezeichnet dagegen eine Aufgabe, zu der die Mitteilung hingeschickt wird. Zusammen mit der Rolle die diese Aufgabe ausführt, bildet sie den Empfänger.

Findet Kommunikation zwischen einzelnen Aufgaben statt, so wird dies innerhalb des Editors mit Pfeilen, auf denen sich Kreise befinden, markiert. Die Pfeile geben die Richtung der Kommunikation an, so wie auf der Abbildung 6.10 dargestellt. Der Kommunikationsvorgang 1 in der Abbildung symbolisiert einen unkritischen Kommunikationsvorgang, der ausgefüllte Pfeil zeigt die Kommunikationsrichtung von *Task 1* nach *Task 3*.

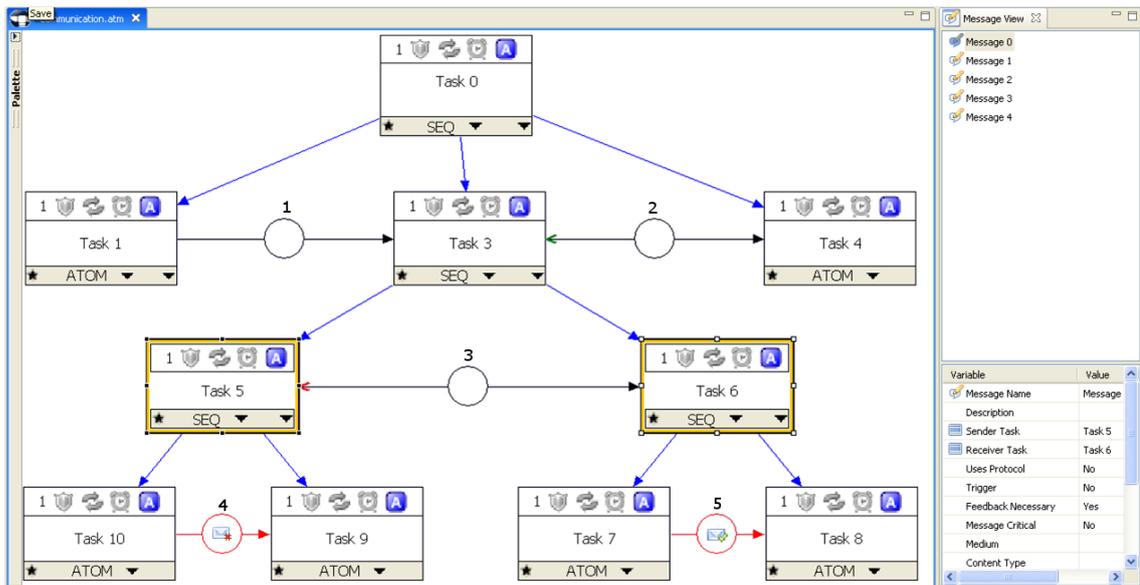


Abbildung 6.10.: Beispiele von Kommunikationsvorgängen modelliert mit AMBOSS

Ähnlich zu den kritischen Aufgaben, lassen sich auch in AMBOSS Kommunikationsvorgänge, die kritisch sind, entsprechend markieren. Handelt es sich, während der Kommunikationsmodellierung, um einen sicherheitskritischen Kommunikationsvorgang, so werden der Kreis und der Pfeil des jeweiligen Kommunikationsvorgangs rot markiert und mit einem Symbol des Briefumschlags versehen. Ist der Kommunikationsvorgang kritisch und wurde ihm ein unsicheres Kontrollobjekt zugewiesen, wird zusätzlich ein roter Stern eingeblendet (Kommunikationsvorgang 4), bei einem sicheren Kontrollobjekt erscheint ein grüner Haken (Kommunikationsvorgang 5). Zusätzlich kann ein *Rückwärtspeil* am Anfang der Verbindung, die einen Kommunikationsvorgang symbolisiert hinzugefügt werden. Dieser *Rückwärtspeil* symbolisiert, das Feedback des Kommunikationsvorgangs (Kommunikationsvorgang 2). Sollte das Feedback vom Modellierer als nicht ausreichend im System umgesetzt werden, um fehlerhafte Kommunikation zu vermeiden, so kann es im Modell entsprechend markiert und als roter Rückwärtspeil dargestellt werden (Kommunikationsvorgang 3).

Zwischen einem Kommunikator und einem Rezipienten können mehrere Kommunikationsvorgänge, die die gleichen Informationen beinhalten, stattfinden. Redundante Kommunikationsvorgänge werden in Systemen immer dann eingesetzt, wenn sichergestellt werden soll, dass eine wichtige Information den Empfänger auf jeden Fall erreicht. Solche Kommunikationsvorgänge können in der Modellierungsumgebung von AMBOSS modelliert werden. Leider befinden sich in der Darstellung die Kommunikationsvorgänge aufeinander, was die Übersichtlichkeit der Darstellung verschlechtert. Der Modellierer erkennt die Redundanz lediglich in der Kommunikationsansicht, die sich auf der rechten Seite der Abbildung 6.10 befindet.

Die Abbildung 6.11 zeigt ein Dialogfenster, mit dem in AMBOSS ein Kommu-

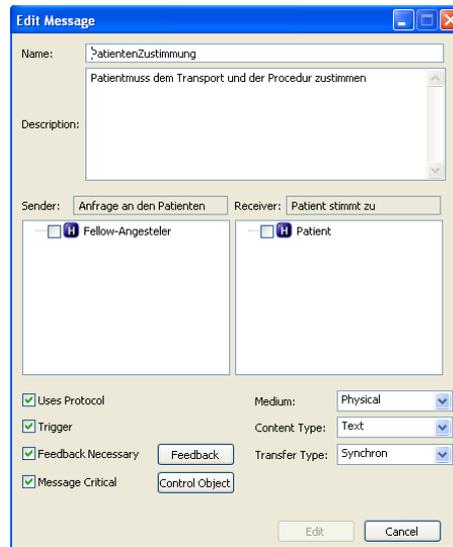


Abbildung 6.11.: Dialogmaske für die Spezifikation von Kommunikation mit AMBOSS

nikationsvorgang mit weiteren Parameter spezifiziert wird. In diesem Beispiel wird das Bestätigen einer Botschaft von einem Empfänger modelliert. Der ursprüngliche Sender erhält von dem Empfänger Informationen über den Empfang, um zu kontrollieren, ob die erhaltene Information korrekt übermittelt und auch richtig verstanden wurde. Solche Situationen lassen sich mit anderen Ansätzen, die auf Aufgabenmodellen basieren und bereits im Kapitel 2.2 vorgestellt wurden, leider nicht eindeutig beschreiben. Dies resultiert daraus, dass in diesen Ansätzen keine Parameter existieren, die solche Abhängigkeiten zufriedenstellend abbilden.

Ansätze wie CTTE zum Beispiel sind in der Lage, Kommunikation in einem Aufgabenmodell zu symbolisieren. Findet Kommunikation in diesem Modell zwischen Aufgaben statt, die gleichzeitig ausgeführt werden sollen, so kann angenommen werden, dass *implizit* auch eine Bestätigung des Empfangs resultiert. Dies kann aber nicht explizit in solchen Modellierungsumgebungen modelliert werden, das Modell von CTT bietet das nicht an. Es ist auch nicht ratsam, jedes Mal wenn ein Modellierer eine implizite Bestätigung modellieren möchte, dies mit einer parallelen Relation mit einem Kommunikationssymbol zu erledigen. Zum einen verliert das Modell an Übersichtlichkeit, weil für eine solche Kommunikation zwischen parallelen Aufgaben doppelt so viele Kommunikationselemente verwendet werden. Zum anderen kann sich eine implizite Annahme über die Kommunikation als reine Spekulation erweisen und im späteren System versteckte Schwachstellen in der Kommunikation verursachen.

Eine weitere Alternative, um das Problem der Modellierung von Feedback in einem hierarchischen Aufgabenmodell zu lösen, ist das Modifizieren des Aufgabenmodells

und das Hinzufügen einer neuen *Kontrollaufgabe*. Diese Aufgabe wird dann nur für das Sichern und Durchführen des Feedbacks verwendet. Eine solche Lösung führt allerdings zwangsläufig zu einer nicht zu vernachlässigenden Erhöhung der Komplexität und Verschlechterung der Transparenz im Aufgabenmodell bezüglich seiner Aufgaben und der Kommunikation. Dies resultiert daraus, dass für jeden Kommunikationsvorgang mit einem vorgesehenen Feedback dem Aufgabenmodell eine zusätzliche Kontrollaufgabe hinzugefügt werden muss. Deswegen scheint eine solche Alternative mit den „speziellen“ Aufgaben nicht erstrebenswert.

Nichts desto trotz besteht für den Modellierer die Möglichkeit, eine *Kontrollaufgabe* für die Modellierung eines Feedbacks zu nutzen. Diese kann verwendet werden, falls ein Feedback ein besonders komplexer und komplizierter Vorgang ist und die reguläre Modellierung eines Feedbacks dem Modellierer nicht ausreichend erscheint.

Eine Erweiterung von AMBOSS bei der Kommunikationsmodellierung macht sich gegenüber anderen Modellen bemerkbar, wenn ein Modellierer spezifiziert, dass eine Aufgabe erst auf Grund des Erhaltens einer Botschaft ausgeführt wird. In einem solchen Fall spielt die Kommunikation neben der temporalen Relation eine entscheidende Rolle für die Aufgabe, die sie empfängt. Denn erst nachdem die gesendete Nachricht empfangen wurde, kann eine weitere Aufgabe ausgeführt werden. Die Botschaft besitzt in diesem Fall eine funktionale Rolle. Zum einen ist eine solche Botschaft eine Bedingung, die erfüllt werden muss, damit eine Aufgabe durchgeführt wird, und zum anderen fungiert sie als ein *Auslöser*, der eine Aufgabe aktiviert.

Eine weitere Schwäche, die sich im Bereich der Kommunikationsmodellierung bei den gängigen Aufgabenmodellierungsansätze zeichnet, ist , dass sie keine Mechanismen besitzen, mit denen eine Sicherung der Kommunikation möglich ist. Die einzige Aussage, die in diesen Ansätzen getroffen werden kann, ist, dass Kommunikation zwischen zwei Aufgaben innerhalb eines Aufgabenmodells stattfindet. Die Umstände, unter welchen die Informationen verschickt und empfangen werden, lassen sich leider nicht modellieren.

Diese und weitere Schwächen der bisherigen Aufgabenmodelle zeigen Gründe auf, warum bereits während der konzeptionellen Entwicklung von AMBOSS Parameter, die einen korrekten Ablauf der Kommunikationsvorgänge ermöglichen, beachtet und in die Software integriert wurden. AMBOSS liefert Details bezüglich der Beschreibung von Kommunikation in einem Aufgabenmodell. Es ermöglicht Aussagen über folgende Punkte zu treffen:

- Welcher Akteur wirkt bei welcher Nachricht mit?
- Sichert ein Protokoll eine Nachricht?
- Ist ein Kommunikationsvorgang kritisch?
- Was für ein Medium wird verwendet?

- Welchen Inhalt besitzt eine Nachricht?
- Wird eine Botschaft synchron oder asynchron kommuniziert?

Darüber hinaus ist es möglich für das Spezifizieren eines Kommunikationsvorgangs, der bereits als kritisch markiert wurde, Aussagen über das Kontrollobjekt eines Kommunikationsvorgangs zu machen, vor allem, ob das Kontrollobjekt sicher ist oder nicht.

Das Modellieren von Kommunikation in der Modellierungsumgebung von AMBOSS besitzt jedoch eine Schwäche. Die Parameter, die das genaue Modellieren der Kommunikation ermöglichen, beziehen sich auf den gesamten jeweiligen Kommunikationsvorgang. Das heißt, dass die Kommunikationsparameter nicht aus der Sicht des Senders und des Empfängers betrachtet werden. Damit lässt sich leider keine Aussage darüber treffen, welche Wechselwirkungen der Empfänger oder der Sender auf einen Kommunikationsvorgang besitzt. Die Eigenschaften der beiden Kontrahenten sind entscheidend, um eindeutig festzustellen an welcher Stelle eine mögliche Schwäche des Systems vorkommen kann oder bereits vorgekommen ist. Um diese Sachverhalte zu analysieren, muss jeder Kommunikationsvorgang von beiden Seiten spezifiziert und analysiert werden. Mithilfe der beidseitigen Berücksichtigung der Kommunikationsvorgänge, ist eine erfolgsversprechende Kommunikationsschwachstellenanalyse und deren genauere Dokumentation, die anhand eines erweiterten Aufgabenmodells erfolgen kann, möglich.

6.6.1. Interne Vererbung von Kommunikation in Aufgabenmodellen

Im folgenden Abschnitt soll erläutert werden, welche negativen Konsequenzen für die Spezifikation der Kommunikation in einem Aufgabenmodell, das Zulassen von Informationsweitergabe entlang der Hierarchie eines Aufgabenmodells, nach sich zieht. Bei der Diskussion über die Modellierung von Kommunikation in Aufgabenmodellen darf die Erwähnung von Problemen, die entstehen können, wenn die Kommunikationsmitteilung innerhalb hierarchischer Struktur eines Aufgabenmodells- das heißt eine Mitteilung wird direkt vom Vater-Knoten auf seine Söhne-Knoten oder von einem solchen Knoten auf ihren Vater-Knoten übermittelt- mitberücksichtigt eingebettet wird, nicht fehlen. Das Einbeziehen von Informationsweitergabe entlang der Hierarchie eines Aufgabenmodells, was *internen Vererbung* genannt wird, und zwischen den Vater-Knoten und Söhnen-Knoten stattfindet, setzt eine vielfältige Fallunterscheidung voraus, die das Modellieren von Kommunikation stark verkompliziert. Beim Modellieren der Kommunikation von soziotechnischen, sicherheitskritischen Systemen sollte darauf geachtet werden, dass die Kommunikation und ihre Parameter eindeutig nachvollziehbar bleiben.

Die in der weiteren Ausführung beschriebenen Aspekte des Vererbens von Informationen zeigen, dass die Aussagekraft eines Aufgabenmodells über seine Kommunikationsvorgänge in einem soziotechnischen System deutlich geschwächt wird. Wenn die Vater-Knoten in einem Aufgabenmodell Dank interner Vererbung an den Inhalt der Kommunikation der Kinder-Knoten gelangen und diese weiter versenden, führt dies einerseits zu einer flexibleren Modellierung der Systeme. Auf der anderen Seite geschieht das jedoch auf Kosten der Genauigkeit, Eindeutigkeit und damit auch der Sicherheit, die eine primäre Rolle in solchen Systemen spielt. Die Sicherheit darf aber beim Modellieren von sicherheitskritischen Systemen nicht beeinträchtigt werden.

Unter der Annahme, dass der Inhalt einer Kommunikation zwischen einem Vater-Knoten und einem Sohn-Knoten *vererbbar* ist, sollen folgende Aspekte diskutiert werden:

- Vererbungsrichtung, die das Vererben annehmen soll.
- Einfluss der temporalen Relationen auf das Vererben von Informationen.
- Eindeutigkeit beim Zuweisen der Rollen und weiteren Parametern.
- Ziel und Zweck der Oberaufgaben.

Als erstes wird erläutert, welche Richtung die Vererbung annehmen soll. Es werden beide Richtungen beachtet. Aus der Struktur der Aufgabenbäume kann entnommen werden, dass in einem Aufgabenbaum beim Ausführen von Aufgaben zuerst atomare Aufgaben (Blätter-Knoten eines Baums) ausgeführt werden, und die höheren Ebenen, bis hin zu Wurzel-Knoten folgen. Dieses Verhalten liegt in der Charakteristik des hierarchischen Aufgabenmodells, das als spezieller Graph die Modellierung einer Monohierarchie erlaubt und dabei die Struktur eines Baums annimmt.

Die Informationen, die den Inhalt von Nachrichten bilden, werden durch die untersten Aufgaben erstellt. Ihre Existenz muss demnach erst gesichert sein. Das bedeutet, dass die atomaren Aufgaben erst durchgeführt werden, damit eine Information kreiert und in einer Nachricht weiter versendet werden kann. Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaft ist die praktische Konsequenz, dass lediglich eine Informationsvererbungsrichtung vom Sohn-Knoten auf einen Vater-Knoten sinnvoll ist und für weitere Erläuterung als möglich beibehalten werden soll.

Ein weiterer Aspekt ist der Zusammenhang der temporalen Relationen und der Informationsweitergabe. Falls ein Fall modelliert werden soll, in dem von einem Vater-Knoten Informationen, die durch einen seiner Kinder-Knoten generiert wurden, versendet werden sollen, so muss Folgendes beachtet werden: Befindet sich zwischen den Kinder-Knoten eine oder mehrere temporale Relationen vom Typ *alternative*, bedeutet das, dass keine eindeutige Aussage darüber getroffen werden kann, welchen Inhalt die Nachricht des Vaters enthält. Falls einer der Kinder-Knoten keine Information generiert, die mitgeteilt werden soll, so lässt sich auch keine Aussage

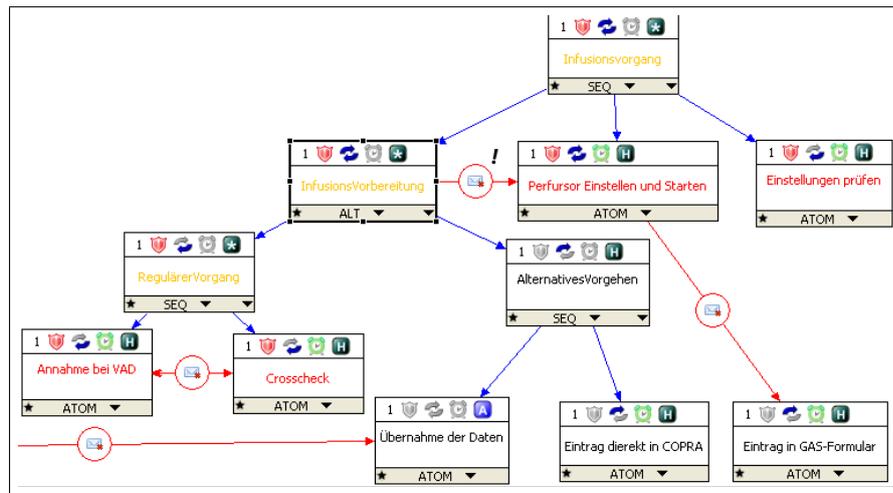


Abbildung 6.12.: Mögliche Schwachstelle einer Informationsweitergabe bei Vererbung der Kommunikation in Aufgabenmodellen

darüber treffen, ob überhaupt eine Information zum Versenden kreiert wurde. Ein Beispiel, für ein solches Problem zeigt die Abbildung 6.12.

In diesem Beispiel ist der Analyst nicht in der Lage eindeutig zu entscheiden, ob die Daten für die Perfusorpumpe nach der Infusionsvorbereitung überprüft werden oder nicht. Eine solche Situation entsteht, weil zwischen den einzelnen Teilaufgaben von der Aufgabe der Infusionsvorbereitung ein alternatives Vorgehen, das angestoßen werden kann, existiert. Sollten die nötigen Informationen aus dem alternativen Vorgehen stammen, so entsteht an der mit einem Ausrufezeichen „!“ gekennzeichneten Stelle eine mögliche Schwachstelle. Beim Verwenden der gleichen Idee ist es möglich, auch Beispiele zu konstruieren, in denen die Informationen gegensätzlich sind, und bei höherer Komplexität ist es schwierig, einen Überblick über die solche (impliziten) Kommunikationswege zu behalten.

Der nächste Punkt, der eine relevante Rolle in den Aufgabenmodellen spielt und einen Einfluss auf die Kommunikation ausübt, ist das Abstrahieren von Details der Informationen in den Aufgaben auf höheren Hierarchieebenen eines Aufgabenbaums. Findet eine Kommunikation zwischen zwei Blättern statt, so befindet sich der Austausch von Informationen auf einer Ebene, auf der die Aufgaben tatsächlich beschrieben und ausgeführt werden. Eine solche Vorgehensweise führt zu Eindeutigkeit. Das Kommunizieren kann sofort nachvollzogen werden. In diesem Fall werden Informationen auf derselben Hierarchieebene kreiert, versendet, empfangen und verarbeitet. Sollte der Inhalt einer Kommunikation zusätzlich von einem weiteren Vater-Knoten versendet werden, so kann es sein, dass die Abstraktionsebene des Vaters sich so weit von der ursprünglichen Quelle der Kommunikation befindet, dass zum Beispiel keine eindeutige Aussage mehr darüber getroffen werden kann, welche Instanzen der Rollen an dieser bestimmten Kommunikation partizipieren. Zu solchen Problemen

kann es kommen, wenn auf bestimmten Ebenen des Aufgabenmodells Informationen während des Modellierungsvorgangs abstrahiert werden.

Eine korrekte Rollenzuweisung beim Modellieren spielt bei sicherheitsbehafteten Systemen eine entscheidende Rolle. Vor allem dann, wenn in soziotechnischen Systemen unterschiedliche Akteure mit mehreren Rollen an einer Aufgabe teilnehmen. Es ist für den Analysten essentiell zu wissen wer wann an welcher Aufgabe partizipierte.

Die Akteure eines soziotechnischen Systems und ihre Rollen selbst sind oft vom Modellierer erst auf den unteren oder sogar erst auf der atomaren Ebene möglich zuzuweisen. Das Modellieren von Kommunikation auf den höheren Abstraktionsebenen kann sich unter solchen Umständen schnell als zu unscharf erweisen. Diese Sachlage kann auf alle Aufgabenparameter, deren Inhalt erst auf den unteren Abstraktionsebenen erzeugt oder den Aufgaben zugewiesen wird, verallgemeinert werden.

Als letztes Argument, das gegen das Vererben von Informationen in einem hierarchischem Aufgabenmodell spricht, ist der Zweck von Vater-Aufgaben. Diese Knoten gruppieren in einem Aufgabenbaum primär Unteraufgaben. Sollten von solchen Knoten Informationen an deren Kinder-Knoten weiter vererbt werden, so empfiehlt es sich explizit für diesen Zweck einen zusätzlichen Typ von Aufgaben-Knoten im Aufgabenmodell zu kreieren, oder die Verbindungskanten so zu verändern, dass nachvollzogen werden kann, welche Knoten eines Aufgabenmodells miteinander kommunizieren. Dies würde die tatsächliche Funktion der Aufgaben entfremden und löst die bereits besprochenen Probleme der Eindeutigkeit der vererbten Informationen nicht. Zusätzlich würden dem Aufgabenmodell bei dieser Lösung Kommunikationsaufgaben hinzugefügt, welche die Komplexität des ersteren (stark) erhöhen.

Obwohl die oben genannten Argumente gegen eine interne Vererbung von Informationen innerhalb eines Aufgabenmodells sprechen, gibt es Situationen, an denen ein Modellierer eben solche Möglichkeit zulassen möchte und die Kommunikation auf einer abstrakten Ebene einer Hierarchie modelliert, ohne gegen die Eindeutigkeit unnötig zu verstoßen und unübersichtliche Strukturen zu erzeugen. Dies passiert, wenn die Unteraufgaben, von denen die Nachricht gesendet werden soll, keine Möglichkeit bieten eine Unstimmigkeit bezüglich der Kommunikation zu produzieren. Dies ist der Fall, wenn eindeutig bestimmt werden kann, dass die Information der Kommunikationsmitteilung nur von einer bestimmten Unteraufgabe stammen und die kommunizierende Rolle eindeutig dem Kommunikationsvorgang zugeordnet werden kann.

Trotz der letzten Ausnahme wurde mit der Diskussion gezeigt, dass das Vererben von Kommunikation innerhalb eines Aufgabenmodells kein geeignetes Mittel der Informationsweitergabe ist und während der Modellierung vermieden werden sollte. Des Weiteren wurde darauf hingewiesen, dass Kommunikation auf der Ebene modelliert werden sollte, auf der die Informationen generiert und verarbeitet werden. Dabei sind zu abstrakte Ebenen zu vermeiden. Dies soll beachtet werden, um eine eindeutige Modellierung von Kommunikation zu erreichen. Die angestrebte Methodik wird die Vererbung der Kommunikation explizit in das vorgestellte Verfahren

nicht mit einbeziehen.

Nachdem die Modellierung der Kommunikation zusammen mit dem Modellierungsansatz von AMBOSS beschrieben wurde und auf die Anforderungen wie auch Probleme der Spezifikation der Kommunikationsvorgänge in hierarchischen Aufgabenmodelle eingegangen wurde, soll als nächstes die Methode der Analyse von Kommunikationsschwachstellen in einem Aufgabenmodell erstellt werden.

6.7. Aufstellung eines Verfahrens für eine systematische Spezifikation und Analyse von Kommunikationsschwachstellen in Aufgabenmodellen

Im Vordergrund des Verfahrens steht die Erarbeitung eines Beurteilungskriteriums, indem die wichtigsten Kommunikationsparameter, die als (c_1, \dots, c_k) symbolisiert werden, nacheinander untersucht werden. Die ausgewählten Parameter bilden die Grundlage, auf der die Untersuchungsschritte basieren. Für die Beurteilung der Kommunikation in einem Aufgabenmodell wird für jedes Paar von Aufgaben, für die ein Kommunikationsvorgang in einem bereits aufgestellten Aufgabenmodell aufgezeichnet wurde, ein Tupel $\mathfrak{R}_{T_{sender}, T_{empfaenger}}(c_1, \dots, c_k)$ aufgestellt, um auf dessen Basis den zugehörigen Kommunikationsvorgang zu beurteilen. Bevor eine detaillierte Erklärung der einzelnen Schritte vorgestellt wird, soll ein kurzer Überblick, der in der Abbildung 6.13 schematisch dargestellt wird, über das Vorgehen erfolgen.



Abbildung 6.13.: Analyseprozess von Kommunikation

1. **Zuweisung der einzelnen Kommunikationsvorgänge** zu einer Prioritätsgruppe. Dieser Vorgang wird durchgeführt, um die Kommunikationsvorgänge nach ihrer Kritikalität zu systematisieren.
2. **Quantitatives Beurteilen** der einzelnen Parameter. In diesem Schritt werden die einzelnen Nachrichtenvorgänge der jeweiligen Kritikalitätsklasse mittels bidirektionalem Abgleich untersucht. Es werden die wichtigsten Schwachstellen von Nachrichtenvorgängen markiert.
3. **Qualitative Beurteilung** von extrahierten Kommunikationsparametern mittels einer Notenskala. Hiermit lassen sich die einzelnen Parameter qualitativ abschätzen.
4. **Aggregation und Auswertung der Schwachpunkte** von Kommunikationsvorgängen in Form einer Tabelle.
5. **Rahmen für Verbesserungsvorschläge** soll vom Experten für die einzelnen Kommunikationsparameter vorgeschlagen werden.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Beurteilungskalküls im Detail erklärt.

6.7.1. Schritt eins: Aufstellen der Prioritätsklassen

Im ersten Schritt des Verfahrens werden nacheinander alle Kommunikationsvorgänge, die in einem Aufgabenmodell explizit als solche modelliert wurden, betrachtet und einer der vier vorgestellten Prioritätsklassen, die nach ihrer Kritikalität festgestellt wurden, zugewiesen. Die Klassifizierung der Aufgaben wird durchgeführt, um Kommunikationsvorgänge, die als besonders kritisch gesehen werden, als erste zu untersuchen. Danach schließen sich alle weiteren Kommunikationsvorgänge mit abnehmender Kritikalitätsstufe an. Infolgedessen soll eine Methode angestrebt werden, die von Anfang an ein systematisches Vorgehen initiiert.

Zuerst werden Kommunikationsvorgänge untersucht, deren Aufgabenpaare miteinander kommunizieren und bei denen die Aufgaben beider Kommunikationspartner (t_S, t_E) ¹¹ aus der Menge der kritischen Aufgaben M_k stammen. Sollten Kommunikationsvorgänge bereits im Vorfeld von einem Experten als kritisch markiert worden sein, so werden sie ohne Vorauswahl auch der ersten und höchsten Kritikalitätsklasse zugewiesen. Dieser Schritt ermöglicht Kommunikationspfade herauszufinden, die bei der Untersuchung die höchste Priorität erlangen.

T : Aufgabe

K : $T \times T$ mit $k = (t_S, t_E) \in K$

$KlasseA \subseteq K$, $KlasseB \subseteq K$, $KlasseC \subseteq K$ und $KlasseD \subseteq K$

$M_k = \{t \in T \mid t \text{ ist kritisch}\}$

$KlasseA = \{(t_S, t_E) \in K \mid (t_S \in M_k) \wedge (t_E \in M_k)\}$

Danach werden Kommunikationsvorgänge betrachtet, bei denen die Empfänger-aufgabe als eine kritische Aufgabe markiert wurde. Dieser Schritt soll die Aufmerksamkeit auf den Informationsvorgang lenken, bei dem der Empfänger mit Informationen versorgt wird und eine kritische Aufgabe ausführt.

$KlasseB = \{(t_S, t_E) \in K \mid (t_S \notin M_k) \wedge (t_E \in M_k)\}$

Zur dritten Prioritätsklasse, der Klasse C, gehören die Kommunikationsvorgänge, bei denen die Aufgabe des Senders als kritisch markiert wurde. Kommunikationsvorgänge dieser Klasse wurden von den Elementen der *Klasse B* abgegrenzt. Kommunikationsvorgänge, die keine kritische Aufgabe mit Informationen *versorgen*, wurden mit einer niedrigeren Priorität versehen.

¹¹ t_S —steht für den Sender, t_E —steht für den Empfänger

Es wird angenommen, dass Informationen, auf deren Basis Entscheidungen für kritische Aufgaben getroffen werden, wichtiger sind, als Informationen, die aus kritischen Aufgaben stammen und für *normale* Aufgaben verwendet werden.

$$KlasseC = \{(t_S, t_E) \in K | (t_S \in M_k) \wedge (t_E \notin M_k)\}$$

Die vierte und letzte Prioritätsklasse entsteht aus der Auswahl von Kommunikationsvorgängen, bei denen weder die Aufgabe des Senders noch des Empfängers als kritisch gekennzeichnet wurde.

$$KlasseD = \{(t_S, t_E) \in K | (t_S \notin M_k) \wedge (t_E \notin M_k)\}$$

Das Ergebnis des ersten Schrittes ist eine Klassifizierung der einzelnen Vorgänge, die in einer tabellarischen Form erfolgt. Eine Zusammenfassung der Prioritätsklassen zeigt Tabelle 6.1.

Klasse	Senderaufgabe	Empfängeraufgabe
A	kritisch	kritisch
B	nicht kritisch	kritisch
C	kritisch	nicht kritisch
D	nicht kritisch	nicht kritisch

Tabelle 6.1.: Überblick über die Prioritätsklassen der Kommunikationsvorgänge im ersten Schritt des Verfahrens

Für das Festhalten von der Zuordnung der Kommunikationsvorgänge zu einer entsprechenden Kritikalitätsklasse eignet sich eine Tabelle, so wie die 6.2. In die erste Spalte mit der Aufschrift *Vorgang*, werden die fortlaufenden Nummern von den Kommunikationsvorgängen, die direkt aus dem Aufgabenmodell entnommen werden können, notiert. In der zweiten und dritten Spalte wird festgehalten, welche der Aufgaben als kritisch oder nicht kritisch im Modell markiert wurden. In die sechste Spalte mit der Überschrift *Klasse* wird die Klasse, der ein Vorgang zugeordnet wird, aufgeschrieben. Die vierte und fünfte Spalte werden genutzt, um die Aufgaben, anhand derer die Zuweisung der Kritikalitätsklassen erfolgte, zu identifizieren. Dazu können zum Beispiel die Namen der Aufgaben genutzt werden.

Vorgang	Sender	Empfänger	Sender_{ID}	Empfänger_{ID}	Klasse
1					
2					
3					
...					

Tabelle 6.2.: Priorisierung der Kommunikationsvorgänge

6.7.2. Schritt zwei: Quantitative Beurteilung einzelner Kommunikationsparameter

Nachdem im ersten Schritt die einzelnen Kommunikationsvorgänge klassifiziert wurden, schließt sich nun die quantitative Beurteilung der ausgewählten Parameter an. Dies passiert aus der Sicht des Senders und des Empfängers. Die Beurteilung wird systematisch durch alle Kommunikationsvorgänge, angefangen mit der höchsten Kritikalitätsklasse *A* bis zur niedrigsten Klasse *D*, durchgeführt. Sollten eine oder mehrere Unregelmäßigkeiten in den Kommunikationsvorgängen auftreten, so ist es möglich, solche bereits in dieser (frühen) Phase der Methode aufzudecken und einen Systemanalysten (oder einen Systemdesigner, sofern dieser an der Untersuchung beteiligt ist) auf solche Schwachstellen aufmerksam zu machen.

Ziel ist es, während dieses Vorgangs festzustellen, an welcher Stelle im Modell eine Abweichung in der Kommunikation möglich ist und welche Aufgaben dadurch direkt *betroffen* sind. Die Methode erlaubt in diesem Schritt eine Aussage darüber zu treffen, ob die Parameter von beiden Seiten des Kommunikationsprozesses gleichwertig *behandelt* werden, oder ob sich bei den Kommunikationsprozessen Unregelmäßigkeiten eingeschlichen haben. Es ist anzumerken, dass in diesem Schritt der Methode keine qualitative Beurteilung der einzelnen Parameter stattfindet, also wird keine Aussage darüber gemacht, wie gut oder schlecht ein Parameter gewählt wurde.

Darüber hinaus kann allerdings dank der zusätzlichen Informationen im verwendeten Aufgabenmodell und der beidseitigen Untersuchung der Kommunikationsvorgänge gesehen werden, welcher Akteur jeweils beteiligt ist. So können lokale Schwachstellen einer Rolle zugeordnet werden.

Als erstes werden während der quantitativen Beurteilung drei Parameter des Kontrollprozesses von dem jeweiligen Kommunikationsvorgang untersucht. Der Kontrollprozess wird in diesem Schritt priorisiert, da die Methode vor allem im Bereich der sicherheitskritischen Systeme genutzt werden soll und mit einem Kontrollprozess sichergestellt wird, dass eine Kommunikation korrekt durchgeführt wird. Die zu untersuchenden Parameter sind: *das Protokoll*, *die Rückmeldung* und *die Redundanz*.

An erster Stelle wird das *Protokoll* untersucht, denn die Nicht-Einhaltung von Kommunikationsvorschriften ist der meisten Gründe für eine fehlerhafte Kommunikation. Darüber hinaus schreibt ein Protokoll vor wie eventuelle Übertragungsfehler, während eines Kommunikationsvorgangs, vermieden oder behoben werden. Diese Eigenschaft sichert also auch eine mögliche Ausbesserung einer fehlerhaften Übertragung. Dies verstärkt zusätzlich die vordergründige Rolle des Parameters.

Nach dem Protokoll wird das *Feedback* als Parameter einer Botschaft untersucht. Mit einer *Gegenbotschaft* kann die korrekte Nachrichtenübertragung kontrolliert werden. Die Wichtigkeit des Parameters wurde bereits im Abschnitt 6.4.3 erläutert und anhand von mehreren Beispielen begründet.

Der letzte Parameter des Kontrollprozesses, der untersucht wird, ist *die Redundanz*. Sie schützt die Kommunikation vor einem Informationsverlust und ist gleich-

zeitig ihr reduzierbarer Teil. Damit steht sie an der dritten Stelle des zu untersuchenden Kontrollprozesses.

Nachdem die erste Untersuchung des Kontrollprozesses abgeschlossen ist, sollen die funktionalen Eigenschaften in den Mittelpunkt der Analyse gestellt werden. In unserem Kommunikationsmodell ist das der Trigger. Er besitzt eine wichtige funktionale Eigenschaft, mit der die Aufgaben aktiviert werden. An dieser Stelle soll vor allem festgestellt werden, ob ein Kommunikationsvorgang als ein Trigger agiert und ob dieser wahrgenommen oder ignoriert wird, oder überflüssig ist.

Als nächstes wird der Fokus auf das Kommunikationsobjekt gelegt. Es wird festgestellt, ob der *Kommunikationskanal* (Medium) für den ausgewählten Vorgang eindeutig bestimmt und genutzt wird.

Als letztes wird die physikalische *Umgebung* analysiert. Dabei soll nicht die Übertragung selbst im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, sondern Parameter, die mögliche Unstimmigkeiten bezüglich der topologischen Inkonsistenz begünstigen.

Protokoll

Die Angabe des Parameters *Protokoll* weist darauf hin, ob der Verlauf eines Kommunikationsvorgangs in einem System in einem festgelegten Rahmen stattfindet. Bei der Untersuchung wird festgestellt, ob sich die beiden Kommunikationspartner an die *Spielregeln* beim Mitteilen von Informationen halten. Der Zustand des Parameters *Protokoll* kann die Werte von *vorhanden* und *genutzt*, *manchmal genutzt*, *nicht genutzt* bis *nicht vorhanden* annehmen.

Die sprachlich benannten (in diesem Fall 4) Zustände von den Kommunikationsparametern werden stellvertretend in den Tabellen mit Werten belegt. Im Fall des Protokolls von 1 bis 4 (vgl. Tabelle 6.3). Damit wird ein sprachliches Urteil eines Experten in eine Zahl umgesetzt. So wird zum Beispiel die *konsequente Nutzung* und das *Vorhandensein* eines Protokolls von der Seite des Senders und des Empfängers als $P_s = 1$ und $P_e = 1$ notiert. Dies wird getan, um die Übersichtlichkeit in Tabellen, in denen die Ausprägungen der einzelnen Parameter von der Seite des Senders und des Empfängers miteinander kombiniert und verglichen werden, zu gewährleisten. In diesen Tabellen werden den Wertpaaren mögliche *Folgen*, die sich aus den Unstimmigkeiten eines bestimmten Parameters z.B. des Protokolls (vgl. Tabelle 6.4) ergeben können, zugeordnet. Eine solche Vorgehensweise wird für weitere Parameter übernommen.

Je nachdem wie die Ausprägung eines Zustands vom Protokoll festgestellt wurde, ist es möglich unterschiedlich starke Schwachstellen herauszufinden. Kommt es zum Beispiel zu einer Situation, in der einer der Kommunikationspartner das vorgesehene Kommunikationsprotokoll inkonsequent einsetzt, so kann dies schnell zu so genannten *versteckten Fehlern* führen. Als versteckte oder latente Fehler (*engl. latent failure*) werden solche Fehler bezeichnet, die im System verbleiben, bis eine geeignete Kombination von Parametern sie aktiviert (vgl. Abschnitt 3.1.3).

Eine plausible Möglichkeit, wann latente Fehler im Bereich des Protokolls vorkommen können, zeigt die zweite Zeile der Tabelle 6.4. An dieser Stelle nimmt das *Senderprotokoll* den Wert 1 und das *Empfängerprotokoll* den Wert 2 an. Das bedeutet, dass, nach dem Expertenurteil, das genutzte Protokoll dem Empfänger *bekannt* war, aber nur *manchmal* genutzt wurde. Bei dem Sender dagegen wurde das Protokoll stetig genutzt und war auch vorhanden (bekannt). Diese Situation deutet darauf hin, dass an dieser Stelle der Empfänger mit seinem laschen Umgang mit dem Protokoll einen *latenten Fehler* verursachte und damit eine Gelegenheit für einen *aktiven Fehler* erzeugte. Eine ähnliche Situation stellt die fünfte Zeile dar. Nach der Klassifikation von Ternov und Akselsson [TA05] gehören solche Vorbedingungen von unsicheren Handlungen zu den klassischen Typen von latenten Fehlern (siehe Abschnitt 3.1.3). In einer Organisation, in der die Kommunikationsparameter unterschiedlich mit einem Kommunikationsparameter (in diesem Fall Protokoll) umgehen, kann eine solche Konstellation als latenter Fehler lange unbemerkt bleiben, bis sie unter bestimmten Umständen in einem aktiven Fehler mündet.

Eine derartige Schwachstelle kann verstärkt werden, wenn beide Kommunikationspartner anfangen das Protokoll zu vernachlässigen ($P_s = 2$ und $P_e = 2$). Die Wahrscheinlichkeit, dass dies mit einem aktiven Fehler endet steigt dann entsprechend.

Eine weitere Ausprägung der *Folge* wird als *Abweichung* bezeichnet. Diese Konstellationen zeigen Stellen auf, an denen das Protokoll zwar vorhanden ist, aber nicht genutzt wird, was auf eine Abweichung in einer Prozedur hindeutet. Die letzte Art von Folgen sind *Fehler*. Diese kommen vor, wenn das Protokoll auf einer der Seiten vorhanden ist und auf der anderen fehlt.

$P_{s,e}$	Protokolleigenschaften
1	Protokoll vorhanden & genutzt
2	Protokoll vorhanden & manchmal genutzt
3	Protokoll vorhanden & nicht genutzt
4	Protokoll nicht vorhanden

Tabelle 6.3.: Ausprägungen des Parameters *Protokoll* beim Sender und beim Empfänger im zweiten Schritt

Die zuletzt genannten Konstellationen kennzeichnen einen möglichen Fehler im Systementwurf und sind ein Indikator, der die Notwendigkeit einer tieferen Untersuchung des Systems signalisiert. Die Analyse kann am besten bereits an solchen lokalen Schwachstellen, die in einem Aufgabenmodell gezeigt werden, begonnen werden, um mögliche globale Probleme eines soziotechnischen Systems zu entdecken.

Die oben beschriebenen Sachlagen und deren Folgen beschränken sich nicht nur auf den Parameter *Protokoll*, sondern können für weitere Parameter der Kommunikation übernommen werden. Dies wird entsprechend in weiteren Tabellen vermerkt und

Nr.	Senderseite (P_s)	Empfängerseite (P_e)	Folgen
1	$P_s = 1$	$P_e = 1$	keine
2	$P_s = 1$	$P_e = 2$	latenter Fehler
3	$P_s = 1$	$P_e = 3$	Abweichung
4	$P_s = 1$	$P_e = 4$	Fehler
5	$P_s = 2$	$P_e = 1$	latenter Fehler
6	$P_s = 2$	$P_e = 2$	latenter Fehler
7	$P_s = 2$	$P_e = 3$	Abweichung
8	$P_s = 2$	$P_e = 4$	Fehler
9	$P_s = 3$	$P_e = 1$	Abweichung
10	$P_s = 3$	$P_e = 2$	Abweichung
11	$P_s = 3$	$P_e = 3$	Abweichung
12	$P_s = 3$	$P_e = 4$	Fehler
13	$P_s = 4$	$P_e = 1$	Fehler
14	$P_s = 4$	$P_e = 2$	Fehler
15	$P_s = 4$	$P_e = 3$	Fehler
16	$P_s = 4$	$P_e = 4$	Fehler

Tabelle 6.4.: Kombination der Ausprägungen des Parameters *Protokoll* zwischen einem Sender und Empfänger mit möglichen Folgen für das System

anhand der Beschreibung der Analyse von weiteren Kommunikationsparametern punktuell erläutert.

Rückmeldung

Die folgenden Tabellen 6.5 und 6.6, zeigen mögliche Ausprägungen des Parameters *Rückmeldung* (Feedback). Mögliche *Folgen*, die aufgrund von unterschiedlicher Handhabung der Kommunikation erfolgen, werden in der Tabelle 6.7 dargestellt.

Ähnlich zu dem Parameter *Protokoll* zeichnen sich besondere Schwachstellen in einem Kommunikationsvorgang durch das Auftreten von latenten Fehlern ab. Bei der *Rückmeldung* bilden solche Konstellationen die Wertpaare; ($F_s = 1$ und $F_e = 2$) in der Zeile 2, ($F_s = 2$ und $F_e = 1$) in der Zeile 5 wie auch ($F_s = 2$ und $F_e = 2$) in der Zeile 6, bei denen Unregelmäßigkeiten in der Wahrnehmung oder/und in dem Versenden von einer Bestätigung stattfinden. Diese Unregelmäßigkeiten, die unbemerkt bleiben können, kreieren Gelegenheiten für *aktive Fehler*.

Ein weiterer Schwachpunkt eines sicherheitskritischen Systems bezüglich der Rückmeldung zeichnet sich an dieser Stelle durch das Ignorieren oder gar Fehlen von entsprechenden Bestätigungsmechanismen aus. Solche Konstellationen können in der Tabelle 6.7 zum Beispiel in Zeilen 3 und 4 beobachtet werden. In Zeile 3 wurde das Versenden einer Bestätigung einseitig ignoriert, so wie in den Zeilen 7, 9, 10, oder beidseitig so wie in der Zeile 11. Die *Folge* wird als Abweichung (in einer Prozedur)

gekennzeichnet.

Das Fehlen eines Parameters, an dieser Stelle ist das die Rückmeldung (Bestätigung), deutet auf einen Fehler hin und wird in den Zeilen 4, 8 und 12 bis 16 gezeigt.

Vor allem zwischen Aufgaben, die kritisch sind, ist es für den Akteur, der die Aufgabe ausführt und seine Wahrnehmung, notwendig zu wissen, ob seine Handlungen auch die erwarteten Änderungen im System bewirken. Konstellation, in denen das Feedback fehlt, führen zwangsläufig zu einem unerwünschten Systemzustand. Die Problematik wurde bereits ausführlich untersucht und in dieser Ausarbeitung im Kapitel 3 bereits diskutiert.

F_s	Rückmeldungseigenschaften beim Sender
1	erwartet immer eine Bestätigung
2	Bestätigung wird unregelmäßig wahrgenommen
3	Bestätigung wird ignoriert
4	Bestätigung nicht vorhanden

Tabelle 6.5.: Ausprägungen des Parameters *Rückmeldung* im Kommunikationsmodell auf der Senderseite

F_e	Feedbackigenschaften beim Empfänger
1	Versenden einer Bestätigung immer vorhanden
2	Versenden einer Bestätigung manchmal vorhanden
3	Versenden einer Bestätigung wird ignoriert
4	Versenden einer Bestätigung nicht vorhanden

Tabelle 6.6.: Ausprägungen des Parameters *Rückmeldung* im Kommunikationsmodell auf der Empfängerseite

Nr.	Senderseite (F_s)	Empfängerseite (F_e)	Folgen
1	$F_s = 1$	$F_e = 1$	keine
2	$F_s = 1$	$F_e = 2$	latenter Fehler
3	$F_s = 1$	$F_e = 3$	Abweichung
4	$F_s = 1$	$F_e = 4$	Fehler
5	$F_s = 2$	$F_e = 1$	latenter Fehler
6	$F_s = 2$	$F_e = 2$	latenter Fehler
7	$F_s = 2$	$F_e = 3$	Abweichung
8	$F_s = 2$	$F_e = 4$	Fehler
9	$F_s = 3$	$F_e = 1$	Abweichung
10	$F_s = 3$	$F_e = 2$	Abweichung
11	$F_s = 3$	$F_e = 3$	Abweichung
12	$F_s = 3$	$F_e = 4$	Fehler
13	$F_s = 4$	$F_e = 1$	Fehler
14	$F_s = 4$	$F_e = 2$	Fehler
15	$F_s = 4$	$F_e = 3$	Fehler
16	$F_s = 4$	$F_e = 4$	Fehler

Tabelle 6.7.: Kombination der Ausprägungen des Parameters *Rückmeldung* zwischen einem Sender und Empfänger mit möglichen Folgen für das System

Redundanz

In sicherheitskritischen Systemen wird Redundanz dazu genutzt, die Sicherheit zu erhöhen. Im Laufe dieser Ausarbeitung wurden bereits einige beispielhafte Systeme aus der Luft-, Seefahrt und Medizin, die sich diesen Mechanismus zu Nutze machen, erwähnt. Redundanz bedeutet aber auch eine Erhöhung der Komplexität eines Systems und kann damit seine Sicherheit aus dem Gleichgewicht bringen. Diese Problematik wurde im Abschnitt 6.4.3 ausführlich diskutiert.

Die Beurteilung der Parameter und deren Folgen konnten bis jetzt eindeutig vergeben werden. Die Folgen der Beurteilung von Redundanz verlangen einen genaueren Blick. Dies resultiert daraus, dass sicherheitskritische Systeme *Redundanz* zwar besitzen, diese aber nicht andauernd *aktiv* für die Durchführung von Aufgaben nutzen. Deswegen müssen auch die redundanten Kommunikationsvorgänge einzeln im Hinblick auf die Sicherheitsanforderungen eines Systems von einem Experten untersucht und beurteilt werden.

Wenn in einem System Redundanz bezüglich der Kommunikation zwar vorhanden ist, aber nur sporadisch genutzt wird, bedeutet das, dass falls ein Kommunikationsvorgang überprüft werden muss, das Vorhandensein von nötigen Informationen, die die Überprüfung gewährleisten, nicht eindeutig festgestellt werden kann. Man kann sich in solchen Situationen auf die redundanten Daten nicht verlassen.

Ein Beispiel für eine derartige Situation zeigt die zweite Zeile in der Tabelle 6.9, in

der Redundanz auf der Seite des Empfängers zwar vorhanden ist aber nur unregelmäßig genutzt wird. Es scheint, dass der Empfänger die verfügbaren Informationen *nach Gebrauch* abrufen. Diese Konstellation *kann* auf eine Abweichung hindeuten, muss aber nicht, denn die Informationen sind stets vorhanden und können zu jeder Zeit genutzt werden. Verlangt jedoch die Prozedur eines Akteurs, in der die redundanten Informationen genutzt werden, jedes Mal diese zu nutzen, handelt es sich um einen *latenten Fehler*, der eine Gelegenheit für einen aktiven Fehler erzeugt. Einen weiteren latenten Fehler zeigt die sechste Zeile mit dem Wertpaar ($R_s = 2$ und $R_e = 2$), das auf eine instabile Nutzung der Redundanz hindeutet.

Die dritte Zeile der Tabelle deutet dagegen auf einen möglichen Fehler in der Systemgestaltung hin. Dies resultiert aus der Tatsache, dass vorhandene Redundanz bei dem Rezipienten nicht genutzt wird. Eine Verschärfung einer solchen Situation zeigt die vierte Zeile. Hier werden redundante Nachrichten lediglich auf der Seite des Senders genutzt. Auf der Seite des Empfängers fehlt dagegen jegliche Redundanz, was zu Unstimmigkeiten im Ablauf von Kommunikation führt. Weitere Fehler als Folge zeigen die Zeilen 7 bis 15.

$R_{s,e}$	Redundanzeigenschaften beim Sender
1	vorhanden & genutzt
2	vorhanden & unregelmässig genutzt
3	vorhanden & nicht genutzt
4	nicht vorhanden

Tabelle 6.8.: Ausprägungen des Parameters *Redundanz* im Kommunikationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers

Nr.	Senderseite (R_s)	Empfängerseite (R_e)	Folgen
1	$R_s = 1$	$R_e = 1$	keine
2	$R_s = 1$	$R_e = 2$	mögliche Abweichung
3	$R_s = 1$	$R_e = 3$	Fehler
4	$R_s = 1$	$R_e = 4$	Fehler
5	$R_s = 2$	$R_e = 1$	latenter Fehler
6	$R_s = 2$	$R_e = 2$	latenter Fehler
7	$R_s = 2$	$R_s = 3$	Fehler
8	$R_s = 2$	$R_s = 4$	Fehler
9	$R_s = 3$	$R_s = 1$	Fehler
10	$R_s = 3$	$R_s = 2$	Fehler
11	$R_s = 3$	$R_s = 3$	Fehler
12	$R_s = 3$	$R_s = 4$	Fehler
13	$R_s = 4$	$R_s = 1$	Fehler
14	$R_s = 4$	$R_s = 2$	Fehler
15	$R_s = 4$	$R_s = 3$	Fehler
16	$R_s = 4$	$R_e = 4$	keine

Tabelle 6.9.: Mögliche Folgen bei Unregelmäßigkeiten in der *Redundanz*

Trigger

Eine Mitteilung zwischen Kommunikationspartnern, die sich als Ursache für das Durchführen von einer Aktivität des Rezipienten herausstellt, wird als Trigger bezeichnet. Diese Definition wurde bereits im Abschnitt 6.4.4 vorgestellt und bis auf weiteres übernommen. Die Tabellen 6.10 und 6.11 zeigen Ausprägungen des Parameters *Trigger* für den Sender und den Empfänger. Mögliche *Folgen*, die sich aufgrund von unterschiedlicher Handhabung des Kommunikationsparameters *Trigger* ergeben, werden in der Tabelle 6.12 dargestellt.

Das Wertpaar ($T_s = 1$ und $T_s = 2$) in der zweiten Zeile der Tabelle 6.12 zeigt eine günstige Situation in der eine Gelegenheit für einen *aktiven Fehler* kreiert wird. Dabei wird vom Empfänger der Trigger nur unregelmäßig wahrgenommen. In Fällen, in denen der Empfänger den Trigger wahrscheinlich nicht wahrgenommen hat und seine Aufgabe trotzdem aktiviert wurde, wurde sie ausschließlich von ihm selbst aktiviert. Diese Situation deutet auf einen latenten Fehler hin.

Eine Alternative zu einer solchen Situation ist die Aktivierung seitens des (technischen) Systems. In solchen Fällen muss der Analyst das System des Akteurs genauer untersuchen, denn es kann sein, dass der Trigger ignoriert wurde, weil er aufgrund des bereits vorhandenen Rhythmus im System überflüssig ist und die Aufgabe automatisch gestartet wird. Diese Situation zeigt die Zeile 4 in der Tabelle 6.12. Ist das jedoch nicht der Fall und wurde der Trigger tatsächlich ignoriert, so handelt es sich um eine Abweichung, die in der Zeile 3 zu sehen ist.

Die Problematik der Selbstaktivierung und deren Modellierung in Aufgabenmodellen wurde bereits in dem Abschnitt 6.4.4 erläutert.

T_s	Triggereigenschaften beim Sender
1	Kommunikation ist ein Trigger
2	Kommunikation ist kein Trigger

Tabelle 6.10.: Ausprägungen des Parameters *Trigger* auf der Seite des Senders

T_e	Triggereigenschaften beim Empfänger
1	immer wahrgenommen und genutzt
2	unregelmäßig wahrgenommen und genutzt
3	Trigger wird ignoriert
4	Trigger ist überflüssig

Tabelle 6.11.: Ausprägungen des Parameters *Trigger* auf der Seite des Empfängers

Nr.	Senderseite (Tr_s)	Empfängerseite (Tr_e)	Folgen
1	$Tr_s = 1$	$Tr_e = 1$	keine
2	$Tr_s = 1$	$Tr_e = 2$	latenter Fehler
3	$Tr_s = 1$	$Tr_e = 3$	Abweichung
4	$Tr_s = 1$	$Tr_e = 4$	Systemrhythmus vorhanden
5	$Tr_s = 2$	$Tr_e = 1$	Fehler
6	$Tr_s = 2$	$Tr_e = 2$	Fehler
7	$Tr_s = 2$	$Tr_e = 3$	Fehler
8	$Tr_s = 2$	$Tr_e = 4$	keine

Tabelle 6.12.: Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter *Trigger*

Kommunikationsmedium und Kommunikationskanal

Die einzelnen Nachrichtenvorgänge, die in diesem Verfahren betrachtet werden, beinhalten jeweils nur einen Kommunikationskanal, mit dem die Kooperationspartner ihre Informationen austauschen. Deswegen schließen sich die Parameter *Artefakt*, *Sichtkontakt* und *Hörkontakt* gegenseitig aus. Bei einer redundanten Kommunikationsübermittlung wird jeder Kommunikationskanal separat modelliert.

Kommunikationsmedium Im Folgenden soll zuerst die Aussage getroffen werden, welches Medium für die Kommunikation in dem jeweiligen Vorgang bestimmt wurde. Damit lässt sich erkennen, ob der Sender und der Empfänger in der Art des Kommunikationsmediums übereinstimmen. Ist das nicht der Fall, so deutet das auf eine Schwäche des modellierten Systems hin.

$CM_{s,e}$	Kommunikationsmedium
1	physikalisches Medium
2	Sichtkontakt
3	Hörkontakt
4	nicht definiert

Tabelle 6.13.: Ausprägungen des Parameters *Medium* im Kommunikationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers

Senderseite (CM_s)	Empfängerseite (CM_e)	Folgen
$CM_s = 1$	$CM_e = 1$	keine
$CM_s = 2$	$CM_e = 2$	keine
$CM_s = 3$	$CM_e = 3$	keine
$CM_s = 4$	$CM_e = 4$	keine
$CM_s = 2$	$CM_e = 1$	Unstimmigkeit
$CM_s = 2$	$CM_e = 3$	Unstimmigkeit
$CM_s = 2$	$CM_e = 4$	Unstimmigkeit
$CM_s = \dots$	$CM_e = \dots$

Tabelle 6.14.: Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter *Medium*

Stimmen die Ausprägungen der einzelnen Parameter (an dieser Stelle ist es das Medium) nicht überein, so handelt es sich um eine fehlende Übereinstimmung zwischen den Kommunikationspartnern, welches Medium und damit auch welcher Kommunikationskanal genutzt werden soll. Dies deutet auf einen Fehler in der Systemgestaltung hin. Ein Beispiel für eine solche Situation wäre, wenn der Kommunikator eine mündliche Übermittlung vorzieht, der Rezipient aber eine schriftliche Bestätigung erwartet. Die Tabelle 6.14 zeigt weitere mögliche Unstimmigkeiten.

Auf eine vollständige Darstellung der Tabelle wurde verzichtet, weil es zu einer *Unstimmigkeit* immer dann kommt, wenn das Medium von der Seite des Senders und des Empfängers nicht übereinstimmt.

Kommunikationskanal Bei einer Übereinstimmung im Parameter *Medium* wird nun die Nutzung des Kommunikationskanals aus beiden Kommunikationsrichtungen untersucht. Dies geschieht auf die gleiche Art und Weise wie bei den anderen bereits beschriebenen Parametern.

Die Tabelle 6.16 zeigt mögliche Folgen der unterschiedlichen Kombinationen der Ausprägungen beim Parameter *Kommunikationskanal*.

Ähnlich zu den bereits beschriebenen Konstellationen von Kommunikationsparametern, die das Auftreten von aktiven Fehler begünstigen und als latente Fehler definiert wurden, bilden die Wertpaare in den Zeilen 2, 5 und 6 ab.

Falls das analysierte System die Möglichkeit von redundanten Kommunikationskanälen beinhaltet und die gleiche Botschaft mit einem anderen Kanal noch einmal übertragen wird und dabei Unregelmäßigkeiten festgestellt worden sind, so kann es sich um einen (besonderen) *latenten Fehler* handeln. Dies geschieht, wenn die Möglichkeit besteht, dass, beim Ausfall eines Kommunikationskanals, die gleiche Information mithilfe eines anderen Kanals doch noch übertragen werden kann und dieser Sachverhalt nicht eindeutig festgestellt werden kann. Dieser wird in den Zeilen 3, 7, 9 und 10 der Tabelle 6.16 als solcher vermerkt. Besteht die Möglichkeit von redundanten Kommunikationskanälen nicht, so handelt es sich um eine (gewöhnliche) *Abweichung* in der Prozedur eines Akteurs. Dies stellt das Wertpaar ($CC_s = 3$ und $CC_e = 3$) dar. In diesem Fall ignorieren beide Seiten den Kommunikationskanal.

Als Fehler wurde Stellen in der Tabelle 6.16 gekennzeichnet, bei denen auf der einen Seite des Kommunikationsvorgangs der Kommunikationskanal existiert und auf der anderen fehlt. Diese Konstellation deutet auf eine fehlerhafte Entwicklung eines Systems hin, indem nur auf einer Seite gestattet wird einen Kanal zu benutzen. Es sind die Zeilen 4 und 12 bis 15.

Die Untersuchung von Kommunikationsparameter innerhalb dieses Schrittes schließt mit der Beurteilung der Sicht- und Audiokanäle eines Systems jeweils aus der Perspektive des Senders und des Empfängers, ab. Da die Ausprägungen des Parameters *Sicht* wie auch des *Hörens* gleich sind, wurde aus diesem Grund auf die vollständige Darstellung von den Konstellationen der Unstimmigkeiten in separaten Tabellen verzichtet. Die Ausprägungen gleichen den Ausprägungen aus der Tabelle 6.15. Die Tabelle 6.16 soll dabei als Referenz für die möglichen Unstimmigkeiten innerhalb der weiteren zwei Parameter (das Hören und das Sehen) dienen.

$CC_{s,e}$	Kommunikationskanal
1	vorhanden und genutzt
2	vorhanden und unregelmäßig genutzt
3	vorhanden und nicht genutzt
4	nicht vorhanden

Tabelle 6.15.: Ausprägungen des Parameters *Kommunikationskanal* im Kommunikationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers

Nr.	Senderseite (CC_s)	Empfängerseite (CC_e)	Folgen
1	$CC_s = 1$	$CC_e = 1$	keine
2	$CC_s = 1$	$CC_e = 2$	latenter Fehler
3	$CC_s = 1$	$CC_e = 3$	Abweichung / lat. Fehler*
4	$CC_s = 1$	$CC_e = 4$	Fehler
5	$CC_s = 2$	$CC_e = 1$	latenter Fehler
6	$CC_s = 2$	$CC_e = 2$	latenter Fehler
7	$CC_s = 2$	$CC_e = 3$	Abweichung / lat. Fehler*
8	$CC_s = 2$	$CC_e = 4$	Fehler
9	$CC_s = 3$	$CC_e = 1$	Abweichung / lat. Fehler*
10	$CC_s = 3$	$CC_e = 2$	Abweichung / lat. Fehler*
11	$CC_s = 3$	$CC_e = 3$	Abweichung
12	$CC_s = 3$	$CC_e = 4$	Fehler
13	$CC_s = 4$	$CC_e = 1$	Fehler
14	$CC_s = 4$	$CC_e = 2$	Fehler
15	$CC_s = 4$	$CC_e = 3$	Fehler
16	$CC_s = 4$	$CC_e = 4$	keine

Tabelle 6.16.: Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter *Kommunikationskanal*

Raum

An dieser Stelle wird festgestellt, ob die räumlichen Gegebenheiten aus der Sicht des Senders und des Empfängers miteinander übereinstimmen. Vor allem soll analysiert werden, ob die beiden Kontrahenten bezüglich der Topologie konsistent sind. Die Tabelle 6.17 beinhaltet die Ausprägungen des Parameters *Raum* und die Tabelle 6.18 zeigt diesbezüglich mögliche Unstimmigkeiten der topologischen Inkonsistenz.

Zu topologischen Unstimmigkeiten der Kommunikation kann es zum Beispiel auf einer Intensivstation kommen, wenn eine Krankenschwester Informationen vom Arzt über ihren Patienten direkt am Bett des Patienten erwartet, diese jedoch vom Arzt im Krankenschwesterzimmer in eine Ablage (von der Krankenschwester) gelegt wurden. Behandeln die Kommunikationspartner den Ort, an dem die Informationen über Patienten (z.B. seine Blutwerte) kommuniziert werden sollen leichtfertig und passieren solche Situationen in unregelmäßigen Abständen, so handelt es sich um *latente Fehler*. Die zugehörigen Konstellationen werden in den Zeilen 2, 5 und 8 der Tabelle 6.18 dargestellt. Kommt es dagegen zu solchen Situationen, so werden sie den *Unstimmigkeiten* zwischen den Kommunikanten und Rezipienten zugeordnet und deuten auf einen *Fehler* im System hin. In diesem Fall ist es die falsche Absprache zwischen der Krankenschwester und dem Arzt. Die entsprechenden Konstellationen können in den Zeilen 3, 4 und 6, 7 der Tabelle 6.18 gefunden werden.

$S_{s,e}$	Raumeigenschaften beim Sender
1	immer selber Raum
2	selber Raum (unregelmäßig)
3	immer unterschiedliche Räume

Tabelle 6.17.: Ausprägungen des Parameters *Raum* im Kommunikationsmodell auf der Seite des Senders und des Empfängers

Nr.	Senderseite (S_s)	Empfängerseite (S_e)	Folgen
1	$S_s = 1$	$S_e = 1$	keine
2	$S_s = 1$	$S_e = 2$	latenter Fehler
3	$S_s = 1$	$S_e = 3$	Unstimmigkeit
4	$S_s = 2$	$S_e = 1$	Unstimmigkeit
5	$S_s = 2$	$S_e = 2$	latenter Fehler
6	$S_s = 2$	$S_e = 3$	Unstimmigkeit
7	$S_s = 3$	$S_e = 1$	Unstimmigkeit
8	$S_s = 3$	$S_e = 2$	latenter Fehler
9	$S_s = 3$	$S_e = 3$	keine

Tabelle 6.18.: Mögliche Folgen von Unregelmäßigkeiten beim Parameter *Raum*

6.7.3. Schritt drei: Qualitative Abschätzung der Kommunikationsparameter

Der vorherige Schritt der Methode ermöglicht es, Kommunikationsschwachstellen eines Systems zu ermitteln, indem die einzelnen Ausprägungen der Parameter aus der Sicht des Senders und des Empfängers miteinander verglichen werden. Nach dem *quantitativen* Vergleich der einzelnen Kenngrößen soll eine Beurteilung der *qualitativen* Seiten der Parameter von einem Experten erfolgen. Ziel ist es, die qualitativen Mängel von den Parameter zu identifizieren und zu beurteilen. Diese qualitative Abschätzung deutet gleichzeitig darauf hin, wie leicht oder wie schwer es zu einer Störung, während des jeweiligen Vorgangs kommen kann. Für diese Beurteilung werden folgende Werte verwendet:

- sehr gut
- gut
- ausreichend
- nicht ausreichend
- nicht vorhanden

Der Experte vergibt in diesem Schritt, mithilfe der benannten Werte, den einzelnen Parametern (praktisch) *Noten* für jeden Kommunikationsvorgang und beurteilt damit wie gut oder wie schlecht sie für einen bestimmten Vorgang geeignet sind. Welche Parameter eines Vorgangs welchen Wert erhalten hängt von der Erfahrung des Experten ab und ist an dieser Stelle subjektiv. So kann der Wert *sehr gut* für optimale Lösungen vergeben werden, *gut* für Lösungen, für die es eine bessere Alternative gibt und *ausreichend* für Lösungen, die gerade den Ansprüchen, die an den Kommunikationsparameter gestellt werden, genügen. Desweiteren würde man die Note *nicht ausreichend* dann vergeben, wenn der Experte mit den Eigenschaften eines bestimmten Parameters nicht einverstanden ist.

Da Analysen von sicherheitskritischen Systemen meistens von Teams von mehreren Experten durchgeführt werden, bietet dieser Schritt eine gute Möglichkeit über die Beurteilung von einzelnen Parametern mit anderen Experten zu sprechen und so die an subjektive Seite der Abschätzung zu relativieren. Dies bietet sich zum Beispiel dann, wenn eine Aussage darüber getroffen werden soll, ob ein Parameter wie z.B. *das Protokoll* die Note *ausreichend* bekommen soll, weil bestimmte Vorschriften oder Empfehlungen gewährleistet werden oder ob diese Kriterien für das Protokoll doch nicht entsprechend ist und der Parameter in den Augen des Experten als *nicht ausreichend* beurteilt wird.

In diesem Schritt der Analyse werden neben den Parametern des Kontrollprozesses (Protokoll, Rückmeldung und Redundanz); des Triggers auch die Aspekte

des technischen Systems, die durch die Eigenschaften des Mediums, die räumlichen Gegebenheiten und durch die audiovisuellen Charakteristiken der Kommunikationsumgebung dargestellt werden, beurteilt. Es werden folgende Parameter abgeschätzt:

- Protokoll
- Rückmeldung
- Redundanz
- Trigger
- Medium
- Sichtkontakt
- Beständigkeit des Sichtkontakts
- Hörkontakt
- Beständigkeit des Hörkontakts
- räumliche Umgebung
- Abschätzung des gesamten Vorgangs

Um eine Konsistenz gegenüber des zweiten Schrittes der Analyse sicherzustellen wird in diesem Schritt die gleiche Reihenfolge der Parameter übernommen. Allerdings werden an dieser Stelle weitere Parameter, die eine bessere Charakteristika eines Raumes gewährleisten, hinzugezogen. Bei den Parametern handelt es sich um: *Sichtkontakt*, *Beständigkeit des Sichtkontakts*, *Hörkontakt*, und *Beständigkeit des Hörkontakts*. Es sind Parameter, die direkt mit der physikalischen Umgebung, in der kommuniziert wird, verbunden sind.

Für die Abschätzung wird die Tabelle 6.19 vorgeschlagen. In die oberste Zelle der Tabelle wird die Nummer des Kommunikationsvorgangs geschrieben. Damit ist die Tabelle eindeutig einem bestimmten Vorgang zugewiesen. Um die vorgeschlagenen Parameter für jeden einzelnen Kommunikationsvorgang beurteilen zu können, wird für jeden Vorgang eine solche Tabelle kreiert.

Bei einem Vorgang, in dem gerade das Protokoll beurteilt werden soll; nehmen wir an das Protokoll ist ideal und der Experte möchte ihn als *sehr gut* abschätzen; wird einmal ein beliebiges Zeichen z.B.: ein „X“ in die gemeinsame Zelle der Spalte der ausgewählten Note, in unserem Fall ist es die Note *sehr gut*, und der Zeile des Parameters, bei uns ist es das *Protokoll*, geschrieben. Hier ist das die rechte Zelle, neben der Zelle mit der Aufschrift *Protokoll*, die sich direkt unter der Zelle mit der Aufschrift *sehr gut* befindet. In die Tabelle 6.19 wurde bereits beispielhaft an diese

Nummer des Kommunikationsvorgangs: ...						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	X					
Rückmeldung						
Redundanz						
Trigger						
Medium						
Sichtkontakt						
Sichtbeständigkeit						
Audio						
Audiobeständigkeit						
Raum selbst						
Gesamte Abschätzung						

Tabelle 6.19.: Qualitative Beurteilung der Parameter im Kommunikationsmodell

Stelle ein X geschrieben. Damit ist die Beurteilung von *Protokoll* abgeschlossen und der Experte kann weitere Parameter benoten.

Mithilfe einer Tabelle können auch mehrere redundante Kommunikationsvorgänge gleichzeitig beurteilt werden. Sollte dies erfolgen, so werden die Nummer der Vorgänge in der obersten Zeile notiert und anstatt eines Zeichens wie X, wird die jeweilige Nummer des Vorgangs in die entsprechende Zelle der Tabelle geschrieben, siehe Beispiel in Abschnitt 7.1.2.

Die vorletzte Spalte der Tabelle soll genutzt werden, falls ein Parameter nicht vorhanden, nicht definiert oder zu einem Parameter keine Angaben vorhanden sind. In die letzte Spalte werden Kommentare des Experten notiert¹².

Falls ein Experte weitere Notizen über bestimmte Parameter aufschreiben möchte, kann dies auch informell geschehen. Zum einen es kann sein, dass die vorgeschlagene Tabelle nicht genug Platz für ausführliche Notizen bieten, zum anderen kann die Übersichtlichkeit einer Tabelle mit zu vielen Notizen verloren gehen. Das Festhalten von Expertennotizen ist jedoch wichtig, denn oft kommen die *entscheidenden* Ideen, die zum Beispiel zum Aufklären vom Systemversagen verhelfen, während des Auseinandersetzens mit einem System (oder Unfall). Damit keine Indizien verloren gehen, können die Notizen im Schritt drei unterhalb der Tabelle der qualitativen Beurteilung erfolgen. Sie werden als erstes im Schritt 4 zusammengetragen.

¹²In den Fallstudien, in denen die Methode validiert wurde, wurde die Spalte vor allem dann genutzt, wenn zu einem bestimmten Parameter keine Angaben gemacht werden konnten.

Nachdem im ersten Schritt die einzelnen Kommunikationsvorgänge nach ihrer Kritikalität klassifiziert wurden, welche im zweiten Schritt quantitativ und dann auch im nächsten Schritt qualitativ beurteilt wurden, werden in dem nächsten Schritt der Methode die Erkenntnisse der bisherigen Untersuchung aggregiert.

6.7.4. Schritt vier: Aggregation der einzelnen Kommunikationsschwachpunkte

In diesem Schritt der Analyse werden die gesammelten Kommunikationsschwächen zusammengetragen. Die Aggregation der einzelnen Schwachstellen soll erst nachdem die vorherigen Schritte vollständig durchgeführt wurden erfolgen. Dann erst sind die erforderlichen Informationen für Schritt vier verfügbar.

Für das Zusammenfügen der Teilergebnisse, das in diesem Abschnitt der Methode passiert, wird weiterhin eine tabellarische Darstellung gewählt. Zum einen ist sie einheitlich mit der bisherigen Darstellung, zum anderen erwies sie sich als günstig dank ihrer Übersichtlichkeit, um Schwachpunkte systematisch in der Kommunikation zu identifizieren.

Aggregation der schriftlichen Notizen Bevor jedoch das Zusammentragen der Ergebnisse in dazu vorbereiteten Tabellen erfolgt, sollen die schriftlichen Notizen, die im Schritt drei in der Tabelle 6.19 in der Spalte *sonstiges*¹³ notiert wurden, unter dem folgenden Punkt zusammengetragen werden:

- Auflistung kommunikationsbasierter Schwachstellen (Auffälligkeiten)

Bei der Analyse von komplexen Systemen können Anomalien auftreten, die, wenn sie nicht zusammengetragen werden, verloren gehen können oder deren Wichtigkeit erst im Zusammenhang mit anderen Notizen erkannt wird. Die konsequente Sammlung von notierten Unregelmäßigkeiten zwingt den Experten, die bereits geschriebenen Notizen einzusehen und sich noch einmal über mögliche Kommunikationsschwächen eines Systems bewusst zu werden. Dieser Punkt ist wichtig, damit der Experte ein vollständiges Bild des Systems erhält und eine möglichst adäquate Aussage über Auffälligkeiten und mögliche Schwachstellen im System gemacht wird. Zusätzlich spielen diese Informationen eine unterstützende Rolle für die Erkenntnisse, die aus den Tabellen im Schritt 4 erfolgen.

Aggregation der Teilergebnisse Nachdem die schriftlichen Notizen zusammengetragen wurden, erfolgt die tabellarische Zusammenstellung der bereits in den Schritten zwei und drei identifizierten Kommunikationsschwachstellen. Die dafür angedachte Tabelle 6.20 besteht aus drei Spalten.

¹³Auch die Notizen, die nicht in der Tabelle notiert wurden, sollen in diesem Punkt zusammengetragen werden.

In der linken Spalte werden die einzelnen *Eigenschaften* der Kommunikationsvorgänge aufgelistet. In der mittleren Spalte werden die laufenden *Nummern* der Kommunikationsvorgänge, die in den vorherigen Schritten bereits untersucht wurden, aufgeschrieben. In die Zellen der rechten Spalte werden *zusammengezählte* Vorgänge, die entsprechen Eigenschaften aufweisen, eingetragen.

Die Informationen für die Zeilen 1 bis 5 der Tabelle 6.20 können aus der Tabelle 6.2 entnommen werden. In dieser Tabelle befindet sich bereits die Zuordnung der Kritikalitätsklassen zu den einzelnen Kommunikationsvorgängen, die zusammengezählt werden können.

Für die Zeilen 6 bis 11 können Informationen aus den Tabellen, die in dem dritten Schritt der Methode erstellt wurden und die qualitative Beurteilung der einzelnen Parameter für jeden Vorgang entnommen werden (vgl. Tabelle 6.19).

Die Informationen über die Abweichungen und Fehler der einzelnen Vorgänge können direkt aus dem zweiten Schritt, indem die quantitative Beurteilung der Vorgänge erfolgte, entnommen werden. Um nicht für jeden Parameter eines jeden Kommunikationsvorgangs eine eigene Tabelle zu erstellen, wurde eine alternative Tabelle 6.23 mit allen Parametern, die im zweiten Schritt genutzt werden vorbereitet. Sie wird dann einmal pro Kommunikationsvorgang erstellt.

Die mit Daten gefüllte Tabelle 6.20 verhilft dem Experten Informationen über Kommunikationsvorgänge zu erschließen, die besonders oft Unzulänglichkeiten wie *Abweichungen, latente Fehler oder Fehler* aufweisen. Darüberhinaus lässt sich erkennen, welche Parameter von Experten als *nicht ausreichend* beurteilt wurden und damit ungeeignet für das untersuchte System sind.

Nr.	Eigenschaften	Nr.	Σ
1	Anzahl Kommunikationsvorgänge:		
2	Anzahl Kommunikationsvorgänge Klasse A		
3	Anzahl Kommunikationsvorgänge Klasse B		
4	Anzahl Kommunikationsvorgänge Klasse C		
5	Anzahl Kommunikationsvorgänge Klasse D		
6	Vorgänge mit nicht ausreichendem Protokoll		
7	Vorgänge mit nicht ausreichendem Rückmeldung		
8	Vorgänge mit nicht ausreichendem Redundanz		
9	Vorgänge mit nicht ausreichendem Trigger		
10	Vorgänge mit nicht ausreichendem Medium		
11	Vorgänge mit nicht ausreichenden Parameter der physikalischen Umgebung		
12	Vorgänge mit Abweichungen		
13	Vorgänge mit latenten Fehlern		
14	Vorgänge mit Fehlern		

Tabelle 6.20.: Aggregierte Informationen über Vorgänge

Direkt nach der Erstellung der Tabelle 6.20 erfolgt eine weitere tabellarische Darstellung, in der die Ergebnisse der quantitativen Beurteilung der einzelnen Schritte aggregiert werden, um eine Aussage über den am meisten gefährdeten Kommunikationsvorgang und Kommunikationsparameter zu treffen. Dafür wird die Tabelle 6.22 vorbereitet. In die einzelnen Zellen der Tabelle 6.22 sollen folgende Schlüsselwörter mit deren vordefinierten Bedeutung, die bereits im ersten Schritt der Analyse verwendet wurde (siehe Tabelle 6.21), eingetragen werden:

Schlüsselwort	Bedeutung
keine (ok)	Kein Defizit wurde festgestellt.
Abweichung	Eine Abweichung wurde festgestellt.
latent	Ein latenter Fehler wurde festgestellt.
Fehler	Ein allgemeiner Fehler wurde festgestellt.

Tabelle 6.21.: Bedeutung der Schlüsselwörter für die Tabelle 6.22

Vorgang	Protokoll	Feedback	Redundanz	Trigger	Kanal	Raum
1						
2						
3						
...						

Tabelle 6.22.: Ausgewählte Kommunikationsparameter auf einen Blick

Direkte Erkenntnisse Nachdem die Teilergebnisse aggregiert wurden, soll nun die endgültige Auswertung beginnen. Unter diesem Punkt werden Ergebnisse entnommen, die aus der Tabelle 6.22 direkt ersichtlich sind.

1. Der am meisten gefährdete Kommunikationsparameter
2. Der am meisten gefährdete Kommunikationsvorgang

Die Identifikation des, am meisten gefährdeten *Kommunikationsparameters* und des am meisten gefährdeten *Kommunikationsvorgangs* erfolgt mittels visueller Inspektion der Tabelle 6.22. Die Spalte, die am häufigsten die Ausprägung *Fehler* aufweist, zeigt automatisch auf den am meisten gefährdeten Kommunikationsparameter. Der Experte ist in der Lage auch weitere Klassen aufzustellen, wie zum Beispiel *latent* oder *Abweichung* und selbst zu entscheiden, bei welcher Anzahl von negativen Ausprägungen ein Parameter zu untersuchen ist.

Bei der Betrachtung der einzelnen Reihen ist es möglich herauszufinden, welcher Kommunikationsvorgang am meisten gefährdet ist. Die Vorgehensweise ist analog zu dem vorherigen Schritt des Kommunikationsparameters.

Propagation Nachdem die Erkenntnisse über die besonders markanten Stellen in dem Kommunikationsfluss gewonnen wurden, soll der Fokus auf die *Propagation* der Kommunikationsfehler gerichtet werden. Bei der Betrachtung von Kommunikationsparametern, die besonders früh im Kommunikationsfluss eine Unzulänglichkeit aufweisen und danach weiter vorhanden sind, kann davon ausgegangen werden, dass deren Eigenschaften vom ersten Moment des Vorkommens von anderen Kommunikationsvorgängen propagiert wurden. Bei dem Sachverhalt geht es um das Übertragen von Schwachstellen der Kommunikationsvorgänge, in Form von „fehlerhaften“ Parameter, von einem Kommunikationsvorgang auf einen anderen. Dabei geht es um Vorgänge, der sich im selben Kommunikationsfluss befinden. Dies kommt zustande, wenn Kommunikationsvorgänge, die nacheinander vorkommen eine Abhängigkeit bezüglich des „fehlerhaften“ Parameters ausweisen. Bildlich gesprochen, wird der fehlerhafte Parameter von einem Kommunikationsparameter zu einem anderen „weitergereicht“

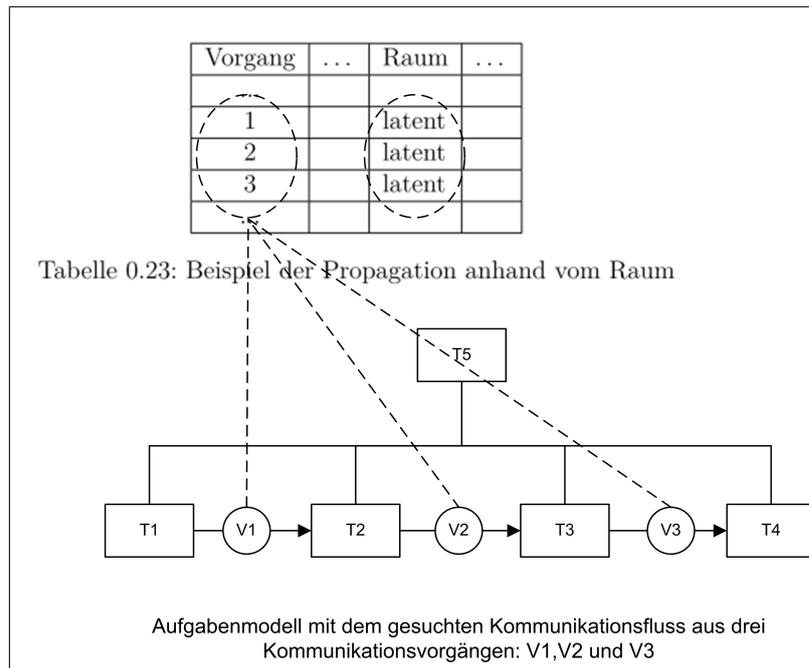


Abbildung 6.14.: Propagation

Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Wenn ein Arzt nicht eindeutig einer Krankenschwester sagt, wo er Informationen über Blutuntersuchung eines Patienten hinlegt (neben dem Bett oder doch ins Fach im Zimmer nebenan), kann die Krankenschwester, wenn sie vertreten wird, ihrer Vertretung lediglich ungenaue Informationen über den Ort *weitergeben*. Die ungenaue Information wird *propagiert*.

Nun stellt sich die Frage: Wie kann ein Experte diese gewissen Stellen anhand der verfügbaren Informationen finden?

Dies passiert in zwei Schritten. Zuerst wird noch mal die Tabelle 6.22 inspiziert. Genauer gesagt werden Spalten von den einzelnen Parametern betrachtet und Stellen gesucht, in denen der gleiche Parameter mit dem Schlüsselwort *Abweichung* oder *latent* mehrmals nacheinander markiert wurde. Wurden solche Stellen, an der ein Parameter mindestens dreimal in Folge mit z.B. *latent* in der Tabelle markiert wurde gefunden, wird zu dem zweiten Schritt übergegangen.

Im zweiten Schritt wird eine Stelle im Aufgabenmodell aufgesucht, an der die Propagation initiiert wird. Es ist der erste Kommunikationsvorgang in der aufgedeckten Folge. Befinden sich in dem Aufgabenmodell (in der direkten Nachbarschaft) auch die weiteren (dazugehörigen) Kommunikationsvorgänge, die in der Tabelle aufgelistet werden, so soll überprüft werden, ob unterschiedliche Akteure in die Kommunikation involviert sind. Falls dies so ist, deutet alles darauf hin, dass es sich um eine Propagation handelt. Eine schematische Darstellung zeigt die Abbildung 6.14. Zusätzlich kann eine Simulation des Modells mit AMBOSS und die gleichzeitige

Überprüfung der Parameter und ihre Handhabung die Gewissheit bringen.

Gefährdete Aufgaben Es ist von essenzieller Bedeutung beim Untersuchen von Schwachstellen in einem sicherheitskritischen System nicht nur die Defizite aufzuzeigen, sondern auch mögliche Folgen, die sich in dieser Methode auf die gefährdeten Aufgaben beschränken. Nachdem die meistgefährdeten Parameter und Vorgänge identifiziert wurden und der Experte mögliche Propagationen im System untersuchte, widmet sich der letzte Teil des Verfahrens dem Aufspüren von Aufgaben, die aufgrund von defizitärer Kommunikation falsch ausgeführt oder gar ausgelassen werden können. Die Defizite in der Kommunikation werden in dieser Methode mithilfe von bereits vorgestellten Parametern festgestellt. Die nötigen Informationen, um die gefährdeten Aufgaben aufzuzeigen findet, der Experte in den bereits erstellten Tabellen.

Die Erkennung, ob eine Aufgabe aufgrund von schlechter Kommunikation falsch ausgeführt werden kann, wird am Beispiel von Ausprägungen des ersten Parameters des Kontrollprozesses (es ist das Protokoll) erläutert. Das Vorgehen fängt mit der Inspektion der Tabelle 6.22 an.

Sollte in der Spalte des Protokolls ein *Fehler* gefunden werden, so deutet dies; wie bereits im zweiten Schritt es erläutert wurde; darauf hin, dass einer der Akteure das Protokoll nicht nutzt, weil an dieser Stelle auch nicht vorhanden ist oder definiert wird. Dies wiederum bedeutet, dass seine Aufgabe aufgrund dieser Schwachstelle falsch oder auch gar nicht ausgeführt werden kann, denn die Informationen werden z.B. nicht wahrgenommen. Die Gründe können vielseitig sein. Auf die Ursachen und Umstände können Notizen, die der Experte in der Tabelle 6.19 im dritten Schritt notiert hat, hinweisen und sollten nun in die Analyse eingebunden werden. Um welche Aufgabe es sich handelt kann aus der Tabelle 6.2 entnommen werden.

Auch das Auftreten von *Abweichung* oder *latent* in dieser Spalte deutet auf eine Gefährdung in der Ausführung einer Aufgabe hin. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass bei einer *Abweichung* die Unzulänglichkeiten in der Kommunikation eine Aufgabe systematisch gefährden und es sich bei einem *latenten Fehler* um sporadische Fälle handelt.

Der gleiche Weg der Untersuchung wird für weitere Parameter, die in der Tabelle 6.22 verzeichnet sind angeschlagen.

Nachdem der Analyst nach der Analyse der Kommunikation über ein vollständiges Bild der Schwachstellen verfügt und seine besonders markanten Positionen identifiziert, ist es an der Zeit mit den gewonnenen Informationen zu dem letzten Schritt der Methode überzugehen und mögliche Verbesserungen vorzuschlagen.

6.7.5. Schritt fünf: Verbesserungsvorschläge für die einzelnen Kommunikationsparameter

Ziel des Schrittes ist für die aufgespürten Schwachpunkte der Kommunikation im untersuchten System mögliche Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten. Dieser Schritt stellt eine Ergänzung zur Analyse dar. Der Experte kann an dieser Stelle geordnete Vorschläge anbringen.

Die einzelnen Punkte sollen neben den zu verbessernden Kommunikationsparametern auch die dazugehörigen Vorgänge aufzeichnen, um die Verbesserungsvorschläge eindeutig zuzuweisen. Die Vorschläge sollen in gleicher Reihenfolge wie bisher erfolgen.

- Protokoll
- Trigger
- Redundanz
- Feedback
- Kommunikationskanal
- Medium
- Sicht
- Audio
- Topologie
- Zusätzliches

6.8. Einsatzfelder der Untersuchungsmethode

Im folgenden Abschnitt soll eine pragmatische Argumentation über die Verwendung der aufgestellten Untersuchungsmethode vorgestellt werden. Ziel der Argumentation ist es dem Leser möglich plausibel zu erläutern, bei welchen Einsatzfeldern die vorgestellte Methode genutzt werden kann, und welche Vorteile für das Untersuchen von soziotechnischen Systemen mit sicherheitskritischem Charakter daraus resultieren.

6. Methodik

Nummer vom Kommunikationsvorgang:		
Sendereigenschaften		Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n		kritische Aufgabe T_m
vorhanden		vorhanden
nicht vorhanden		nicht vorhanden
Protokoll		Protokoll
vorhanden & genutzt		vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt		vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt		vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden		nicht vorhanden
Rückmeldung		Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung		Feedback immer genutzt
unregelmässig wahrgenommen		unregelmässig bestätigt
Bestätigung wird ignoriert		versenden v. Info Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet		Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz		Redundanz
vorhanden & genutzt		vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt		vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt		vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden		nicht vorhanden
Trigger		Trigger
Info. ist ein Trigger		immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger		manchmal wahrgenommen & genutzt
		ignoriert
		ist überflüssig
Raum		Raum
immer selber Raum		immer selber Raum
selber Raum unregelmässig		selber Raum unregelmässig
immer verschiedene Räume		immer verschiedene Räume
Kanalauswahl		Kanalauswahl
Medium		Medium
Sichtkontakt		Sichtkontakt
Hörkontakt		Hörkontakt
nicht definiert		nicht definiert
Kommunikationskanal		Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt		vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt		vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt		vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden		nicht vorhanden

Tabelle 6.23.: Parameter des Kommunikationsmodells

6.8.1. Systematische Dokumentation

Das vorgestellte Untersuchungsverfahren nutzt ein Beschreibungskalkül, mit dem das systematische Modellieren und Dokumentieren von Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen ermöglicht wird. Der Modellierer verfügt damit über eine flexible Methodik, mit der er Schritt für Schritt anhand eines Aufgabenmodells die Kommunikationsvorgänge elaborieren und seine Ergebnisse in einer passenden Form festhalten kann. Die einzelnen Schritte des Verfahrens sind eindeutig beschrieben und das Erstellen der Dokumentation damit nachvollziehbar. Die Ergebnisse, die in Form von Tabellen und Aufgabenmodellen vorliegen, lassen sich dann als Grundlage für weiteres Kommunizieren zwischen unterschiedlichen Expertengruppen, wie zum Beispiel System Design Experts, Human and Usability Factors Experts und Safety Experts verwenden, um ein gemeinsames Verständnis über die Problematik der Kommunikation in einem System zu erlangen.

Der in dieser Ausarbeitung eingeschlagene Ansatz basiert auf einem möglichst genauen Aufgabenmodell, das zuvor erstellt werden muss. Das Erstellen eines passenden, hierarchischen Modells erzwingt beim Modellierer ein systematisches Vorgehen und eine genaue Überlegung über die tatsächliche Funktionsweise eines Systems, mit dem Fokus auf Aufgaben und deren Durchführung. Dies ist ein nicht zu unterschätzender Vorteil beim Aufbau eines Aufgabenmodells, das Informationen über die Kommunikation im System enthält. Damit kommt es zu einer weiteren Herausforderung an die Modellierer, denn es muss auch verstanden werden, wann und warum Kommunikationsvorgänge stattfinden. Damit ist das Gesamtbild eines zu untersuchenden Systems reichhaltiger und folgende Probleme, die bereits von van der Veer und von Welie in [VWE98b] geschildert wurden, einfacher zu verstehen:

- Probleme mit individueller Aufgabenstruktur
- Unterschiede zwischen angedachter (normativer) und tatsächlicher Aufgabendurchführung
- Ineffiziente Interaktion in einer Organisation
- Inkonsistente Aufgaben
- Menschen führen Aufgaben durch, die sie nicht dürfen

Mit Hilfe der Modellierungsumgebung AMBOSS wurde die Dokumentation von Aufgaben anhand von Aufgabenmodellen und einer systematischen Untersuchung bereits in dem Bereich einer Intensivstation und im Bereich der Luftfahrt im Projekt HUMAN¹⁴ erprobt. Hier wurden die Prozeduren des „*Emergency Descent*“ untersucht. *Emergency Descent* beschreibt Verfahren, die von einer Crew durchgeführt

¹⁴Model-based Analysis of Human errors during Aircraft Cockpit System Design, <http://www.human.aero>

werden muss, um bei besonderen Situationen wie zum Beispiel Herzinfarkt eines Passagiers oder Ausfall eines Triebwerks den Flugzeug so schnell wie möglich sicher zu landen. Dabei wurden mit AMBOSS unterschiedliche Szenarien des Vorgehens untersucht, um sie zu dokumentieren, anderen Mitgliedern des Teams vorzustellen und um möglichst systematisch mithilfe der Simulation nach besonders interessanten Stellen, die in HUMAN mit kognitiven Aufgabenanalyse weiter untersucht werden sollten, hinzuweisen. Neben der Akzeptanz und Nützlichkeit wurde die Effektivität des Verfahrens anhand der im Kapitel 7 vorgestellten Fallstudien dargelegt. Mit Hilfe des Verfahrens konnten in den Fallstudien Schwachpunkte in der Kommunikation aufgedeckt und Verbesserungsvorschläge für das jeweilige System unterbreitet werden.

6.8.2. Aufdeckung lokaler Fehler und globaler Probleme

Das entwickelte Verfahren erleichtert unter anderem die situative Analyse einer Umgebung, in der Aufgaben durchgeführt werden. Sollte sich während der Kommunikationsanalyse die Vermutung einer lokalen Schwachstelle im untersuchten System erhärten, so erweist es sich als erforderlich, diese im Hinblick auf mögliche globale Probleme zu untersuchen.

Die systematisch erstellte Dokumentation und das dazugehörige Aufgabenmodell stellen dafür eine geeignete Grundlage zur Verfügung. Ein Systemanalyst kann mithilfe eines mit zusätzlichen Parametern erweiterten Aufgabenmodells, ein sicherheitskritisches System inklusive der Kommunikationsvorgänge (und Flüsse) untersuchen, und nach und nach immer weitere Ebenen einzubeziehen.

Sollte zum Beispiel das *Kommunikationsprotokoll* Unstimmigkeiten aufweisen, so ist ein Experte in der Lage, mithilfe der vorgeschlagenen Methode herauszufinden, welche Kommunikationsvorgänge und Aufgaben durch dieses Defizit direkt beeinflusst werden. Auf dieser Grundlage können als nächstes weitere Untersuchungen solcher Schwachstellen erfolgen.

Ein Systemanalyst wird dann unter anderem versuchen aufzudecken, wie weitreichend die Folgen sind und was die Ursache war, die zu diesem Defizit beitrug. So wird von einer lokalen Schwachstelle aus auf weitere Eigenschaften eines Systems hingewiesen. Solche Eigenschaften (die wahren Ursachen) können zum Beispiel menschliches Versagen, Sicherheitslücken eines Systems, falsch definierte Arbeitsvorgänge, aber auch unzureichende Kenntnisse einer oder mehrerer Personen sein. Beim Fortsetzen dieser Wirkungskette gelangt man so zu Problemen, die nicht mehr auf einen lokalen sondern auf einen globalen Charakter hindeuten.

Auf diese Art und Weise ist es möglich, von lokalen Fehlern eines einzigen Kommunikationsvorgangs auf globale Probleme eines soziotechnischen Systems zu schließen. Ein mögliches Beispiel einer Schwachstelle, die aus einem einzelnen Parameter erschlossen und im Rahmen dieser Abhandlung aufgedeckt wurde, ist die fehlerhafte Eingabe der Werte für die Perfusorpumpe. Der Gebrauch von falschen Werten ließ

nach einer genaueren Untersuchung der Arbeitsweise auf einer VAD-Intensivstation¹⁵ darauf schließen, dass die Integration des neuen Patienten-Daten-Management-System COPRA¹⁶ nur suboptimal durchgeführt wurde, und die Altlasten des vorherigen Systems Schwachstellen verursachen.

¹⁵ *VAD* = Mechanische Kreislaufunterstützung, engl. Ventricular assist device

¹⁶ <http://www.copra-system.de/>

6.9. Zusammenfassung

Dieses Kapitel diente dem Erarbeiten eines Konzeptes in dem die Kommunikationsvorgänge in einer adäquaten Methodik abgebildet und analysiert werden. Zuerst wurden die Ziele der Untersuchung aufgestellt. Dabei wurden die Anforderungen zusammen mit den Annahmen, die das Beschreibungskalkül erfüllen soll, aufgestellt. Weiterhin wurde die gegenseitige Abhängigkeit der Kommunikation mit dem System und dem daraus entstehenden Konsequenzen vorgestellt. Dabei wurden die Parallelen zwischen dem in dieser Ausarbeitung vorgestellten Konzept der Kommunikation in Aufgabenmodellen zu dem Kommunikationsmodell nach Shannon und Weaver skizziert.

Als nächstes folgte die Vorstellung der einzelnen Parameter, die bei der Untersuchung der Kommunikationsvorgänge eine bedeutende Rolle spielen. Nach der ausführlichen Diskussion über den Einsatz der einzelnen Kommunikationsparameter folgte das Erarbeiten der heuristischen Methode für die Analyse der Kommunikation in Aufgabenmodellen. Die Analyse besteht aus fünf aufeinander aufbauenden Schritten, die dem Experten Abweichungen wie auch die sogenannten latenten Fehler in der Kommunikation zwischen den einzelnen Aufgaben aufzuspüren erlaubt.

Die Methode fängt direkt nach der Erstellung eines vollständigen Aufgabenmodells, in dem eine Klassifikation der einzelnen Kommunikationsvorgänge nach ihrer Kritikalität durchgeführt wird. So kann herauskristallisiert werden welche Vorgänge während der Kommunikation besonders kritisch für das Erledigen der einzelnen Aufgaben sind (oder waren). Danach werden in einem *Top-Down* Vorgehen die vorher festgelegten Eigenschaften der Kommunikation aus der Sicht des Senders und des Empfängers untersucht. Dieser Schritt beinhaltet die quantitative Beurteilung der Parameter.

Nach der quantitativen Analyse erfolgt eine qualitative Analyse der einzelnen Parameter für jeden einzelnen Vorgang. Es folgt eine Abschätzung der Parameter. Als nächstes werden die Ergebnisse akkumuliert und dem Experten in einer geeigneten Form dargestellt. An dieser Stelle kann entschieden werden wo das schwächste Glied der Kommunikation sich befindet, was für Ursachen es dafür gibt, aber auch was für Möglichkeiten dem Experten zur Verfügung stehen, diese Schwächen systematisch zu verbessern. Die Methode bietet dem Experten ein strukturiertes Vorgehen an, um möglich Muster von Schwachpunkte zu finden und diese dann Schritt für Schritt zu eliminieren. Mithilfe geeigneter Zusatzapplikation zu dem bestehenden AMBOSS wäre es möglich die einzelnen Schritte zu automatisieren und dem Experten bei seiner Entscheidungen zu helfen.

Es wäre auch denkbar, die visuelle Sprache *AmbossA*, um das hier vorgestellte Konzept zu erweitern, um nach interessanten Konstellationen in den Aufgabenmodellen aus Sicht der Kommunikation zu suchen. Diese würde man in der Lage explizit im AMBOSS integrierten Simulator zu betrachten.

Ein Vorteil des erarbeiteten Ansatzes besteht darin, dass seine Ergebnisse als

hilfreiche Informationen für die mögliche, weitere darauf aufbauende kognitive Aufgabenanalyse fungieren können [HM08]. Das Aufgabenmodell kann dann als eine unterstützende Rolle für den Experten haben, damit er sich nicht in Details von Aufgaben verliert, sondern den Überblick stets behält. Weiterhin kann ein erweitertes Aufgabenmodell ein besseres Verständnis vermitteln über die Umgebung in der Aufgaben durchgeführt werden und über die Kommunikation die während dessen stattfindet. Dies wiederum gibt denn Überblick über Informationen, die als Basis für Entscheidungen dienen. Darüber hinaus kann die vorgestellte Analyse als ein Anhaltspunkt für kognitive Aufgabenanalyse dienen in dem

Dieses Kapitel verinnerlicht die in vorherigen Kapiteln angesprochene Problematik des menschlichen Versagens, das aufgrund der unvollständigen Kommunikation in komplexen soziotechnischen Systemen vorkommt und gleichzeitig zeigt eine mögliche Lösung die Schwachstellen eines Systems aufzuspüren und die Analyse pragmatisch in einem Entwicklungsprozess zu nutzen.

Als nächstes soll Kapitel 7 die praktische Umsetzung des Ansatzes anhand von zwei Fallstudien erfolgen.

Teil IV.
Praktische Anwendung

7. Fallstudien

In Kapitel 7 soll die Analyse, die bereits in Kapitel 6 theoretisch vorgestellt wurde, praktisch durchgeführt werden. Um den praktischen Nutzen der Analyse zu zeigen, werden zwei Fallstudien beschrieben, modelliert und analysiert. Am Ende jeder Analyse folgt die Auswertung mit möglichen Verbesserungsvorschlägen für die einzelnen Kommunikationsschwachstellen.

Die erste Fallstudie ist das Ergebnis einer empirischen Studie, die der Autor auf einer Intensivstation eines Herzzentrums durchführte. Während der Beobachtungen wurde aufgrund unzureichender Kommunikation zwischen dem Arzt und einer Krankenschwester eine elektrische Spritzpumpe mit lebenswichtigen Medikamenten, die direkt nach einer Herztransplantation unter ständiger Überwachung auf einem bestimmten Niveau gehalten werden müssen, falsch eingestellt und aktiviert.

Als zweite Fallstudie wird ein Zwischenfall aus dem Bereich des Gesundheitswesens beschrieben, der in einer Klinik in den USA stattgefunden hatte. In einem Krankenhaus unterlief dem Krankenhaus-Personal eine Verwechslung von zwei Patientinnen, die einen ähnlichen Namen besaßen. Im Zuge dieser Verwechslung wurde beinahe eine Operation an der falschen Patientin durchgeführt. Diese Fallstudie wurde in einem Artikel von Mark. R. Chassin und Elise. C. Becher unter dem Titel „The Wrong Patient“ [CB02] im Jahre 2002 bereits beschrieben. Der Artikel erschien im Rahmen der Reihe „Quality Grand Rounds“, die die Problematik der Qualität im Gesundheitswesen beschreibt.

Am Anschluss erfolgt eine Zusammenfassung des Kapitels. Die Diskussion der Ergebnisse, Vorzüge, wie auch der Grenzen des vorgeschlagenen Verfahrens erfolgt im nächsten Kapitel zusammen mit der Zusammenfassung der gesamten Dissertation.

7.1. Erste Fallstudie: Perfusor

7.1.1. Beschreibung

Die vorliegende Fallstudie entstand während eigener Beobachtungen auf der Intensivstation eines deutschen Herzzentrums im Zeitraum von Januar bis April 2006. Dabei wurde einem Patienten aufgrund einer fehlerhaften Kommunikation eine falsche Dosierung von lebenswichtigen Medikamenten an einer Spritzpumpe eingestellt und verabreicht. Die Abbildung 7.3 zeigt Beispiel einer solchen Spritzpumpe. Der Fehler wurde einige Minuten später von der Krankenschwester bemerkt und dem Stationsarzt gemeldet. Die Fehleinstellung konnte rechtzeitig korrigiert werden.

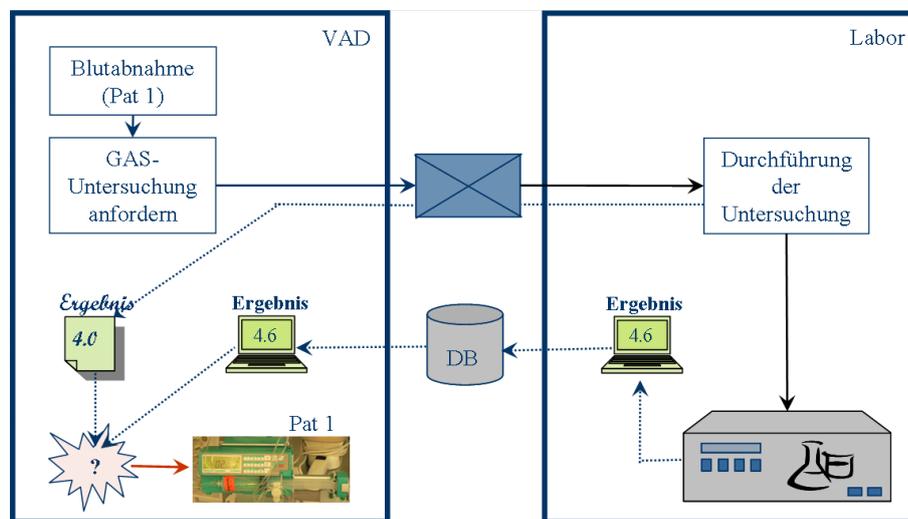


Abbildung 7.1.: Verfälschung der Daten beim Perfusor

Chronologischer Ablauf der Ereignisse

An einem 70-jährigen Patienten (PAT) wurde eine Herzoperation durchgeführt. Nach der Operation befand sich der Patient auf der VAD¹-Abteilung der Intensivstation. Um die konstante und richtige Versorgung mit lebenswichtigen Medikamenten und Elektrolyten abzusichern, war der Patient an eine automatische Spritzenpumpe (Perfusor) angeschlossen, vgl. 7.2. Die korrekten Einstellungen des Perfusor sind abhängig von den Blutgaswerten. In diesem Fall geht es um die korrekten Einstellungen einer Kaliuminfusion.

Um die Blutgaswerte zu ermitteln, entnahm die Krankenschwester (RN1) eine Blutprobe und schickte diese zusammen mit einem standardisierten, handgeschriebenen Formular an das Krankenhauslabor. Das Zusenden der Blutprobe zusammen mit dem GAS-Formular erfolgte per Rohrpost; es waren keine weiteren Personen an

¹(VAD - Ventricular Assist Devices)

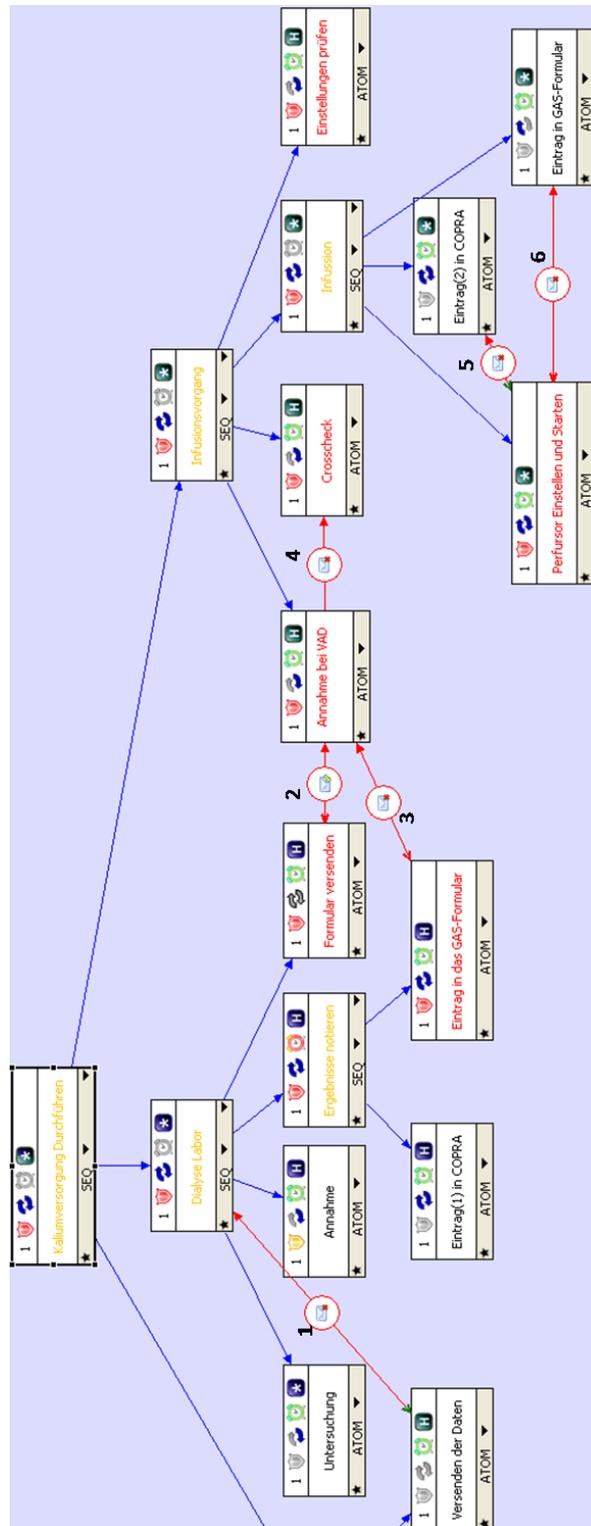


Abbildung 7.2.: Aufgabenmodell für die erste Fallstudie

dem Transport der Blutprobe beteiligt. Während der Untersuchung wurde von dem zuständigen Laboranten (LAB1) ein Kaliumwert von 4.6 mmol/l im Blut festgestellt. Diese Information wurde zum einen in das Computersystem des Krankenhauses eingegeben. So kam sie von dem zuständigen Arzt auf der Intensivstation sofort auf dem Bildschirm angesehen werden.

Die Daten können selbstverständlich von jedem Computer, der den Zugang zu der zentralen Datenbank besitzt, mit entsprechender Autorisierung abgerufen werden. Zum anderen wurde die Information handschriftlich auf dem GAS-Formular festgehalten und per Rohrpost an die VAD-Station zurück zurückgeschickt.

Nach dem das GAS-Formular an der VAD-Station eingetroffen war, wurden die Informationen dem behandelnden Arzt (VAD-Arzt) präsentiert. Da die Handschrift nicht eindeutig zu lesen war, wurde fälschlicherweise ein Wert von 4.0 mmol Kalium pro Liter Blut abgelesen. Dieser Wert wurde aus Zeitmangel von dem Stationsarzt (VAD-Arzt) nicht mit den Daten in dem COPRA-System verglichen. Im Computersystem (COPRA-System) befinden sich alle relevanten Daten eines Patienten von der Aufnahme bis zur Entlassung. Der Arzt (VAD-Arzt) stellte die Spritzpumpe über die Benutzungsschnittstelle mit falschen Werten ein und startete das Gerät. Er vergewisserte sich, ob die Spritzpumpe korrekt arbeitet und verließ unverzüglich den Raum.

Dabei wurde die zuständige Krankenschwester (RN1) vom Arzt über die Dosierung nicht unterrichtet und es befanden sich auch keine Notizen auf dem GAS-Formular. Auch das Überwachungssystem des Patienten (PAT) wurde vom Arzt nicht aktualisiert, obwohl dies zu seinen Aufgaben gehört. Erst durch einen eigenständigen Abgleich der Werte auf dem GAS-Formular, den an der Spritzenpumpe eingestellten Werten und dem Eintrag in die COPRA-Datenbank fiel der Krankenschwester (RN1) der Fehler auf. Sie informierte umgehend den Arzt (VAD-Arzt) und aufgrund relativ kurzzeitiger Unterversorgung mit Kalium blieb der Fehler für den Patienten folgenlos. Die Unterversorgung dauerte ca. 15 Minuten. Das Aufgabenmodell der ersten Fallstudie wird in der Abbildung 7.3 dargestellt.

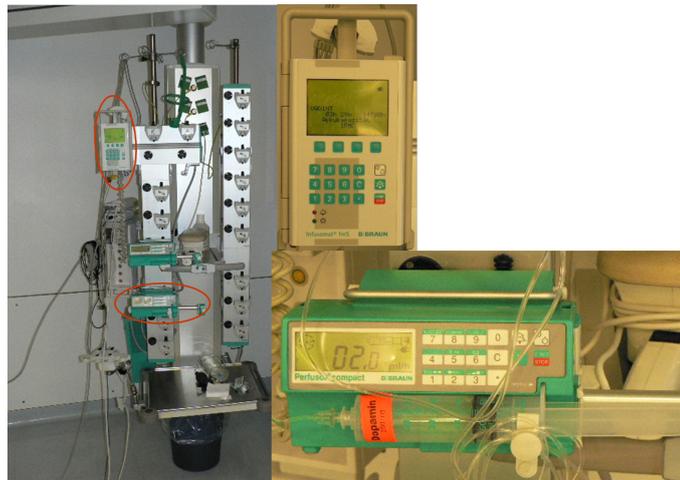


Abbildung 7.3.: Perfusor mit Steuerungseinheit

7.1.2. Analyse

Als nächstes folgt die schrittweise aufgebaute Analyse der Fallstudie. Es werden nacheinander alle Kommunikationsvorgänge untersucht. Bevor jedoch jeder einzelne Vorgang untersucht wird, erfolgt zuerst die Priorisierung der Kommunikationsvorgänge, um den Fokus der Analyse korrekt auszurichten. Die Abbildung 7.2 zeigt das Aufgabenmodell des Systems in dem eine fehlerhafte Einstellung eines medizinischen Gerätes stattfand.

Schritt 1: Priorisierung der Kommunikationsvorgänge

Der Inhalt der Tabelle 7.1 deutet darauf hin, dass die Vorgänge 3, 4a, 4b besonders kritisch für die richtige Ausführung der Aufgaben des Empfängers sind. Diese Vorgänge sollen besonders während der Analyse beachtet werden².

Kommunikationsvorgang 1

Die Blutproben werden zusammen mit dem GAS-Formular an das Krankenhauslabor verschickt.

²Da diese Fallstudie lediglich 7 Kommunikationsvorgänge beinhaltet, werden diese nicht nach der Priorität ihrer Kritikalitätsklasse analysiert, sondern in ihrer Ordnung des Auftretens im Kommunikationsfluss. Diese Ordnung wird auch in der zweiten Fallstudie verwendet, um den Leser die einzelne Schritte der Analyse am Beispiel zu erläutern. Eine Analyse mit Hilfe einer Applikation soll die Vorgänge zusätzlich nach ihrer Kritikalität anordnen und analysieren, so wie es das ursprüngliche Konzept vorsieht.

Vor-gang	Sender	Emp-fänger	Sender _{ID}	Empfänger _{ID}	Klasse
1	nicht kritisch	nicht kritisch	Versenden der Daten	Annahme	D
2	nicht kritisch	kritisch	Formular versenden	Annahme bei VAD	B
3	kritisch	kritisch	Eintrag in das GAS-Formular	Annahme bei VAD	A
4a	kritisch	kritisch	Annahme bei VAD	Crosscheck	A
4b	kritisch	kritisch	Annahme bei VAD	Crosscheck	A
5	kritisch	nicht kritisch	Perfusor einstellen und starten	Eintrag (2) in COPRA	C
6	kritisch	nicht kritisch	Perfusor einstellen und starten	Eintrag in GAS-Formular	C

Tabelle 7.1.: Priorisierung der Kommunikationsvorgänge, Schritt 1

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: versenden der Daten
 Aufgabe Empfänger: Annahme (lab.)
 Rolle Sender: Krankenschwester 1 (RN1)
 Rolle Empfänger: Laborangestellte(r) (LAB1)
 Tabelle: [7.2](#)
 Auffälligkeiten: keine

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: [7.3](#)

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
vorhanden			vorhanden
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung			Feedback immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Versenden d. Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet	X	X	Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			Manchmal wahrgenommen & genutzt
			Ignoriert
			Ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.2.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 1, Vorgang 1, Schritt 2

7. Fallstudien

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 1						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	X					
Rückmeldung					X	
Redundanz					X	nicht erforderlich
Trigger	X					
Medium			X			
Sichtkontakt						k.a.
Sichtbeständigkeit						k.a.
Audio						k.a.
Audiobeständigkeit						k.a.
Raum selbst						k.a.
Gesamte Abschätzung		X				

Tabelle 7.3.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 1, Vorgang 1, Schritt 3

Sonstiges:

1. Information wird im Krankenhaus per Rohrpost verschickt.
2. Dieser Kommunikationsvorgang wurde als kritisch im Modell markiert. Der Grund dafür ist, dass sich die Röhrchen während des Transport öffnen können.

Kommunikationsvorgang 2

Die Ergebnisse werden mit COPRA sofort der VAD-Station mitgeteilt.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: 2, 3

Aufgabe Sender: Eintrag(1) in COPRA

Aufgabe Empfänger: Annahme bei VAD

Rolle Sender: Laborant (LAB1)

Rolle Empfänger: Krankenschwester (RN1), Arzt (VAD-Arzt)

Tabelle: 7.4

Auffälligkeiten:

1. Redundanz: Wird aus organisatorischen Gründen nicht immer beim Empfänger genutzt.
2. Kommunikationskanal und Redundanz: System geht davon aus, dass die Empfängeraufgaben durch den redundanten Kanal getriggert werden.

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.6

sonstiges:

1. Medium: Computersystem im Krankenhaus.
2. Daten kommen aus dem Labor stillschweigend ohne den Benutzer davon zu informieren.
3. Veränderungen im System sind nicht sichtbar.

Kommunikationsvorgang 3

Die Ergebnisse werden mit der Rohrpost der VAD-Station mitgeteilt.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: 2, 3

Aufgabe Sender: Formular versenden

Aufgabe Empfänger: Annahme bei VAD

Rolle Sender: Laborant (LAB1)

Rolle Empfänger: Krankenschwester (RN1)

Tabelle: 7.5

Auffälligkeiten: keine

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
vorhanden		X	vorhanden
nicht vorhanden	X		nicht vorhanden
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung			Feedback immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Versenden v. Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet	X	X	Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt		X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X		Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger		X	Manchmal wahrgenommen & genutzt
			Ignoriert
			Ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt		X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.4.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 1, Vorgang 2, Schritt 2

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
vorhanden	X	X	vorhanden
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung			Feedback immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Versenden v. Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet	X	X	Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			Manchmal wahrgenommen & genutzt
			Ignoriert
			Ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt

Tabelle 7.5.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 1, Vorgang 3, Schritt 2

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.6

Sonstiges:

1. Redundanz zu Vorgang 2
2. Redundante Informationen werden mit Ausnahme nicht genutzt, wenn der Arzt in COPRA die Daten vor der Ankunft des GAS-Formulars aus dem Labor im System vorfindet und diese nutzt.
3. Medium: Papierformular (GAS-Formular)
4. Der GAS-Formular wird per Hand ausgefüllt, was zu Unstimmigkeiten führen kann.

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 2, 3						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	2		3			
Rückmeldung					2, 3	
Redundanz	3		2			
Trigger	3			2		
Medium	2		3			
Sichtkontakt						k.a.
Sichtbeständigkeit						k.a.
Audio						k.a.
Audiobeständigkeit						k.a.
Raum selbst	2, 3					
Gesamte Abschätzung		2	3			

Tabelle 7.6.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 1, Vorgang 3, Schritt 3

Kommunikationsvorgang 4a

Die Krankenschwester teilt dem VAD-Arzt mündlich mit, dass die Ergebnisse der Untersuchung angekommen sind.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge:	4a,4b
Aufgabe Sender:	Annahme bei VAD
Aufgabe Empfänger:	Crosscheck
Rolle Sender:	Krankenschwester
Rolle Empfänger:	VAD-Arzt
Tabelle:	7.7
Auffälligkeiten:	keine

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.9

Sonstiges:

1. Die Krankenschwester gibt dem VAD-Arzt den gerade angekommenen GAS-Formular und informiert ihn mündlich über eventuelle Wichtige Punkte
2. Medium: GAS-Formular.

Kommunikationsvorgang 4b

Die Krankenschwester überreicht dem VAD-Arzt den gerade angekommenen GAS-Formular und informiert ihn mündlich über eventuelle wichtige Punkte auf dem Formular.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge:	4a,4b
Aufgabe Sender:	Annahme bei VAD
Aufgabe Empfänger:	Crosscheck
Rolle Sender:	Krankenschwester
Rolle Empfänger:	VAD-Arzt
Tabelle:	7.8
Auffälligkeiten:	keine

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
vorhanden	X	X	vorhanden
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt	X	X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung			Feedback immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen	X	X	unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Versenden v. Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet			Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt	X	X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			Manchmal wahrgenommen & genutzt
			Ignoriert
			Ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt	X	X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.7.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 1, Vorgang 4a, Schritt 2

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
vorhanden	X	X	vorhanden
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt	X	X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung			Feedback immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen	X	X	unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Versenden v. Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet			Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt	X	X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			Manchmal wahrgenommen & genutzt
			Ignoriert
			Ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt	X	X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.8.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 1, Vorgang 4b, Schritt 2

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.9

Sonstiges:

1. Protokoll: Das Protokoll wurde unscharf definiert.
2. Schwachstellen bei dem Kommunikationskanal und der Redundanz, die nicht immer genutzt wird.
3. Keine genaue Angaben über die mündliche Bestätigung. Medium: Papierformular (GAS-Formular).
4. Die Krankenschwester teilt dem Arzt mit, dass die Ergebnisse der Untersuchung angekommen sind. Sie tut dies mündlich und durch die Übergabe des Formulars

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 4a, 4b						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				4a, 4b		
Rückmeldung			4a, 4b			
Redundanz			4a, 4b			
Trigger		4a, 4b				
Medium		4a, 4b				
Sichtkontakt	4a, 4b					
Sichtbeständigkeit	4a, 4b					
Audio	4a, 4b					
Audiobeständigkeit	4a, 4b					
Raum selbst	4a, 4b					
Gesamte Abschätzung		4a, 4b				

Tabelle 7.9.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 1, Vorgang 4a und 4b, Schritt 3

Kommunikationsvorgang: 5

Die Einstellungen des Perfusors werden auf dem GAS-Formular festgehalten.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: 5, 6

Aufgabe Sender:	Perfusor einstellen und starten
Aufgabe Empfänger:	Notitzen auf dem GAS-Formular
Rolle Sender:	Arzt (VAD-Arzt) oder Krankenschwester (RN1)
Rolle Empfänger:	Arzt (VAD-Arzt) oder Krankenschwester (RN1)
Tabelle:	7.10
Auffälligkeiten:	keine

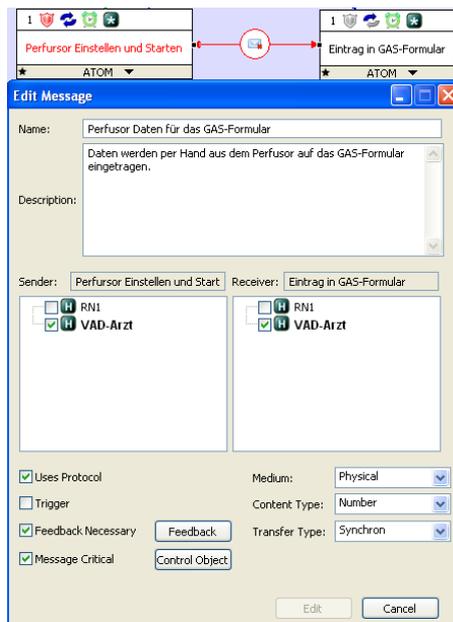


Abbildung 7.4.: Fallstudie 1 Kommunikationsvorgang 5

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
vorhanden	X		vorhanden
nicht vorhanden		X	nicht vorhanden
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung			Feedback immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Versenden v. Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet	X	X	Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X		Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger		X	Manchmal wahrgenommen & genutzt
			Ignoriert
			Ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt		X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.10.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 1, Vorgang 5, Schritt 2

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.12

Auffälligkeiten:

1. Redundanz: Bei einer Stresssituation kann der Eintrag durch das gegenseitliche Verlassen auf den anderen Kommunikationspartner ausgelassen werden.
2. Protokoll: Schriftliche Aufzeichnungen ohne ein eindeutiges Protokoll. Protokoll der Notizen ist unscharf.
3. Medium: GAS-Formular - Feedback wird in passiver Form wiedergeben, wenn die Krankenschwester das Blatt liest.

Kommunikationsvorgang: 6

Die Einstellungen des Perfusors werden in das COPRA-System eingetragen.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: 5,6

Aufgabe Sender:	Perfusor einstellen und starten
Aufgabe Empfänger:	Eintrag 2 in COPRA
Rolle Sender:	VAD-Arzt oder Krankenschwester
Rolle Empfänger:	VAD-Arzt oder Krankenschwester
Tabelle:	7.11
Auffälligkeiten:	keine

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.12

Sonstiges:

1. Unstimmige Zustandsbereiche zwischen dem Arzt und der Krankenschwester
2. Die Kommunikation ist unnötigt, da die Aufgabe nur vom Arzt ausgeführt werden soll.
3. In der Praxis wird sie von beiden ausgeführt. Es entstehen unscharfe Zuständigkeitsbereiche.

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
vorhanden	X		vorhanden
nicht vorhanden		X	nicht vorhanden
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt			vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet eine Bestätigung	X	X	Feedback immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Versenden v. Bestätigung ignoriert
Bestätigung nicht erwartet			Bestätigung nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt	X	X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X		Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger		X	Manchmal wahrgenommen & genutzt
			Ignoriert
			Ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & manchmal genutzt		X	vorhanden & manchmal genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.11.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 1, Vorgang 6, Schritt 2

7. Fallstudien

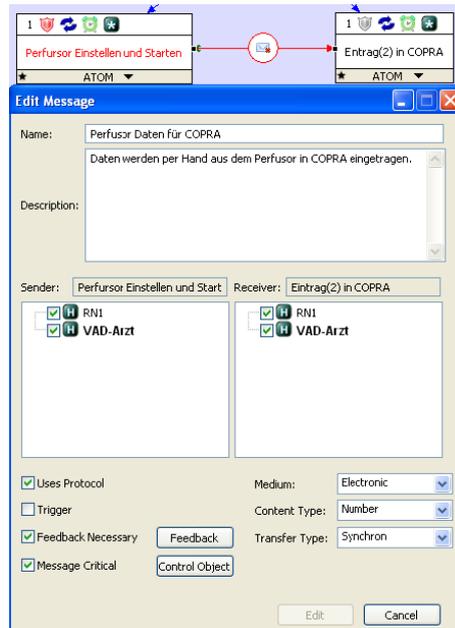


Abbildung 7.5.: Fallstudie 1 Kommunikationsvorgang 6

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 5, 6						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	6		5			
Rückmeldung	5,6					
Redundanz	5		6			
Trigger				5,6		
Medium	6		5			
Sichtkontakt	5,6					
Sichtbeständigkeit	5,6					
Audio						keine
Audiobeständigkeit						keine
Raum selbst	5,6					
Gesamte Abschätzung	6		5			

Tabelle 7.12.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 1, Vorgang 5 und 6, Schritt 3

7.1.3. Auswertung

Schritt 4: Aggregation der einzelnen Kommunikationsschwächen

Bei näherer Betrachtung der Parameterausprägungen und den einzelnen Analyseschritten konnte folgende Auflistung der Schwachstellen von einem Experten erstellt werden:

Zusammenfassung der schriftlichen Notizen:

1. Die Kommunikation ist sofort mit einem Risiko behaftet, weil die Röhren nicht immer verschlossen das Labor erreichen. Sie werden per Rohpost verschickt.
2. Informationen, aus dem Labor an die VAD Station, werden über zwei unterschiedliche Kanäle mitgeteilt.
3. Daten kommen aus dem Labor stillschweigend, ohne den Benutzer darüber zu informieren. Die Veränderungen im System sind nicht sofort sichtbar. (Der Computer des Patienten meldet nicht, dass die Daten angekommen sind).
4. Die Redundanz wird nicht immer für den Crosscheck genutzt. Die Ärzte verlassen sich auf das GAS-Formular.
5. Keine genaue Angaben über die mündliche Bestätigung. Medium: Papierformular (GAS-Formular). Protokoll der mündlichen Mitteilung ist unscharf.
6. Die Informationen, die sich auf dem GAS-Formular befinden, können durch die Handschrift beeinträchtigt sein.
7. Die Perfursoren sind nicht mit dem Computer verbunden. Die Einheitlichkeit der Daten ist damit gefährdet.
8. Die Zuständigkeitsbereiche der Krankenschwester, des Patienten und des Arztes überschneiden sich.

Parameter	Vorgangsnummer	Σ
Anzahl Kommunikationsvorgänge:	1,2,3,4a,4b,5,6	7
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse A	3, 4a, 4b	3
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse B	2	1
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse C	5, 6	2
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse D	1	1
Vorgänge mit nicht ausreichendem Protokoll	4a, 4b	2
Vorgänge mit nicht ausreichender Rückmeldung	–	0
Vorgänge mit nicht ausreichender Redundanz	–	0
Vorgänge mit nicht ausreichendem Trigger	2, 5, 6	3
Vorgänge mit nicht ausreichendem Medium	–	0
Vorgänge mit nicht ausreichenden Parametern der physikalischen Umgebung	–	0
Vorgänge mit Abweichungen	–	0
Vorgänge mit latenten Fehlern	2, 4a, 4b, 5, 6	5
Vorgänge mit Fehlern	-	0

Tabelle 7.13.: Aggregation der Kommunikationsschwachstellen, Fallstudie 1

Vorgang	Protokoll	Feedback	Redundanz	Trigger	Kanal	Raum
1	ok	ok	ok	ok	ok	ok
2	ok	ok	latent	latent	latent	ok
3	ok	ok	ok	ok	ok	ok
4a	latent	latent	latent	ok	latent	ok
4b	latent	latent	latent	ok	latent	ok
5	ok	ok	ok	latent	latent	ok
6	ok	ok	latent	latent	latent	ok

Tabelle 7.14.: Ausgewählte Kommunikationsparameter auf einen Blick

Erkenntnisse

Aus der tabellarischen Darstellung 7.14 werden folgende Eigenschaften der Kommunikationsschwäche ersichtlich:

1. Der am meisten gefährdete Kommunikationsparameter:³ Kanal (Medium), Redundanz, Trigger
2. Die am meisten gefährdeten Kommunikationssvorgänge: 4a, 4b, 2, 6

³Es wurden nur die ersten drei Parameter aufgezählt.

3. Aufgaben, die übergangen werden können:

- Crosscheck
- Eintrag in COPRA
- Einstellungen prüfen

4. Aufgaben, die inkorrekt ausgeführt werden können:

- Perfusor einstellen und starten
- Eintrag in COPRA
- Eintrag in GAS-Formular

5. **Propagation:** Die redundanten Medien, die bereits im zweiten Vorgang genutzt werden, initiieren mit deren unscharfen Triggern die Propagierung von Fehlern, die bis zum letzten Vorgang Schwachstellen in der Kommunikation verursachen.

Schritt 5: Verbesserungsvorschläge

- **Protokoll:** Die Ergebnisse der Blutuntersuchungen, die mit der Hand geschrieben werden, sollen sich auf das Ankreuzen von Zahlenfelder beschränken oder das Formular soll bedruckt werden. Kommunikationsvorgänge: 4a, 4b.
- **Trigger:** Der zweite Eintrag in das COPRA System benötigt keinen eigenen Trigger, wenn der Perfusor mit dem Computer des Patienten verbunden wird. Kommunikationsvorgang: 5, 6
- **Redundanz:** Die Redundanz, bei der Kommunikation zwischen der Intensivstation (VAD) und dem Labor, sollte beseitigt werden, oder ein sicheres Protokoll für das Aufschreiben von Ergebnissen sollte eingefügt werden.
- **Feedback:** Bei der Übergabe der Ergebnisse aus dem Labor des Krankenhauses sollte ein eindeutiges Feedback von dem zuständigen Arzt kommen, dass er die Unterlagen erhalten hat. Damit werden die sogenannte „weak awareness failures“ minimiert. Kommunikationsvorgänge 2,3
- **Kommunikationskanal:** Für die beiden redundanten Kommunikationskanäle 4a und 4b sollte festgestellt werden, dass die Aufgabe „crosscheck“ definitiv durchgeführt wird. Eine geeignete Barriere könnte dies bewirken.
- **Medium:** Die Form des Papiers sollte dem möglichen neuen Protokoll angepasst werden. Es sollten zum Beispiel zusätzliche Felder zum ankreuzen der Zahlen vorhanden sein.

- **Sicht:** kein Verbesserungsbedarf entdeckt
- **Audio:** kein Verbesserungsbedarf entdeckt
- **Topologie:** kein Verbesserungsbedarf entdeckt
- **Zusätzliches:** Röhrenverschluss sollt erneuert werden. Die Zuständigkeitsbereiche von Krankenschwestern und Ärzten muss bei dem Bedienen des Perfusors eindeutig definiert werden. Perfursoren sollen mit dem Computer des Patienten verbunden werden.

7.2. Zweite Fallstudie: Der falsche Patient

7.2.1. Beschreibung

Joan Morris (Pseudonym), eine 67 Jahre alte Frau, wurde auf Grund einer Kopfverletzung in ein amerikanisches Krankenhaus eingeliefert. Nach einer Diagnose von zwei Gehirnaneurysmen, wurde entschieden, dass diese entfernt werden müssen. Das erste wurde während der der Arteriographiebehandlung entfernt. Das zweite Aneurysma sollte auf Grund einer schweren Zugänglichkeit operativ entfernt werden. Nach der Angiographie wurde die Patientin aus der Radiologieabteilung in die Onkologie verlegt. Das ursprüngliche Zimmer von Frau Morris befand sich nicht auf der Onkologie sondern auf der Telemetrie. Zur selben Zeit wurde eine weitere Patientin mit einem ähnlichem Namen (Pseudonym Morrisson) aus einem anderem Klinikum eingeliefert. Diese Patientin sollte einer Herzoperation unterzogen werden und bekam ein Zimmer auf der Telemetrie.

Am nächsten Tag wurde die Patientin Morris einer Untersuchung auf der Kardiologie unterzogen und zu einem operativen Eingriff vorbereitet. Eine Stunde nach dem die Untersuchung und Vorbereitung eines operativen Eingriffs angefangen hatte, wurde dem Personal klar, dass Frau Morris die falsche Patientin ist. Die Untersuchungen wurden abgebrochen und die Patientin konnte in einem stabilen Zustand in ihr Zimmer verlegt werden.

Chronologischer Ablauf der Ereignisse

Um 6:15 Uhr loggt sich die diensthabende Krankenschwester (RN1) der Elektrophysiologie auf den Stationscomputer, um den Operationsplan des Tages zu überprüfen, ein. Dieser Computer ist nicht an das Hauptsystem des Krankenhauses angeschlossen. Deswegen findet mit dem Computer auch kein automatischer Informationsaustausch zwischen der Hauptdatenbank des Krankenhauses und der Elektrophysiologie statt.

Die Krankenschwester (RN1) findet Frau Morrisson an der ersten Stelle des Tagesplans. Daraufhin kontaktiert sie telefonisch die Telemetrieabteilung, identifiziert sich mit ihrem Namen und fragt nach der Patientin. Dabei wurde zur Identifikation der Patientin lediglich ihr Nachname benutzt. Eine Angestellte der Telemetrie (deren Name nicht identifiziert wurde) informiert fälschlicherweise die Krankenschwester (RN1), dass die Patientin auf die Onkologie verlegt wurde.

Umgehend danach gegen 6:20 Uhr kontaktiert die Krankenschwester (RN1) die Onkologie, wohin Frau Morris nach der Gehirnangiographie verlegt wurde. Da die Krankenschwester zu diesem Zeitpunkt über falsche Informationen verfügt, war ihre Annahme, dass die gesuchte Patientin sich auf der Onkologie befindet. Die Patientin (Pat1) sollte umgehend auf die Elektrophysiologie, die einen Teil der Kardiologie bildet, verlegt werden.

Um 6:30 hatte eine weitere Krankenschwester (RN2), die sich um Frau Joan Morris (Pat1) gekümmert hatte, der Verlegung der Patientin zugestimmt. Um ein vollständiges Bild der Situation zu erlangen, soll ergänzt werden, dass der Arbeitstag der Krankenschwester der Onkologie (RN2) fast vorbei war, als die Verlegung statt finden sollte. Zusätzlich wurde von ihr angenommen, dass die Entscheidung der Patientenverlegung ohne schriftliche Verordnung und ohne ihr Wissen bereits von den zuständigen Ärzten geregelt wurde.

Obwohl die Patientin selbst an der Richtigkeit des Vorgangs zweifelte und ihre Bedenken der Krankenschwester (RN2) mitteilte, wurde sie ignoriert. Die Krankenschwester (RN2) informierte lediglich ihre Patientin (Pat1), dass sie den weiteren Untersuchungsvorgang auf der Station der Elektrophysiologie ablehnen kann.

Um 6:45 Uhr wurde Frau Morris von der Krankenschwester (RN2) auf die Station der Elektrophysiologie gebracht. Frau Morris äußerte ihre Bedenken gegenüber der Krankenschwester RN1. Diese kontaktierte umgehend telefonisch den behandelnden Kardiochirurgen (Doc1) und teilte ihm die Unsicherheiten der Patientin mit. Der Arzt (Doc1) war überrascht über diese Entwicklung, da er ein Tag davor mit Frau Morris über die Prozedur gesprochen hatte und sie dem Vorgehen zugestimmt hatte. Nach einem kurzem Telefonat des Arztes mit Frau Morris, die ihm ihre Abneigung mitteilte, teilte der Arzt (Doc1) der Krankenschwester (RN1) mit, dass die Patientin (Pat1) nun der Operation eingewilligt hat. Die Krankenschwester RN1 sollte jetzt mit dem Verabreichen von Prochlorperazin anfangen.

Die Krankenschwester der Elektrophysiologie (RN1) schaute noch mal über die Krankenakte der Patientin und bemerkte, dass die Einverständniserklärung zu einem operativen Eingriff fehlte. Sie rief den assistierenden Kollegen (FLW1) an, der sich genauso wie die Krankenschwester über das Fehlen der Unterschrift wunderte.

Gegen 7:00 Uhr überredeten Mitarbeiter der Elektrophysiologie (FLW1) die Patientin Morris zu einer Unterschrift. Eine weitere Krankenschwester (RN3) der Abteilung, die an dem Tag als Tagesschwester im Dienst war, fungierte dabei als Zeuge.

Wenige Minuten danach, gegen 7:10 Uhr traf die Aufsichtskrankenschwester (RN-charge) ein und wurde von der Krankenschwester (RN1) informiert, dass die erste zu operierende Patientin bereits eingetroffen ist. Dabei wurde der Name der Patientin nicht genannt.

Zwischen 7:15 Uhr und 7:30 wurde die Patientin Morris von der Tagesschwester (RN3) auf dem Operationstisch platziert und zu der Operation vorbereitet. Dabei sprach sie mit der Patientin über die Prozedur und schloss sie an die Geräte an. Die Patientin erzählte der Krankenschwester von der Bewusstlosigkeit, die sie erlebte. Diese Erlebnisse wurden von der Krankenschwester (RN3) fälschlicherweise als Grund für die Operation angenommen.

Gegen 7:30 Uhr bemerkte ein Arzt im Praktikum (Doc2) der Neurochirurgie während der morgentlichen Runde, dass Frau Morris (Pat1) nicht auf ihrem Zimmer war. Er erhielt Informationen über eine Prozedur, die auf der Kardiologie an Frau Morris durchgeführt werden sollte.

Der Neurologe (Doc2) war überrascht und ging auf die Station der Elektrophysiologie, um zu erfahren warum „seine“ Patientin ohne sein Wissen auf diese Station verlegt worden war. Während er die Krankenschwester (RN1) über die Situation ausfragte, wurde der Name der Patientin nicht benannt. Die Krankenschwester (RN1) informierte ihn, dass der Termin für die erste Behandlung des Tages vorgesehen war und bereits zwei mal verschoben wurde. Da der Neurologe ein junger Arzt im Praktikum war, nahm er an, dass der Oberarzt (sein Vorgesetzter) dies veranlasst hatte, ohne ihn darüber zu informieren.

Um 8:00 Uhr kam der behandelnde Arzt (Doc1) mit einer Krankenschwester der Elektrophysiologie (RN4) in den Vorraum des Operationssaales. Der Arzt stand außerhalb des Operationsraums an der Computerkonsole und konnte das Gesicht der Patientin nicht sehen, da dieser mit einem Tuch abgedeckt war. Der assistierende Krankenpfleger (FLW1) fingt bereits mit dem programmieren der Stimulation des Herzes an.

Zwischen 8:30 und 8:45 rief die Krankenschwester der Telemetrie (RN5) die Elektrophysiologie an, um nachzufragen, warum die Patientin Jane Morrisson (Pat2) noch nicht abgeholt wurde. Die Krankenschwester der Elektrophysiologie (RN3) nahm diesen Anruf entgegen und nach einer Absprache mit der Krankenschwester (RN4), die bei der Prozedur involviert war, empfahl sie der fragenden Krankenschwester (RN5) Frau Morrisson um 10:00 Uhr herunter zu schicken.

Zur selben Zeit bemerkte die Aufsichtsschwester (RNcharge), dass die Etiketten von Joan Morris zu keinem Patienten des Tages passend sind. Sie fragte den Assistenten, um nähere Informationen über den Namen der Patientin zu bekommen, doch dieser kommentierte dies mit „Das ist unsere Patientin“. Da sich die Prozedur im Fall „Morris“ gerade in einem technisch kritischen Augenblick befand, wollte die Aufsichtsschwester, um nicht zu stören, keine weiteren Fragen stellen. Ihre Annahme war, dass Frau Morris auf die Liste der Patienten gesetzt wurde, nach dem der Plan angefertigt worden ist.

Eine viertel Stunde später zwischen 9:00 Uhr und 9:15 kam ein Radiologe (Doc3) in das Zimmer von Frau Morris und fand den Raum leer vor. Er rief die Station der Elektrophysiologie an und fragte den Kardiochirurgen (Doc1) warum an Frau Morris ein solche Operation durchgeführt wird. Da der Radiologe den Namen der Patientin nannte, fiel nach einer Prüfung der Patientenakte durch den Arzt und die Krankenschwester (RN4) die Vertauschung auf und die Prozedur wurde abgebrochen. Die Patientin konnte auf ihr Zimmer transportiert werden. Der Eingriff hatte keine weiteren Auswirkungen auf die Gesundheit der Patientin. Das Aufgabenmodell zur Fallstudie befindet sich im Anhang der Ausarbeitung.

7.2.2. Analyse

Als nächstes folgt die schrittweise aufgebaute IST-Analyse der Fallstudie. Es werden nacheinander alle Kommunikationsvorgänge untersucht. Abbildung 7.6 zeigt die Transportwege der Patienten im Krankenhaus. Das Vertauschen der Patienten, das unter anderem aufgrund von fehlerhafter Kommunikation passierte, wird im Folgenden im vorgeschlagenen Rahmenwerk modelliert und analysiert. Nach der Erstellung eines vollständigen Aufgabenmodells folgt die Priorisierung aller Kommunikationsvorgänge. Das Aufgabenmodell und die Simulation der Fallstudie wurden mit AMBOSS Software erstellt und durchgeführt.

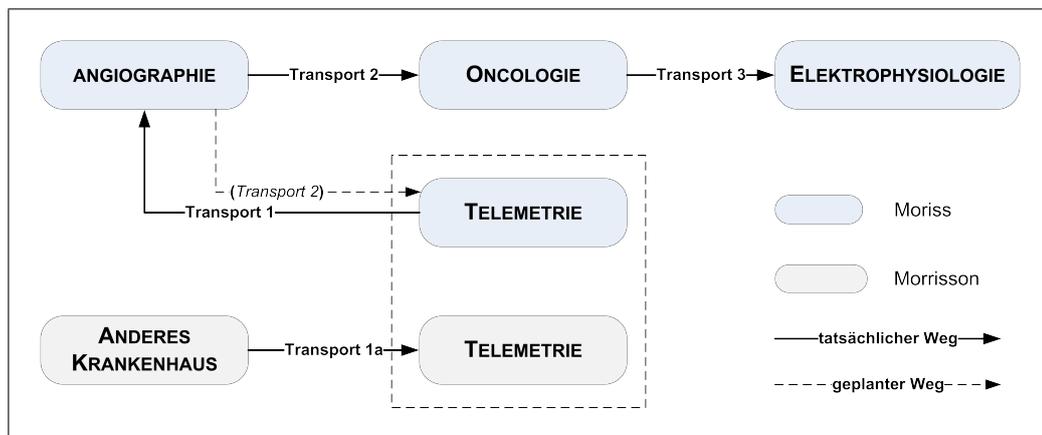


Abbildung 7.6.: Transportwege des Patienten

Schritt 1: Priorisierung der Kommunikationsvorgänge

Die Tabelle 7.15 stellt die Priorisierung der einzelnen Kommunikationsvorgänge dar.

Kommunikationsvorgang 1

Im ersten Kommunikationsvorgang werden Namen der Patienten aus dem Laboratoriumscomputer ausgelesen und notiert.

Vor- gang	Sender	Emp- fänger	Sender_{ID}	Empfänger_{ID}	Klas- se
1	nicht kritisch	nicht kritisch	Pat.namen ablesen	Pat.namen notieren	D
2	nicht kritisch	nicht kritisch	Telemetrie anrufen	Anruf entgegennehmen	D
3	nicht kritisch	nicht kritisch	Onkologie anrufen	Telefonat annehmen	D
4	kritisch	kritisch	Anfrage an den Pat.	Pat. stimmt zu	A
5a	kritisch	kritisch	RN1 informieren	Informationen annehmen	A
5b	kritisch	kritisch	RN1 informieren	Informationen annehmen	A
5c	nicht kritisch	kritisch	Pat.1 informiert RN1	Informationen annehmen	B
6	kritisch	kritisch	Arzt pagen	Signal entgegennehmen	A
7	kritisch	kritisch	Pat.1 befragen	Arzt Info mitteilen	A
8	nicht kritisch	nicht kritisch	Auftrag vergeben	Auftrag annehmen	D
9	nicht kritisch	nicht kritisch	Krankenschwester sprechen	RN3 Einverständnis holen	D
10	kritisch	kritisch	Patient wird informiert	Einverständnis abgeben	A
11a	nicht kritisch	nicht kritisch	Pat. übergeben	Pat. annehmen	A
11b	nicht kritisch	nicht kritisch	Pat. übergeben 2.	Pat. annehmen	D
12	nicht kritisch	nicht kritisch	Pat. ansprechen	Patient spricht	D
13	nicht kritisch	nicht kritisch	Krankenschwester fragen	Arzt informieren	D
14	kritisch	kritisch	Patientin anmelden	Anmeldung entgegennehmen	A
15	nicht kritisch	nicht kritisch	Krankenpfleger fragen	Krankenschwester informieren	D
16	kritisch	kritisch	Elektrophysiologie anrufen	Radiologie informieren	A

Tabelle 7.15.: Priorisierung der Kommunikationsvorgänge, Fallstudie 1, Schritt 1

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Patientennamen ablesen
 Aufgabe Empfänger: Patientennamen notieren
 Rolle Sender: Krankenschwester 1 (RN1)
 Rolle Empfänger: Krankenschwester 1 (RN1)
 Tabelle: 7.16
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.17

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 1						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll						k.a.
Rückmeldung					X	
Redundanz					X	
Trigger		X				
Medium	X					
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio					X	
Audiobeständigkeit					X	
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung		X				

Tabelle 7.17.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 1, Schritt 3

Sonstiges:

1. Nicht genügend Informationen über die Art der Speicherung von Patientendaten.

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer			Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden	X	X	versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.16.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 1, Schritt 2

2. Der Lab-Computer ist nicht mit dem Hauptcomputer des Krankenhauses verbunden.
3. Personal ist für die Instandhaltung der Daten verantwortlich.

Kommunikationsvorgang: 2

Die Krankenschwester sucht die Patientin auf der Telemetrie, um den Transport zu veranlassen.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: Indirekt die Patientenakte.

Aufgabe Sender: Telemetrie anrufen
 Aufgabe Empfänger: Anruf entgegennehmen
 Rolle Sender: Krankenschwester 1 (RN1)
 Rolle Empfänger: Nicht identifizierte Person auf der Telemetrie
 Tabelle: 7.18
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.19

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 2						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung		X				
Redundanz		X				
Trigger	X					
Medium		X				
Sichtkontakt					X	
Sichtbeständigkeit					X	
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.19.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 2, Schritt 3

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		(X)	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.18.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 2, Schritt 2

Sonstiges:

1. Für die Identifikation der Patientin wurde lediglich ihr Nachname benutzt (Protokollschwäche).
2. Die Daten der Patientin waren auf der Station bereits in der Patientenakte vorhanden aber nicht benutzt. Der Vorgang agiert (normal) als Trigger, in diesem Fall triggert er den Sender wegen der Verneinung für weitere Suche.
3. Redundanz: Die Information über Pat. war vorhanden, aber nicht richtig genutzt

Kommunikationsvorgang: 3

Die Krankenschwester sucht die Patientin auf der Onkologie und veranlasst mündlich ihren Transport.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Onkologie anrufen
 Aufgabe Empfänger: Telefonat annehmen
 Rolle Sender: Krankenschwester 1 (RN1)
 Rolle Empfänger: Krankenschwester 2 (RN2)
 Tabelle: 7.20
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.21

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 3						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung		X				
Redundanz					X	
Trigger		X				
Medium		X				
Sichtkontakt					X	
Sichtbeständigkeit					X	
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.21.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 3, Schritt 3

Sonstiges:

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X		nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.20.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 3 , Schritt 2

1. Protokoll zeigt deutliche Schwächen, da es zwar vorhanden ist, aber von beiden Seiten übergangen wird. Dadurch wird ein ähnlicher Name als richtig angenommen.
2. Krankenakte mit eindeutigen Namen und Krankheit wird nicht angesehen um die Daten zu prüfen.
3. Abweichung in der Redundanz analog zu Vorgang Nr. 2.

Kommunikationsvorgang 4

Die Krankenschwester auf der Onkologie holt die mündliche Zustimmung des Patienten für die Prozedur und den Transport auf die Elektrophysiologie.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Anfrage an den Patienten
 Aufgabe Empfänger: Patient stimmt zu
 Rolle Sender: Krankenschwester 2 (RN2)
 Rolle Empfänger: Patient (PAT1)
 Tabelle: 7.22
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.23

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 4						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung			X			
Redundanz					X	
Trigger		X				
Medium					X	
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.23.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 4, Schritt 3

Sonstiges:

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer		X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert	X		Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.22.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 4, Schritt 2

1. Die Krankenschwester verfügte zusätzlich über die Patientenakte, die nicht besichtigt wurde.
2. Die Vorgehensweise bei Einholung der Zustimmung wurde verletzt (Protokollverletzung).
3. Patientin Frau Morris hat definitiv die Prozedur abgelehnt, trotzdem kommt es zum Transport.

Kommunikationsvorgang: 5a

Krankenschwester 2 (RN2) aus der Onkologie informiert die Krankenschwester (RN1) aus der Elektrophysiologie (Abteilung der Kardiologie) mündlich über den Zustand der Patientin Frau Morris (Pat1).

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
Aufgabe Sender: RN1 informieren
Aufgabe Empfänger: Informationen annehmen
Rolle Sender: Krankenschwester 2 (RN2)
Rolle Empfänger: Krankenschwester 1 (RN1)
Tabelle: 7.24
Auffälligkeiten:

Kommunikationsvorgang: 5b

Krankenschwester 2 (RN2) aus der Onkologie informiert die Krankenschwester (RN1) der Elektrophysiologie (Abteilung der Kardiologie) mit Übergabe der Patientenakte über den Zustand der Patientin (Pat1)

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
Aufgabe Sender: RN1 informieren
Aufgabe Empfänger: Informationen annehmen
Rolle Sender: Krankenschwester 2 (RN2)
Rolle Empfänger: Krankenschwester 1 (RN1)
Tabelle: 7.25
Auffälligkeiten:

Kommunikationsvorgang: 5c

Die Patientin (Pat1) teilt der Krankenschwester (RN1) der Elektrophysiologie (Abteilung der Kardiologie) mündlich ihre Bedenken mit.

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.24.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 5a, Schritt 2

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt	X	X	vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.25.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 5b, Schritt 2

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Pat1 informiert RN1
 Aufgabe Empfänger: Informationen annehmen
 Rolle Sender: Patientin (Pat1)
 Rolle Empfänger: Krankenschwester 1 (RN1)
 Tabelle: 7.26
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.27

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 5a, 5b, 5c						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	5b			5a		5c
Rückmeldung		5a		5b,5c		
Redundanz	5b,5c	5a				
Trigger	5a,5b		5c			
Medium	5b				5a	5c
Sichtkontakt	5a,5b,5c					
Sichtbeständigkeit	5a,5b,5c					
Audio	5a,5c				5b	
Audiobeständigkeit	5a,5c				5b	
Raum selbst	5a,5b,5c					
Gesamte Abschätzung				5a,5b,5c		

Tabelle 7.27.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 5a, 5b, 5c , Schritt 3

Sonstiges:

1. Redundanz wird unvollständig genutzt (Redundanzschwäche).
2. Protokoll wurde verletzt und nicht eingehalten bei der Frage nach dem Namen
3. Ignoranz von Seiten des Personals.

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine		X	ist eine
ist keine	X		ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X		nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X		Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert		X	Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X		nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.26.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 5c, Schritt 2

Kommunikationsvorgang: 6

Der Kardiochirurg (Doc1) wird per Pager gesucht.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Arzt pagen
 Aufgabe Empfänger: Signal entgegennehmen
 Rolle Sender: Krankenschwester 1 (RN1)
 Rolle Empfänger: Kardiologe (Doc1)
 Tabelle: 7.28
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.29

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 6						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	X					
Rückmeldung					X	
Redundanz					X	
Trigger	X					
Medium	X					
Sichtkontakt						k.a.
Sichtbeständigkeit						k.a.
Audio						k.a.
Audiobeständigkeit						k.a.
Raum selbst						k.a.
Gesamte Abschätzung		X				

Tabelle 7.29.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 6, Schritt 3

Sonstiges:

1. Rückmeldung nicht möglich.

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer			Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden	X	X	versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.28.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 6 , Schritt 2

Kommunikationsvorgang: 7

Die Krankenschwester (RN1) teilt dem Kardiohirurgen (Doc1) die Bedenken der Patientin mit.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: RN1 konsultieren1
 Aufgabe Empfänger: Doc1 konsultieren1
 Rolle Sender: Krankenschwester 1 (RN1)
 Rolle Empfänger: Arzt der Kardiologie (Doc1)
 Tabelle: 7.30
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.31

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 7						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung				X		
Redundanz					X	
Trigger					X	
Medium					X	
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.31.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 7, Schritt 3

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt	X	X	vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	x		Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
		X	wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.30.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 7, Schritt 2

Sonstiges:

1. Protokoll genutzt aber unscharf.
2. Von Seite des Senders wird das Protokoll nur unscharf genutzt. Dem Empfänger ist ein Protokoll nicht bewusst.
3. Rückmeldung wird von der Seite des Senders ignoriert, da die Aussage als unbrauchbar eingestuft wird.
4. Kanal teilweise nicht genutzt, da der Arzt wahrscheinlich nicht zugehört hat.

Kommunikationsvorgang: 8

Die Krankenschwester (RN1) teilt dem Krankenpfleger mündlich mit, dass er die Prozedur vorbereiten soll.

Schritt2: Sender-Empfänger Analyse

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Auftrag vergeben
 Aufgabe Empfänger: Auftrag annehmen
 Rolle Sender: Krankenschwester 1 (RN1)
 Rolle Empfänger: Krankenpfleger (FLW1)
 Tabelle: 7.32
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.33

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 1						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll						k.a.
Rückmeldung		X				
Redundanz					X	
Trigger	X					
Medium					X	
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung		X				

Tabelle 7.33.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 8, Schritt 3

1. Zum Protokoll gibt es keine weitere Angaben, ob der Name der Patientin verwendet wurde oder die Nummer des Zimmers (Protokollschwäche).

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.32.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 8, Schritt 2

Kommunikationsvorgang 9

Der Krankenpfleger bittet (mündlich) die Krankenschwester RN3, bei der Einwilligung der Patientin als Zeuge zu dienen.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Krankenschwester sprechen
 Aufgabe Empfänger: RN3 Einverständnis holen
 Rolle Sender: Krankenpfleger (FLW1)
 Rolle Empfänger: Krankenschwester 3 (RN3)
 Tabelle: 7.34
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.35

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 9						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung		X				
Redundanz					X	
Trigger		X				
Medium					X	
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.35.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 9, Schritt 3

Sonstiges:

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal	X	X	Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.34.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 9, Schritt 2

1. Der Sichtkontakt war während der Kommunikation vorhanden, wurde aber nicht direkt für die Informationsübermittlung genutzt.

Kommunikationsvorgang: 10

Krankenpfleger informiert die Patientin über die bevorstehende Prozedur

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge:	keine
Aufgabe Sender:	Patient wird informiert
Aufgabe Empfänger:	Einverständnis abgeben
Rolle Sender:	Krankenpfleger (FLW1)
Rolle Empfänger:	Patientin (Pat1)
Tabelle:	7.36
Auffälligkeiten:	

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: [7.37](#)

Sonstiges

1. Die Sicht war während der Kommunikation vorhanden, wurde aber nicht direkt für die Informationsübermittlung genutzt.
2. Patient wurde belogen, deswegen ist der Kommunikationsvorgang so nicht akzeptabel

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X		vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden		X	nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger			Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger	X		unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.36.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 10, Schritt 2

7. Fallstudien

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 10						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung	X					
Redundanz					X	
Trigger					X	
Medium	X					
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.37.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 10, Schritt 3

Sonstiges:

1. Das Medium Papier wird benutzt um die Unterschrift zu erhalten.
2. Patientin wird getäuscht.

Kommunikationsvorgang: 11a

Patient wird an die verantwortliche Krankenschwester der Kardiologie übergeben.
Mündliche Information.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine

Aufgabe Sender: Patienten übergeben 2

Aufgabe Empfänger: Patientenannehmen

Rolle Sender: Krankenschwester1 (RN1)

Rolle Empfänger: Verantwortliche Krankeschwester (RNcharge)

Tabelle: 7.38

Auffälligkeiten:

Kommunikationsvorgang: 11b

Patient wird an die verantwortliche Krankenschwester der Kardiologie übergeben.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine

Aufgabe Sender: Patienten übergeben 2

Aufgabe Empfänger: Patientenannehmen

Rolle Sender: Krankenschwester1 (RN1)

Rolle Empfänger: Verantwortliche Krankeschwester (RNcharge)

Tabelle: 7.39

Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.40

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.38.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 11a, Schritt 2

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer			Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht erwartet	X	X	versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium	X	X	Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt			Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.39.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 11b, Schritt 2

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 11						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	11b		11a			
Rückmeldung		11a		11b		
Redundanz		11a,11b				
Trigger		11a,11b				
Medium	11b				11a	
Sichtkontakt	11a,11b					
Sichtbeständigkeit	11a,11b					
Audio	11a,11b					
Audiobeständigkeit	11a				11b	
Raum selbst	11a				11b	
Gesamte Abschätzung				11a,11b		

Tabelle 7.40.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 11a, 11b, Schritt 3

Sonstiges:

1. Patientennamen spielten bei der Übergabe keine Rolle.
2. Die Daten aus der Patientenakte werden nicht genutzt.
3. Keine schriftliche Übergabe der Patientin.
4. Medium, die Krankenakte, war während der Kommunikation vorhanden aber nicht für Informationsübermittlung genutzt.
5. Die Sicht war vorhanden aber nicht direkt genutzt.

Kommunikationsvorgang: 12

Der Patient wird von der Krankenschwester 3 (RN3) beruhigt.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Patient ansprechen
 Aufgabe Empfänger: Patient spricht
 Rolle Sender: Krankenschwester (RN3)
 Rolle Empfänger: Patient (Pat1)
 Tabelle: 7.41
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.42

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 12						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung				X		
Redundanz					X	
Trigger					X	
Medium					X	
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.42.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 12 , Schritt 3

Sonstiges:

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger			Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger	X		unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
		X	ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.41.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 12, Schritt 2

7. Fallstudien

1. Patient wird falsch verstanden und seine Wunde auf dem Kopf ignoriert.
2. Die Sicht war während der Kommunikation vorhanden, wurde aber nicht direkt für die Informationsübermittlung genutzt.
3. Die Krankenschwester sollte wissen, dass dies die falsche Patientin war, hat zum zweiten Mal Informationen der Patientin ignoriert.

Kommunikationsvorgang: 13

Der Arzt der Neurochirurgie fand seine Patientin nicht und fragte warum sie nicht in ihrem Zimmer sei und einer ihm unbekanntem Prozedur unterzogen wird.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Krankenschwester fragen
 Aufgabe Empfänger: RN1
 Rolle Sender: Arzt in Praktikum (Doc2)
 Rolle Empfänger: Krankenschwester 1 (RN1)
 Tabelle: 7.43
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.44

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 13						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung				X		
Redundanz					X	
Trigger					X	
Medium					X	
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.44.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 13 , Schritt 3

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt	X	X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger			Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger	X		unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.43.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 13, Schritt 2

Sonstiges:

1. Der Oberarzt hat die Prozedur veranlasst ohne dem jungen Arzt etwas mitzuteilen.
2. Name der Patientin wurde nicht benutzt.

Kommunikationsvorgang: 14

Die Patientin wird zur Prozedur der Elektrophysiologie angemeldet.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine

Aufgabe Sender: Patientin anmelden

Aufgabe Empfänger: Anmeldung entgegennehmen

Rolle Sender: Krankenschwester der Telemetrie (RN4)

Rolle Empfänger: Krankenschwester der Elektrophysiologie(RN3) und konsultierende Krankenschwester (RN5)

Tabelle: 7.45

Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.46

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 14						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung		X				
Redundanz					X	
Trigger	X					
Medium	X					telefon
Sichtkontakt					X	
Sichtbeständigkeit					X	
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.46.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 14, Schritt 3

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X	X	Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.45.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 14, Schritt 2

Sonstiges:

1. Die Krankenschwester der Telemetrie hat direkt mit der Krankenschwester (RN3) telefoniert.
2. Diese hat die Krankenschwester (RN5) konsultiert, um einen geeigneten Termin zu finden.

Kommunikationsvorgang 15

Bei der Erstellung der tiketten sind Unstimmigkeiten aufgefallen. Die Krankenschwester fragte den Krankenpfleger nach den Gründen.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine

Aufgabe Sender: Krankenpfleger fragen
 Aufgabe Empfänger: Krankenschwester informieren
 Rolle Sender: Verantwortliche Krankenschwester (RNcharge)
 Rolle Empfänger: Krankenpfleger (FLW1)
 Tabelle: 7.47
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.48

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 15						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll				X		
Rückmeldung				X		
Redundanz					X	
Trigger					X	
Medium					X	
Sichtkontakt	X					
Sichtbeständigkeit	X					
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung				X		

Tabelle 7.48.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 15, Schritt 3

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine			ist eine
ist keine	X	X	ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X		vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt		X	vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X		Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert		X	Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X		Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
		X	wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum	X	X	immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume			immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt	X	X	Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.47.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 15, Schritt 2

Sonstiges:

1. Die Krankenschwester der Telemetrie hat direkt mit der Krankenschwester (RN3) telefoniert. Diese hat Krankenschwester (RN5) konsultiert, um einen geeigneten Termin zu finden.
2. Die Nachfrage der Krankenschwester sollte eine Prüfung des Namens veranlassen, dies wurde allerdings ignoriert (Triggerversagen).

Kommunikationsvorgang 16

Der Radiologe ruft das Elektrophysiologielabor an und fragt den Kardiochirurg, warum die Patientin dieser Prozedur untergehen soll.

Schritt 2: Quantitative Kommunikationsabschätzung

Redundante Kommunikationsvorgänge: keine
 Aufgabe Sender: Elektrophysiologie anrufen (lab)
 Aufgabe Empfänger: Radiologen informieren
 Rolle Sender: Radiologe (Doc3)
 Rolle Empfänger: Kardiochirurg (Doc1)
 Tabelle: 7.49
 Auffälligkeiten:

Schritt 3: Qualitative Kommunikationsbeurteilung

Tabelle: 7.50

Nummer des Kommunikationsvorgangs: 16						
Parameter	Angemessenheit					
	sehr gut	gut	ausreichend	nicht ausreichend	nicht vorhanden	sonstiges
Protokoll	X					
Rückmeldung	X					
Redundanz					X	
Trigger	X					
Medium	X					
Sichtkontakt					X	
Sichtbeständigkeit					X	
Audio	X					
Audiobeständigkeit	X					
Raum selbst	X					
Gesamte Abschätzung	X					

Tabelle 7.50.: Qualitative Beurteilung Fallstudie 2, Vorgang 16, Schritt 3

Sonstiges:

7. Fallstudien

Sendereigenschaften	X	X	Empfängereigenschaften
kritische Aufgabe T_n			kritische Aufgabe T_m
ist eine	X	X	ist eine
ist keine			ist keine
Protokoll			Protokoll
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden
Rückmeldung			Rückmeldung
erwartet immer	X	X	Versenden von F. immer genutzt
unregelmäßig wahrgenommen			unregelmäßig Bestätigt
Bestätigung wird ignoriert			Das Versenden von F. wird ignoriert
Bestätigung nicht vorhanden			versenden von F. nicht vorhanden
Redundanz			Redundanz
vorhanden & genutzt			vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden	X	X	nicht vorhanden
Trigger			Trigger
Info. ist ein Trigger	X		Immer wahrgenommen & genutzt
Info. ist kein Trigger			unregelmäßig wahrgenommen & genutzt
			wird ignoriert
			ist überflüssig
Raum			Raum
immer selber Raum			immer selber Raum
selber Raum unregelmäßig			selber Raum unregelmäßig
immer verschiedene Räume	X	X	immer verschiedene Räume
Kanalauswahl			Kanalauswahl
Medium			Medium
Sichtkontakt			Sichtkontakt
Hörkontakt	X	X	Hörkontakt
Nicht definiert			Nicht definiert
Kommunikationskanal			Kommunikationskanal
vorhanden & genutzt	X	X	vorhanden & genutzt
vorhanden & unregelmäßig genutzt			vorhanden & unregelmäßig genutzt
vorhanden & nicht genutzt			vorhanden & nicht genutzt
nicht vorhanden			nicht vorhanden

Tabelle 7.49.: Kommunikationsanalyse Fallstudie 2, Vorgang 16, Schritt 2

1. Der Radiologe hat direkt mit dem Kardiochirurg telefoniert, der die Krankenschwester um Erklärung bat.

7.2.3. Auswertung

Schritt 4: Aggregation der einzelnen Kommunikationsschwächen

Bei näherer Betrachtung der Parameterausprägungen aus dem vorherigen Schritt kann folgende Auflistung der Schwachstellen erstellt werden:

Zusammenfassung der schriftlichen Notizen:

1. Vorgang 1
 - a) Nicht genügend Informationen über die Art der Speicherung von Patientendaten.
 - b) Der Lab-Computer ist nicht mit dem Hauptcomputer des Krankenhauses Verbunden.
 - c) Das Personal ist für die Instandhaltung der Daten verantwortlich.
2. Vorgang 2
 - a) Für die Identifikation der Patientin wurde lediglich ihr Nachname benutzt (Protokollschwäche).
 - b) Die Daten der Patientin waren auf der Station bereits in der Patientenakte vorhanden, wurden aber nicht benutzt. Der Vorgang agiert (normal) als Trigger, in diesem Fall triggert dieser den Sender wegen der Verneinung für eine weitere Suche.
 - c) Redundanz: Die Information über die Patientin war vorhanden, aber nicht richtig genutzt
3. Vorgang 3
 - a) Das Protokoll zeigt deutliche Schwächen, da es zwar vorhanden ist, aber von beiden Seiten übergangen wird. Dadurch wird ein ähnlicher Name als richtig angenommen.
 - b) Krankenakte mit eindeutigem Namen und Krankheit wird nicht angesehen um die Daten zu prüfen.
 - c) Abweichung in der Redundanz analog zu Vorgang 2.
4. Vorgang 4
 - a) Die Krankenschwester verfügte zusätzlich über die Patientenakte, die nicht besichtigt wurde.
 - b) Die Vorgehensweise der Zustimmung wurde verletzt. (Protokollverletzung)

- c) Die Patientin Frau Morris hat definitiv die Behandlung abgelehnt, trotzdem kommt es zum Transport.
5. Vorgang 5
- a) Redundanz wird unvollständig genutzt (Redundanzschwäche).
 - b) Protokoll wurde verletzt und nicht angehalten bei der Frage nach dem Namen.
 - c) Ignoranz von Seiten des Personals.
6. Vorgang 6
- a) Rückmeldung nicht möglich.
7. Vorgang 7
- a) Protokoll genutzt aber unscharf.
 - b) Von Seite des Senders wird das Protokoll nur unscharf genutzt. Dem Empfänger ist ein Protokoll nicht bewusst.
 - c) Rückmeldung wird von der Seite des Senders ignoriert, da die Aussage als unbrauchbar eingestuft wird.
 - d) Der Kanal teilweise nicht genutzt, da der Arzt wahrscheinlich nicht zugehört hat.
8. Vorgang 8
- a) Zum Protokoll gibt es keine weitere Angaben, ob der Name der Patientin verwendet wurde oder Nummer des Zimmers (Protokollschwäche).
9. Vorgang 9
- a) Die Sicht war während der Kommunikation vorhanden aber nicht direkt für Informationsübermittlung genutzt.
10. Vorgang 10
- a) Das Medium Papier wird benutzt, um eine Unterschrift fest zu halten.
 - b) Patientin wird getäuscht.
11. Vorgang 11
- a) Patientenname spielte bei der Übergabe keine Rolle.
 - b) Die Daten aus der Patientenakte werden nicht genutzt.
 - c) Keine schriftliche Übergabe der Patientin.
 - d) Das Medium - die Krankenakte-, war während der Kommunikation vorhanden, wurde aber nicht für Informationsübermittlung genutzt.

e) Die Sicht war vorhanden aber nicht direkt genutzt.

12. Vorgang 12

- a) Patient wird falsch verstanden und seine Wunde auf dem Kopf ignoriert.
- b) Die Sicht war während der Kommunikation vorhanden, aber nicht direkt für Informationsübermittlung genutzt.
- c) Die Krankenschwester sollte wissen, dass dies die falsche Patientin ist, hat zum zweiten Mal Informationen der Patientin ignoriert.

13. Vorgang 13

- a) Der Oberarzt hat die Prozedur veranlasst ohne dem jungen Arzt etwas mitzuteilen.
- b) Der Name der Patientin wurde nicht benutzt.

14. Vorgang 14

- a) Die Krankenschwester der Telemetrie telefoniert direkt mit der Krankenschwester (RN3).
- b) Die Krankenschwester (RN5) wird konsultiert (von RN3), um einen geeigneten Termin zu finden.

15. Vorgang 15

- a) Die Krankenschwester der Telemetrie hat direkt mit der Krankenschwester (RN3) telefoniert. Diese hat Krankenschwester (RN5) konsultiert um einen geeigneten Termin zu finden.
- b) Die Nachfrage der Krankenschwester sollte eine Prüfung des Namens veranlassen, dies wurde allerdings ignoriert (Triggerversagen).

16. Vorgang 16

- a) Der Radiologe telefoniert direkt mit dem Kardiochirurg, der die Krankenschwester um Klärung bittet.

Parameter	Vorgangsnummer	Σ
Anzahl Kommunikationsvorgänge:		19
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse A	4, 5a, 5b, 6, 7, 10, 11a, 14, 16	9
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse B	5c	1
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse C	-	0
Anzahl kritischer Kommunikationsvorgänge Klasse D	1, 2, 3, 8, 9, 11b, 12, 13, 15	9
Vorgänge mit nicht ausreichendem Protokoll	2, 3, 4, 5a, 7, von 9 bis 15	11
Vorgänge mit nicht ausreichender Rückmeldung	5b, 5c, 7, 11b, 12, 13, 15	7
Vorgänge mit nicht ausreichender Redundanz	-	0
Vorgänge mit nicht ausreichendem Trigger	7, 15	
Vorgänge mit nicht ausreichendem Medium	-	0
Vorgänge mit nicht ausreichenden Parametern der physikalischen Umgebung	-	0
Vorgänge mit Abweichung	2, 3, 4, 5a, 5b, 5c, 7, von 11 bis 15	12
Vorgänge mit latenten Fehlern	5b, 7	2
Vorgänge mit Fehlern	3, 5c, 10	3

Tabelle 7.51.: Aggregation der Kommunikationsschwachstellen, Fallstudie 2

7. Fallstudien

Vor- gang	Protokoll	Feedback	Redun- danz	Trigger	Kanal	Raum
1	ok	Abwei- chung	ok	ok	ok	ok
2	Abwei- chung	ok	Abwei- chung	ok	ok	ok
3	Abwei- chung	ok	Fehler	ok	ok	ok
4	Abwei- chung	Abwei- chung	ok	ok	ok	ok
5a	Abwei- chung	ok	Abwei- chung	ok	ok	ok
5b	Abwei- chung	ok	latent	ok	Fehler	ok
5c	Fehler	Fehler	Abwei- chung	ok	ok	ok
6	ok	ok	ok	ok	ok	ok
7	latent	ok	ok	Abwei- chung	Abwei- chung	ok
8	ok	ok	ok	ok	ok	ok
9	Abwei- chung	ok	ok	ok	ok	ok
10	Fehler	ok	ok	ok	ok	ok
11a	Fehler	ok	Abwei- chung	ok	ok	ok
11b	Abwei- chung	ok	ok	ok	Abwei- chung	ok
12	ok	ok	ok	ok	ok	ok
13	Abwei- chung	ok	ok	ok	ok	ok
14	Abwei- chung	ok	ok	ok	ok	ok
15	Abwei- chung	Abwei- chung	ok	Abwei- chung	ok	ok
16	ok	ok	ok	ok	ok	ok

Tabelle 7.52.: Ausgewählte Kommunikationsparameter auf einen Blick

Erkenntnisse

Aus der tabellarischen Darstellung 7.52 werden folgende Eigenschaften der Kommunikationsschwäche ersichtlich:

1. Die am meisten gefährdeten Kommunikationsparameter: Protokoll, Rückmeldung, Redundanz.
2. Die am meisten gefährdeten Kommunikationssvorgänge: 5c(zusammen mit 5b und 5a), 3, 15.

3. Aufgaben, die übergangen und inkorrekt ausgeführt werden können:

Das Ergebnis von mehreren Kommunikationsfehlern in einem schlecht organisierten Team ist das Vertauschen von zwei Patientinnen zu nennen. Es gibt insgesamt nur wenige Aufgaben, die korrekt ausgeführt wurden. Es ist nicht zweckmäßig, die am meisten gefährdeten Aufgaben an dieser Stelle einzeln aufzulisten. Das Protokoll wurde in fast allen Fällen falsch genutzt. Dieser Sachverhalt deutet auf eine allgemein sehr schwache Kommunikationskultur in diesem Team hin. Die einzelnen Schwachstellen von weiteren Parametern wurden in den bisherigen Schritten dokumentiert.

Die Liste der einzelnen Kommunikationsfehler wird im Folgenden dargestellt, um nochmal die einzelnen Momente der Situation klar zu stellen. Der größte Teil der Auflistung wurde von den Autoren der Fallstudie bereits präsentiert. Der folgende Text ist eine freie Wiedergabe der Ergebnisse aus [CB02] (Tabelle 1) und wurde mit den Hinweisen auf die einzelnen Kommunikationsschwachstellen erweitert.

- Die Krankenschwester [RN1] wird von einer nicht identifizierten Person der Telemetrie falsch informiert. Frau Morris ist angeblich bereit auf die Station der Onkologie verlegt worden, (Uhrzeit: 06:15) Kommunikationsvorgang 2.
- Die Krankenschwester [RN2] wird von der Krankenschwester [RN1] aufgefordert Frau Morris auf die Station der Elektrophysiologie zu bringen, (Uhrzeit 06:30) Kommunikationsvorgang 3.
- Die Identität der Patientin wird nach dem Transport nicht von der Krankenschwester [RN1] mit dem Operationsplan verglichen, (Uhrzeit: 06:45) Kommunikationsvorgang 5a, b.
- Die Einwände der Patientin bezüglich der bevorstehenden Operation werden von der Krankenschwester [RN2] nicht ernst genommen, (Uhrzeit: 06:45) Kommunikationsvorgang 5c.

- Die Identität wie auch die Einwände der Patientin werden auch nicht von dem behandelnden Arzt überprüft, (Uhrzeit: 06:45) Kommunikationsvorgang 7.
- Die Krankenschwester [RN1] bemerkt die fehlende Einverständniserklärung der Patientin. Dies wird von ihr nicht als wichtig empfunden und vernachlässigt, (Uhrzeit 06:45-07:00) Kommunikationsvorgang 8.
- Der assistierende Kollege [FLW1] klärt die Patientin unangemessen auf, um die Einverständniserklärung von ihr zu erhalten, (Uhrzeit: 07:00 - 07:15) Kommunikationsvorgang 10.
- Die Krankenschwester [RN3], die als Zeugin bei der Unterzeichnung der Einverständniserklärung dabei ist, prüft die Identität von Frau Morris nicht, (Uhrzeit: 07:10) Kommunikationsvorgang 9.
- Die Aufsichtskrankenschwester verlässt sich auf die mündliche Aussage. Sie vernachlässigt die Prüfung der Identität, (Uhrzeit: 07:15-07:30) Kommunikationsvorgang 11*a, b*.
- Der Arzt [DOC2] der Neurochirurgie besteht nicht auf eine detaillierte Klärung des Sachverhaltes, weshalb Frau Morris einer ihr unbekanntem Behandlung unterzogen wird, (Uhrzeit: 07:30) Kommunikationsvorgang 13.
- Die Aufsichtsschwester wird auf ihre Nachfrage von dem Assistenten nur unzureichend informiert. Trotzdem versäumt sie es eine eindeutige Antwort einzufordern, weshalb keine der Personen auf der Liste mit dem Namen Morris übereinstimmt, (Uhrzeit 08:30 08:45) Kommunikationsvorgang 15.

4. Propagation:

Anhand des Protokolls lässt sich feststellen, dass das Fehlen von der Erwähnung der Namen von beiden Patientinnen in mehreren aufeinander folgenden Kommunikationsvorgängen, die von unterschiedlichen Personen partizipiert wurden, zu einer Propagation, wie sie in 6.7.4 charakterisiert wurde, führt. Die Initiierung der Propagation fängt bereits beim ersten Telefonat, während dem lediglich der Nachname der Patientin erwähnt wird und erstreckt sich über weitere Vorgänge, in denen der Name eine eindeutige Identifizierung der Patientin hätte herbeiführen können.

Schritt 5: Verbesserungsvorschläge

- **Protokoll:** Informationen sollen per Telefon nur nach einer Identifikation des Gesprächspartners erfolgen. Bei einer Übernahme eines neuen Patienten soll immer dessen vollständiger Name überprüft werden.
- **Trigger:** Bedenken im Team sollen eindeutig geäußert werden, sodass diese überprüft werden.
- **Redundanz:** Bei redundanten Kommunikationsvorgängen sollte mindestens ein Vorgang quittiert werden. Schwachstellen in der Redundanz können durch ein einheitliches Computersystem im Krankenhaus erreicht werden.
- **Rückmeldung:** Die Kommunikationsvorgänge, in denen die Aussage einer Patientin falsch interpretiert wurden, können durch bessere Schulungen des Personals erreicht werden. Das Personal soll für Aussagen von Patienten sensibilisiert werden, um Patienten ernster zu nehmen und nicht zu ignorieren.
- **Kommunikationskanal:** Patiententransporte sollen schriftlich dokumentiert werden.
- **Medium:** keine Vorschläge
- **Sicht:** keine Vorschläge
- **Audio:** keine Vorschläge
- **Sonstiges:** Verbesserung der Kommunikationskultur. In diesem Fall wird das Berichtigten von einzelnen Kommunikationsschwächen keine Verbesserung bewirken. Das Team muss seine Kommunikationskultur verbessern.

7.3. Zusammenfassung

In Kapitel 7 wurde anhand der bereits in Abschnitt 6.7 vorgestellten Methodik das Verfahren praktisch durchgeführt. Das Vorgehen nutzt als Input ein Aufgabenmodell, welches in einer bereits vorgestellten Applikation AMBOSS umgesetzt wurde. Die Methode beinhaltet Kommunikationsparameter, die im Abschnitt 6.4 herauskristallisiert wurden, um die Sachverhalte der Kommunikation adäquat in Aufgabenmodellen abzubilden. Die empirische Grundlage für die Validierung des Konzeptes bildeten zwei Fallstudien aus dem Bereich des Gesundheitswesens, wobei beide Fallstudien sich mit Beinahe-Unfällen, die sich im Bereich der Kardiologie eines Krankenhauses ereigneten, beschäftigen. Mithilfe der Fallstudien konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Verfahren ein geeignetes Werkzeug für das Dokumentieren und die Analyse von Kommunikationsschwachstellen in komplexen soziotechnischen Systemen anbietet. Damit wurde die praktische Seite von den wichtigsten Untersuchungszielen, die im Abschnitt 6.1 definiert wurden, erfüllt. Im nächsten Kapitel der Ausarbeitung erfolgt eine abschließende Beurteilung der Methodik mit deren Vorteilen und Einschränkungen. Darüber hinaus findet eine allgemeine Zusammenfassung der Dissertation mit ihrem Ausblick statt.

Teil V.

Resümee

8. Zusammenfassung

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Abhandlung zusammengefasst. Es sollen vor allem Fragen beantwortet werden, ob und wie die gestellten Ziele erreicht wurden, wo sich Defizite ausmachen lassen und wo dementsprechend noch Optimierungsbedarf besteht und welche zukünftigen Entwicklungen nach der Promotion erfolgen können.

Die Hauptaufgabe der Arbeit bestand in der Erarbeitung einer geeigneten Methodik, mit der Kommunikationsschwachstellen in einem soziotechnischen sicherheitskritischen System systematisch dokumentiert und analysiert werden. Um der Hauptaufgabe und der damit verbundenen Herausforderung der Ausarbeitung gerecht zu werden, wurden der Arbeit mehrere Ziele gestellt, die im Folgenden im Hinblick auf den Erreichungsgrad besprochen werden.

8.1. Erreichte Ziele

Die Idee des Vorhabens war es, die Vorteile von hierarchischen Aufgabenmodellen zu nutzen. Vor diesem Hintergrund wurden am Anfang der Ausarbeitung in Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen der Aufgabenmodellierung und Aufgabenmodellen ausführlich beleuchtet.

Als erstes Ziel sollte ein geeignetes Beschreibungskalkül für das Modellieren der Kommunikationsvorgänge in soziotechnischen sicherheitskritischen Systemen erstellt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden zuerst in Kapitel 3 die theoretischen Grundlagen soziotechnischer Systeme untersucht. Anschließend wurde die Kritikalität solcher Systeme charakterisiert. Damit wurden die Anforderungen deutlich, die ein sicherheitskritisches System an ein solches Beschreibungskalkül stellt. Anschließend wurde ein Kommunikationsmodell für sicherheitskritische Systeme im Abschnitt 6.4 erarbeitet. Basierend auf diesem Modell konnten nun Parameter für das Beschreibungskalkül abgeleitet werden, vgl. 6.7.

Als Nächstes sollte das erarbeitete Beschreibungskalkül es ermöglichen, Schwachstellen in den Aufgabenmodellen aufzuspüren, die durch ungeeignete Kommunikation auftreten. Dies ist gleichzeitig das zweite Ziel der Abhandlung. Dafür wurde in dem Abschnitt 6.7 ein heuristisches Verfahren vorgeschlagen. Das Verfahren besteht aus fünf aufeinander folgenden Schritten. Im ersten Schritt werden die Kommunikationsvorgänge nach ihrer Kritikalität klassifiziert, wodurch vier Kritikalitätsklassen entstehen. Im zweiten Schritt wurden die einzelnen Kommunikationsvorgänge an-

hand der abgeleiteten Parameter quantitativ beurteilt. Im dritten Schritt erfolgt mithilfe einer Notenskala eine qualitative Abschätzung der Kommunikation. Danach werden die einzelnen Ergebnisse aggregiert und ausgewertet. Innerhalb dieser Schritte wird die Grenzwertigkeit der einzelnen Kommunikationsvorgänge untersucht, was gleichzeitig das Erreichen des dritten Ziels signiert. Darüber hinaus soll erwähnt werden, dass ein Experte mit dieser Methode in die Lage versetzt wird, latente Fehler, die ihren Ursprung in der Kommunikation aufweisen, aufzudecken.

Im letzten Schritt der Methode werden anhand der gefundenen Schwachstellen Verbesserungen an das untersuchte System abgegeben. Die in den vorherigen Schritten gefundenen Schwachstellen der Kommunikation zeigen gleichzeitig, welche Parameter verbessert werden sollen und welche Aufgaben besonders gefährdet sind. Diese Informationen dienen als Hinweise für die Verbesserungsvorschläge und knüpfen an das vierte Ziel an.

Im Anschluss sollen die Ergebnisse aus der Anwendung des Verfahrens einem kritischen Blick unterzogen werden.

8.2. Umsetzung

Die Anwendung der vorgeschlagenen Methode setzt das Aufstellen eines Aufgabenmodells des zu untersuchenden Systems mit den nötigen Parametern voraus. Dafür musste erst eine geeignete Modellierungsumgebung erschaffen werden. Für diesen Zweck wurde bereits während der Projektgruppe AMBOSS eine neue Modellierungsumgebung für Aufgabenmodelle konzipiert und erstellt, vgl. 2.2.5. Das zugrunde liegende Aufgabenmodell wurde entsprechend erweitert, sodass die Anforderungen, die für die Modellierung von Aufgaben in solchen Systemen gestellt werden, mit dem neuen Ansatz erfüllt werden können.

Neben der konzeptionellen Arbeit war es dem Autor ein besonderes Anliegen, dass der neue Ansatz die Möglichkeit besitzt, Kommunikationszusammenhänge für sicherheitskritische Systeme zu spezifizieren, vgl. Abschnitt 2.2.5. Mit dieser Modellierungsumgebung wurden auch die beiden Aufgabenmodelle für die Fallstudien aus dem Kapitel 7 untersucht. Auf diesen Modellen basierend erfolgte die Analyse.

In der ersten Fallstudie konnten durch den Einsatz der Methode zum einen die gefährdetsten Kommunikationsvorgänge und Parameter herausgefunden werden. Unter anderem konnten die Schwächen im Bereich der Redundanz und der unzureichenden Trigger oder auch der Rückmeldung gezeigt werden. Zum anderen war es möglich, Inkonsistenzen in Verantwortungsbereichen von Aufgaben zwischen involvierten Akteuren herauszukristallisieren.

Der Einsatz der Methode in der zweiten Fallstudie veranschaulichte zuerst, dass sich das Verfahren auch bei größeren und komplexeren Fallstudien bewährt. Die Untersuchung zeigte, dass in diesem Team Verbesserungen von einzelnen Parametern keinen dauerhaften Erfolg bei der Beseitigung herrschender Probleme bewirken

werden. Vielmehr konnte auf Basis der Ergebnisse eine allgemein schlechte Kommunikationskultur im Team der Intensivstation nachgewiesen werden. Die Methode ermöglichte in beiden Fällen eine systematische Dokumentation der Schwachstellen, die als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen kann.

Mit dem Einsatz der Methode in beiden Fallstudien konnte auch gezeigt werden, dass es möglich ist, mit einer derartigen Methodik Schwachstellen in soziotechnischen kritischen Systemen zu finden und angemessene Verbesserungsvorschläge zu kreieren. Ähnlich zu den Ansätzen wie HAZOP oder AcciMap, die im Abschnitt 5.2 vorgestellt wurden, erfordert das Vorgehen einen Einsatz von Experten, die zum einen in dem Verfahren trainiert werden und zum anderen für die Analyse freigestellt werden, was wiederum mit erheblichen Kosten für ein Unternehmen verbunden ist.

Leider gibt es bis jetzt keinen Mechanismus, um solche Verbesserungsvorschläge automatisch zu generieren. Dies ist sicherlich ein Nachteil und gleichzeitig eine Herausforderung für weitere Forschung, die im folgenden Ausblick angedeutet werden soll.

8.3. Ausblick

Das Verfahren befindet sich in einem Stadium, in dem der Machbarkeitsnachweis erbracht wurde und nun die Realisierung durch eine Software möglich ist. Die Umsetzung des Verfahrens konnte direkt in die Modellierungsumgebung von AMBOSS integriert werden.

Eine weitere Bereicherung des Verfahrens würde ein Einsatz in einem Forschungsprojekt im Bereich der Luft- und Raumfahrt darstellen, mit dem Ziel, Muster von Kommunikationsvorgängen für bestimmte Prozeduren zu spezifizieren, um diese dann für die Entwicklung neuer Kommunikationsformen oder Kommunikationsabläufe zwischen Piloten selbst und Piloten und dem Bodenpersonal einzusetzen. Dies könnte gleichzeitig helfen, Probleme in den untersuchten Verfahren zu finden, vor allem, wenn Verfahren (Prozeduren) gegen andere oder neue Prozeduren ausgewechselt werden sollten. Probleme, die auf diese Weise untersucht und angegangen werden könnten, wurden bereits mit den Veröffentlichungen [MR09b], [MRM10] aufgezeigt.

Beide Veröffentlichungen beschäftigen sich mit dem Problem neuer Cockpit-Prozeduren, die aufgrund der Modernisierung der Arbeitsumgebung von Piloten auftreten können. Solche Verfahren könnten mit dem in dieser Abhandlung vorgeschlagener Methodik auf mögliche Schwachstellen untersucht werden, um diese entsprechend zu verändern und im Hinblick auf die Optimierung der Sicherheit anzupassen. Vor allem der Weg zu automatischen Verbesserungsvorschlägen, die zum Beispiel aus einer Sammlung von Erfahrungswerten generiert werden, könnte begradigt werden.

Erfahrungen aus solchen Forschungsprojekten könnten Arbeiten in der virtuellen Sprache AMBOSSA beflügeln und sie um zusätzliche Komponenten der Kommunikation erweitern. Damit könnten dann bestimmte Muster von Kommunikations-

schwachstellen, zum Beispiel latente Fehler, zwischen den Aufgaben im soziotechnischen System semiautomatisch oder auch automatisch aufgedeckt werden.

8.4. Schlussbemerkung

Der vorgestellte Ansatz wurde bis heute nur in wenigen Fällen praktisch umgesetzt. Der Autor hofft, dass in der zukünftigen Forschung genügend Beispiele von kritischer Kommunikation untersucht werden, in denen das Verfahren für die Verbesserung der Sicherheit in Systemen eingesetzt werden kann.

+

Literaturverzeichnis

- [25490] DIN 25424. *Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis). German Industry Standard (Part 1 and 2)*. Beuth Verlag, Berlin, 1981/1990.
- [61090] IEC 61025. *Fault Tree Analysis International Standard IEC 61025*. IEC Geneva, 1990.
- [AD00] J.D. Andrews and S.J. Dunnett. Event-tree analysis using binary decision diagrams. In *IEEE Trans. Reliability*, volume 49, pages 230–338. IEEE Computer Society, june 2000.
- [ADRG71] J. Anett, K.D. Duncan, Stammers R.B., and M.J. Gray. *Task Analysis*, 1971.
- [AK67] J. Annett and Duncan K.D. Task Analysis and Training Design. *Journal of Occupational Psychology*, 41:211–221, 1967.
- [And95] J. R. Anderson. *Kognitive Psychologie*. Spektrum Lehrbuch, 1995.
- [AS78] C. Argyris and D. Schön. *Organisational Learning: A Theory of Action Perspective*. AddisonWesley, 1978.
- [AS87] J.A. Astley and R.B. Stammers. *Adapting Hierarchical Task Analysis for User-System Interface Design in New Methods in Applied Ergonomics*. Taylor and Francis, 1987.
- [AS99] C. Argyris and D. Schön. *Die Lernende Organisation: Grundlagen, Methode, Praxis*. Klett-Cotta, 1999.
- [AS01] J. Annett and N. Stanton. *Task Analysis*. Taylor & Francis, London, 2001.
- [Baa92] B.J. Baars. *Experimental slips and human error: exploring the architecture of volition*, chapter The many uses of error, pages 3–37. Plenum, 1992.
- [Bae05] D. Baecker. *Form und Formen der Kommunikation*. Suhrkamp, 2005.
- [BB87] T. Bolognesi and E. Brinksma. Introduction to the ISO specification language LOTOS. *Comput. Netw. ISDN Syst.*, 14(1):25–59, 1987.

- [BB02] J. Braband and B. Brehmke. Application of why-because graphs to railway near-misses. In *In proceedings of The First Workshop on the Investigation and Reporting of Incidents and Accidents (IRIA)*, pages 26–32, Glasgow, Scotland, 2002.
- [BBP⁺00] T. Bentley, S. Balbo, C. Paris, J. Tarby, and L. Johnston. Task modelling review of methods, tools, and other., report number 2000/155. Technical report, CSIRO/MIS, 2000.
- [BBS99a] M. Biere, B. Bomsdorf, and G. Szwillus. Specification and simulation of task models with vtmb. In *CHI '99: CHI '99 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1–2, New York, NY, USA, 1999. ACM Press.
- [BBS99b] M. Biere, B. Bomsdorf, and G. Szwillus. The visual task model builder. In *Proceedings of the third international conference on Computer-aided design of user interfaces*, pages 245–256, Norwell, MA, USA, 1999. Kluwer Academic Publishers.
- [BE88] John B. E. *Contributions to Engineering Models of human-computer interaction*. Carnegie Mellon University., 1988. Ph.D. Thesis.
- [Bea06] P. Beard. CONNECTING INTERNATIONALLY A Dialogue with Key National Patient Safety Organizations. Technical report, Canadian Patient Safety Institution, 2006.
- [Bec07] K. Beck. *Kommunikationswissenschaft*. UVK Verlagsgesellschaft mbH, 2007.
- [Ben75] L. Benner. Accident investigation: Multilinear events sequencing methods. In *Journal of Safety Research*, volume 7, pages 67–73, 1975.
- [Ber68] L. von Bertalanffy. *General System Theory*. New York: George Braziller, 1968.
- [BG69] F.E. Bird and Germain G.L. *Practical Loss Control Leadership*. Institute Publishing, Division of International Loss Control Institute., 1969.
- [BG07] L.J. Bellamy and T.A.W. Geyer. Development of a working model of how human factors, safety management systems and wider organisational issues fit together. health and safety executive report, rr 543, 2007.

- [BGMSW91] J. Blomberg, J. Giacomi, A. Mosherand, and P. Swenton-Wall. Ethnographic field methods and their relation to design. *D. Schuler & A. Namioka (Eds.), Participatory design: Perspectives on systems design*, pages 123–155, 1991.
- [BJB00] L. K. Baumeister, B. E. John, and M. D. Byrne. A comparison of tools for building goms models. In *CHI '00: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 502–509, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [BK86] S. Bovair and D.E. Kieras. The acquisition of procedures from text; a production-system analysis of transfer of training. *Journal of Memory and Language*, 25:507–524, 1986.
- [BKP90a] S. Bovair, D. E. Kieras, and P. G. Polson. The acquisition and performance of text-editing skill: a cognitive complexity analysis. *Hum.-Comput. Interact.*, 5(1):1–48, 1990.
- [BKP90b] S. Bovair, D.E. Kieras, and P.G. Polson. The acquisition and performance of text-editing skill: A cognitive complexity analysis. *Human-Computer Interaction*, 5:1–48, 1990.
- [BL95] R. T. Booth and T. R. Lee. The role of human factors and safety culture in safety management. *Journal of Engineering Manufacture*, 209:393–400, 1995.
- [BLAS06] M. Baron, V. Lucquiaud, D. Autard, and D. L. Scapin. K-made: un environnement pour le noyau du modèle de description de l'activité. In *IHM '06: Proceedings of the 18th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pages 287–288, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [BNPB06] E. Barboni, D. Navarre, P. Palanque, and D. Bazalgette. Petshop : A model-based tool for the formal modelling and simulation of interactive safety critical embedded systems. . proceedings of hci aero conference (demonstration) (hci aero 2006), seatle, usa, sept. 2006., septembre 2006.
- [Bon07] J. Bond. The blame culture an obstacle to improving safety. *Journal of Chemical Health and Safety*, 15(2):6–9, March-April 2007.
- [Bor02] R.L. Boring. Human-computer interaction as cognitive science. In *Human Factors and Ergonomics Society*, 2002.

- [Bra02] J. Brand. Methoden zu sicherheitsanalyse und ihre praktische anwendung. *SIGNAL + DRAHT*, 94:9–13, 2002.
- [BS03] W. K. Bloechle and D. Schunk. Micro saint sharp simulation software: micro saint sharp simulation software. In *WSC '03: Proceedings of the 35th conference on Winter simulation*, pages 182–187. Winter Simulation Conference, 2003.
- [BSD96] D. V. Beard, D. K. Smith, and K. M. Denelsbeck. Quick and dirty goms: a case study of computed tomography interpretation. *Hum.-Comput. Interact.*, 11(2):157–180, 1996.
- [Bur98] R. Burkart. *Kommunikationswissenschaft. Grundlagen und Problemfelder. Umriss einer Interdisziplinären Sozialwissenschaft*. Wien: Böhlau, 1998.
- [Bur00] C.P. Burns. *Analysis Accident Reports Using Structured and Formal Methods*. PhD thesis, The UNiversity of Glasgow, 2000.
- [C.92] Perrow C. *Normale katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik*. Campus, 1992.
- [C.08] Lowe C. A Human Factors Perspective on Safety Management Systems. In *Improvements in System Safety*, pages 139–153. Springer, London, 2008.
- [Cac98] P.C. Cacciabue. Modelling and simulation of human behaviour for safety analysis and control of complex systems. *Safety Science*, 28:797–110, 1998.
- [CAI03] Columbia Accident Investigation Board. *Columbia Accident Investigation Board Report, Volume 1*, Washington D.C., 2003.
- [CB91] H. H. Clark and S. A. Brennan. Grounding in communication. In L. B. Resnick, J. M. Levine, and S. D. Teasley, editors, *Perspectives on socially shared cognition*. American Psychological Association, 1991.
- [CB02] M.R. Chassin and E.C. Becher. The wrong patient. *Ann Intern Med*, 136(11):826–833, 2002.
- [CC02] P. Corradini and C. Cacciari. The effect of workload and workshift on air traffic control: A taxonomy of communicative problems. *Cognition, Technology & Work*, 4(4):229–239, 2002.

- [CDB07] S. Charfi, E. Dubois, and R. Bastie. Articulating interaction and task models for the design of advanced interactive systems. In *TAMODIA*, pages 70–83, 2007.
- [CGS⁺08] S. Caffiau, P. Girard, D. L. Scapin, L. Guittet, and L. Sanou. Assessment of object use for task modeling. In *HCSE-TAMODIA '08: Proceedings of the 2nd Conference on Human-Centered Software Engineering and 7th International Workshop on Task Models and Diagrams*, pages 14–28, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer-Verlag.
- [Cha96] A. Chapanis. *Human Factors in Systems Engineering*. John Wiley & Sons, 1996.
- [Che99] P. Checkland. *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley and Sons, 1999.
- [Cla96] H.H. Clark. *Using Language*. Cambridge Press, 1996.
- [Cli99] A. Clifton. Fault Tree Analysis - A History. In *In Proceedings of the 17th International System Safety Conference*, 1999.
- [CM93] O. Coudert and J. Madre. Fault tree analysis: 10 20 prime implicants and beyond, 1993.
- [CMN86] S.K. Card, T.P. Moran, and A. Newell. *The Model Human Processor: An engineering model of human performance*, chapter 45, pages 1–35. New York: John Wiley and Sons, 1986. in *Handbook of Perception and Human Performance*.
- [CNM83] S. K. Card, A. Newell, and T. P. Moran. *The psychology of human-computer interaction*. L. Erlbaum Associates, 1983.
- [Com98] International Electrotechnical Commission. IEC 61508 „Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems“, 1998.
- [Coo96] R.I. Cook. Verite, abstraction, and ordinateur systems in the evolution of complex process control. In *HICS '96: Proceedings of the 3rd Symposium on Human Interaction with Complex Systems (HICS '96)*, page 38, Washington, DC, USA, 1996. IEEE Computer Society.
- [Coo03] D.L. Cooke. Learning from Incidents. In *Gonzalez JJ (ed) From Modeling to Managing Security . A System Dynamics Approach*, pages 75–108, Kristiansand, Norway, Kristiansand, 2003. Norwegian Academic Press.

- [COU⁺94] Duursma C., Olsson O., Sundin U., Contactperson M.G., Contactperson R.G., Cap P., and Bauer C.C. Task Model definition and Task Analysis process, 1994.
- [CSS00] S.V. Chipman, J.M. Schraage, and V.L. Shalin. *Cognitive Task Analysis*, chapter Introduction to cognitive task analysis, pages 3–23. Lawrence Erlbaum Associates, 2000.
- [C.W04] Johnson C.W. Final report: Review of the bfu Überlingen accident report, 2004.
- [Deg04] A. Degani. *Taming Hal, Designing Interfaces Beyond 2001*. palgrave macmillan, 2004.
- [DeJ94] D.M. DeJoy. Managing safety in the workplace: An attribution theory analysis and model. *Journal of Safety Research*, 25(1):3–17, 1994.
- [Dek02] S. Dekker. *The field guide to human error investigations*. Ashgate, 2002.
- [Del94] K. Delhees. *Soziale Kommunikation. Psychologische Grundlagen für das Miteinander in der Gesellschaft*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 1994.
- [DH96] A. Dryhaug and K. Holden. Safety of passenger ships operation and handling. In *21st International Trade Map Association (IMTA) conference*, 1996.
- [Dij06] A. Dijkstra. Resilience engineering and safety management systems in aviation, 2006.
- [Dix93] A. Dix. Pace and interaction. In *HCI'92: Proceedings of the conference on People and computers VII*, pages 193–207, New York, NY, USA, 1993. Cambridge University Press.
- [DN04] Dan Diaper and Stanton Neville. *The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction*. Diaper, D. and Stanton, N., 2004.
- [DO94] C. Duursma and Olsson O. Task model definition and task analysis process, 1994.
- [Dör89] D. Dörner. *Die Logik des Misslingens: strategisches Denken in komplexen Situationen*. Rowohlt, 1989.
- [DREW03] A. Dix, D. Ramduny-Ellis, and J. Wilkinson. *Trigger Analysis - Understanding Broken Tasks*. Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

- [DW79] R. Duncan and A. Weiss. Organizational learning: Implications for organizationa design. *Research in Organizational Behavior*, 1:75–123, 1979.
- [Ebe05] U. Eberhard. *Arbeitspsychologie*. Schäfer-Poeschel, 2005.
- [EDR82] C.J. Eagle, J.M. Davies, and J. Reason. Accident analysis of large-scale technological disasters applied to an anaesthetic complication. *Canadian Journal of Anesthesia*, 39:118–22, February 1982.
- [EM93] T. Endestad and P. Meyer. Goms analysis as an evaluation tool in process control: An evaluation of the isacs-1 prototype and the copma system. technical report hwr-394 oecd halden reactor project. Technical report, Instituut for Energiteknikk, Halden, Norway, 1993.
- [Eur04] European Organization For The Safety Of Air Navigation. *Air-ground Communication Safety Sstudy An analysis of pilotcontroler occurences*, 2004.
- [EV09] Roey E. Van. Three Mile Island, 30 years on. Technical report, SCK-CEN, 2009.
- [EZ06] J. Engelkamp and H. Zimmer. *Lehrbuch der Kognitiven Psychologie*. Hogrefe, 2006.
- [Fis99] J. Fischer. *Informationswirtschaft: Anwendungsmanagement*. Oldenburg, 1999.
- [FML08] F. Frische, T. Mistrzyk, and A. Lüdtke. Modellierung und analyse von pilotenverhalten in flugzeug-cockpits. *50. Sitzung des Fachausschusses Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*, 50:271–286, 2008.
- [FRN02] V.A. Fromkin, R. Rodman, and Hyamsm N. *An introduction to linguistic theory*. Cengage Learning Services , Wadsworth, 2002.
- [Gal79] J.P. Gallagher. Cognitive/informationprocessing psychology and instruction: Reviewing recent theory and practice. *Instructional Science*, 8:393–414, 1979.
- [GB98] Probst G.J.B. and Büchel B. *Organisationales Lernen. Wettbewerbsvorteil der Zukunft*. Dr. Th. Gabler, 1998.

- [GFC02] Mori G., Paternò F., and Santoro C. CTTE: support for developing and analyzing task models for interactive system design. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 28(8):797–813, 2002.
- [GGMA09] J. Guerrero-Garcia and J. Munoz-Arteaga. A survey on task models: Towards an intergrated task model. In *TAMODIA*, 2009.
- [GHG⁺06] F. Guldenmund, A. Hale, L. Goossens, J. Betten, and N.J. Duijm. The development of an audit technique to assess the quality of safety barrier management. *J Hazard Mater*, 130(3):234–41, 2006.
- [GJA92] W.D. Gray, B.E. John, and M.E. Atwood. The precis of project ernestine or an overview of a validation of goms. In *CHI '92: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 307–312, New York, NY, USA, 1992. ACM.
- [GJA93] W. D. Gray, B. E. John, and M. E. Atwood. Project ernestine: A validation of goms for prediction and explanation of real-world task performance. In *Human-Computer Interaction*, volume 8, pages 237 – 309, 1993.
- [GK94] R. Gong and D. Kieras. A validation of the goms model methodology in the development of a specialized, commercial software application. In *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 351–357, New York, NY, USA, 1994. ACM.
- [GMP⁺08] M. Giese, T. Mistrzyk, A. Pfau, G. Szwillus, and M. von Detten. Amboss: A task modelling approach for safety-critical systems. In *HCSE-TAMODIA '08: Proceedings of the 2nd Conference on Human-Centered Software Engineering and 7th International Workshop on Task Models and Diagrams*, pages 140–154, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer-Verlag.
- [GMYL06] W. H. Gibson, E. D. Megaw, M. S. Young, and E. Lowe. A taxonomy of human communication errors and application to railway track maintenance. *Cogn. Technol. Work*, 8(1):57–66, 2006.
- [Gon93] R.J. Gong. *Validating and refining the GOMS model methodology for software user interface design and evaluation*. University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA, 1993.
- [Gre99] M. Greenfield. The changing face of nasa and aerospace, November 1999.

- [GT00] H.G. Giesa and K.P. Timpe. *Mensch-Maschine-Systemtechnik, Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*, chapter Technisches Versagen und menschliche Zuverlässigkeit: Bewertung der Verlässlichkeit in Mensch-Maschine-Systemen, pages 64–106. Symposion Publishing, 2000.
- [GW84] D.S. Gloss and M.G. Wardle. *Introduction to safety Engineering*. Wiley, John & Sons, Australia, 1984.
- [Hac05] W. Hacker. *Allgemeine Arbeitspsychologie, Psychische Regulation von Wissens-, Denke- und körperliche Arbeitspsychologie*. Huber, Bern, 2005.
- [Hal03] J.L. Hall. Columbia and challenger: organizational failure at NASA. *Space Policy*, 19:239–247, November 2003.
- [Hal07] M. Halbrügge. Evaluating cognitive models and architectures. In *Evaluating Architectures for Intelligence, 22nd Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, 2007.
- [Ham72] W. Hammer. *Handbook of System and Product Safety*. Prentice Hall, 1972.
- [Hav00] J.I. Havold. Culture in maritime safety. *Maritime Policy & Management*, 27(1):79–88, 2000.
- [Haw88] S. Hawking. *A Brief History of Time*. Bantam Books, 1988.
- [Heb69] D.O. Hebb. *Einführung in die moderne Psychologie*. Weinheim, Beltz, 1969.
- [Her00] M. Herczeg. Sicherheitskritische mensch-maschine-systeme. *FOCUS MUL*, 1, 2000.
- [Her04] M. Herczeg. Interaction- und kommunikationsversagen in mensch-maschine-systemen als analyse- und modellierungskonzept zur verbesserung sicherheitskritischer technologien. In *Verlässlichkeit der Mensch-Maschine-Interaktion*. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, März 2004.
- [HHCK97] A.R. Hale, B.H.J. Heming, J. Carthey, and B. Kirwan. Modelling of safety management systems. *Safety Science*, 726:121–140, June 1997.
- [HHNT86] J.H. Holland, Keith J. Holyoak, Richard E. Nisbett, and P.R. Thagard. *Induction: processes of inference, learning, and discovery*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1986.

- [HM96] R. L. Helmreich and A. C. Merritt. Cultural issues in crew resource management training. In *Proceedings of the ICAO Global Human Factors Seminar*, pages 141–148, Auckland, New Zealand, April 1996.
- [HM08] R.R. Hoffman and L.G. Militello. *Perspectives on Cognitive Task Analysis: Historical Origins and Modern Communities of Practice*. Psychology Press; 1 edition (September 9, 2008), 2008.
- [Hof08] G. Hofinger. *Human Factors*, chapter Fehler und Unfälle, pages 37–54. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [Hol98] E. Hollnagel. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method CREAM*. Elsevier, 1998.
- [Hol99] E. Hollnagel. Taccidents and barriers. In *J. M. Hoc, P. Millot, E. Hollnagel & P. C. Cacciabue (Eds.), Proceedings CSAPC'99, Seventh European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control*, pages 175–180, Villeneuve d'Asq, France, 1999. Presses Universitaires de Valenciennes.
- [Hol04] E. Hollnagel. *Barriers And Accident Prevention: Or How to Improve Safety by Understanding the Nature of Accidents Rather Than Finding Their Causes*. Ashgate, 2004.
- [HPR80] C.W. Heinrich, D. Petersen, and N. Roos. *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*. McGraw-Hill book company, 1980.
- [HS98] D. Hofmann and A. Stetzer. The role of safety climate and communication in accident interpretation: implications for learning from negative events. *Academy of Management Journal*, 41(6):644–657, 1998.
- [ICA06] International Civil Aviation Organization. *Safety Management Manual*, 2006.
- [Jäc05] M. Jäckel. *Medienwirkungen. Ein Studienbuch zur Einführung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2005.
- [JDD93] Hughes J., Randall D., and Shapiro D. From ethnographic record to system design: Some experiences from the field. *Computer Supported Cooperative Work*, 1:123–141, 1993.
- [JJWS88] P. Johnson, H. Johnson, R. Waddington, and A. Shouls. Task-related knowledge structures: analysis, modelling and application. In *Proceedings of the Fourth Conference of the British Computer Society on People and computers IV*, pages 35–62, New York, NY, USA, 1988. Cambridge University Press.

- [JK96] B.E. John and D.E. Kieras. The goms family of user interface analysis techniques: comparison and contrast. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 3(4):320–351, 1996.
- [JLR08] A. Janß, W. Lauer, and K. Radermacher. Using cognitive task analysis for ui design in surgical work systems. In *ECCE '08: Proceedings of the 15th European conference on Cognitive ergonomics*, pages 1–4, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [JM02] M. de Josk Mossink, Greef. Inventory of socioeconomic costs of work accidents, 2002.
- [JMW95] C. W. Johnson, J. C. McCarthy, and P. C. Wright. Using a formal language to support natural language in accident reports. *Ergonomics*, 38:1265–1283., 1995.
- [Joh90] B. E. John. Extensions of goms analyses to expert performance requiring perception of dynamic visual and auditory information. In *proceedings of CHI*, pages 107–115. CHI, ACM Press, April 1990.
- [Joh97] C. Johnson. *Contemporary Ergonomics*, chapter Using Epistemic Logics to Support the Cognitive Ergonomic, Analysis of Accident Reports, pages 208–212. S.A. Robertson, 1997.
- [Joh02] C.W. Johnson. Reasons for the failure of incident reporting in the healthcare and rail industries. In *Components of System Safety: Proceedings of the 10th Safety-Critical Systems Symposium*, pages 31–60, Berlin, Germany, 2002.
- [Joh03] C.W. Johnson. *Failure in Safety Critical Systems: A Handbook of Accident and Incident Reporting*. Glasgow University Press, 2003.
- [Jon09] C. Jones. Challenging the Traditional Approach to Safety Management and how Leadership Behavior Affects Safety Performance. In *World Gas Conference*, volume 24, Buenos Aires, Argentina, oktober 2009.
- [Joo94] S. Joosten. Trigger modelling for workflow analysis. In *CON '94: Proceedings of the ninth Austrian-informatics conference on Workflow management : challenges, paradigms and products*, pages 236–247, Munich, Germany, Germany, 1994. R. Oldenbourg Verlag GmbH.
- [JPSK04] B.E. John, K. Prevas, D. D. Salvucci, and K. Koedinger. Predictive human performance modeling made easy. In *CHI '04: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 455–462, New York, NY, USA, 2004. ACM.

- [JSH08] C.W. Johnson, C. Shea, and C.M. Holloway. The role of trust and interaction in GPS related accidents: A human factors safety assessment of the global positioning system (GPS). In *Proceedings of the 26th International Conference on Systems Safety*, Vancouver, Canada, August 2008. International System Safety Society.
- [JVM⁺02] B.E. John, A.H. Vera, M. Matessa, M. Freed, and R.W. Remington. Automating cpm-goms. In *CHI*, pages 147–154, 2002.
- [KA92] B. Kirwan and L.K. Ainsworth. *A Guide to Task Analysis*. Taylor & Francis, 1992.
- [KB91] J. Karat and J. Bennett. Modelling the user interaction methods imposed by designs. In *Selected papers of the 8th Interdisciplinary Workshop on Informatics and Psychology*, pages 257–269, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, 1991. North-Holland Publishing Co.
- [KB93] G.F. Kamiske and J.P. Brauer. *Qualitätsmanagement von A bis Z. Erläuterung moderner Begriffe des Qualitätsmanagements*. Hanser, 1993.
- [Küb03] H.D. Kübler. *Kommunikation und Medien*. Lit-Verlag, 2003.
- [KCD00] L.T. Kohn, J. Corrigan, and M.S. Donaldson. *To err is human: building a safer health system*. National Academy Press, Washington, 2000.
- [Kie88] D. Kieras. Towards a practical goms model methodology for user interface design. In Helander M., editor, *The Handbook of human-computer interaction*, pages 135–158. North Holland, 1988.
- [Kie95] D. Kieras. Glean: A computer-based tool for rapid goms model usability evaluation of user interface designs. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22:365–394, 1995.
- [Kie96] D. Kieras. A guide to goms model usability evaluation using ngomsl, 1996.
- [Kie01] D. Kieras. Using the keystroke-level model to estimate execution times. University of Michigan, gesichtet am 25.01.2010, 2001.
- [Kim94] H.D. Kim. *Reflections on creating learning organizations*, chapter Managing Organizational Learning Cycles, pages 43–52. Pegasus Communications, October 1994.

- [Kir94] B. Kirwan. *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. CRS PRESS, 1994.
- [KK52] A. Kroeber and C. Kluckhohn. *Culture: A critical review of concepts and definitions*. Vintage, New York, 1952.
- [Kle85] T. Kletz. Elimination potential prozes hazards. *Chemical Engineering*, pages 59–68, 1985.
- [KM03] C.K Kam and J.L. Melia. The Traditional Safety Programs versus an Ecological Behavioural Holistic Strategy to Safety Excellence. <http://www.ic.polyu.edu./PDN/publications.htm>, 2003.
- [Kon03] T. Kontogiannis. A petri net-based approach for ergonomic task analysis and modeling with emphasis on adaptation to system changes. *Safety Science*, 41(10):803–835, 2003.
- [Koo00] F. Koornneef. *Organised Learning from Small Scale Incidents*. Delft University Press, 2000.
- [KP99] D. Kieras and P.G. Polson. An approach to the formal analysis of user complexity. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 51(2):405–434, 1999.
- [Küp03] B.O. Küppers. *Information und Kommunikation als Organisationsprinzipien des Lebendigen*. Wien, 2003. accasable from: <http://web.mac.com/bkue/iWeb/Kueppers/Articles.html>.
- [KRI09] Funk K., Mauro R., and Barshi I. Nextgen flight deck human factors issues. In *International Symposium on Aviation Psychology*, Dayton, OH, USA, April 2009.
- [KZ05] M. Kunczik and A. Zipfel. *Publizistik*. Böhlau, 2005.
- [LAB01] C. Lebiere, J.R. Anderson, and D. Bothel. Multi-tasking and cognitive workload in an act-r model of a simplified air traffic control task. In *Proceedings of the Tenth Conference on Computer Generated Forces and Behavior Representation*, 2001.
- [Lad99] P.B. Ladkin. A quick introduction to why-because analysis, 1999.
- [Lad00] P.B. Ladkin. Causal reasoning about aircraft accidents. In *SAFE-COMP*, pages 344–360, 2000.
- [Lad01] P. B. Ladkin. Causal system analysis: Formal reasoning about safety and failure, 2001.

- [Lan96] K. Lano. *The B Language and Method: A Guide to Practical Formal Development*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 1996.
- [Lan01] B. Landsberg. Landmark accidents: High-terrain tangle, the lessons from cali. *AOPA*, 44(4), 2001.
- [Las48] H. Lasswell. *The structure and function of communication in society*, 1948.
- [LAS02] N.G. Leveson, P. Allen, and M.A. Storey. The analysis of a friendly fire accident using a systems model of accidents. In *20th International System Safety Conference*, Unionville, Virginia, USA, 2002. System Safety Society.
- [Law74] H.G. Lawley. Operability studies and hazard analysis. *Chemical Engineering Progress*, 70(4):45, 1974.
- [LB82] G. Le Bon. *Die Psychologie der Massen*. Kröner, Aufl. 15, 1982.
- [LB95] C. Leszcynski and U. Birner. *Lexikon der Psychologie*. Bertelsmann-Lexikon-Verlag, 1995.
- [LCHL07] T. Licu, F. Ciorana, B. Haywarda, and A. Lowea. Eurocontrol systemic occurrence analysis methodology (soam) a reason based organisational methodology for analysing incidents and accidents. In *Reliability Engineering & System Safety*, volume 92, pages 1162–1169, 2007.
- [LDDM03] N.G. Leveson, M. Daouk, N. Dulac, and K. Marais. Applying stamp in accident analysis, 2003.
- [Lev95] N.G. Leveson. *Safeware: system safety and computers*. ACM, New York, NY, USA, 1995.
- [Lev03] N. Leveson. *A New Approach To System Safety Engineering*. Wien, 2003. accasable from: <http://web.mac.com/bkue/iWeb/Kueppers/Articles.html>.
- [Lev04] N. Leveson. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*, 42(4):237–270, April 2004.
- [Lew73a] D. Lewis. Causation. *Journal of Philosophy*, 70(17):556–567, 1973.
- [Lew73b] D. Lewis. *Counterfactuals*. Oxford: Blackwell., 1973.

- [LK03] J.T Luxhoj and K. Kauffeld. Evaluating the effect of technology insertion into the national airspace system. In *The Rutgers Scholar*, 2003.
- [LL97] P.B. Ladkin and K. Loer. Why-because analysis: Formal reasoning about incidents. Technical report, Faculty of Technology, Bielefeld University, 1997. Technical Report RVS-Bk-98-01.
- [LL99] P.B Ladkin and K. Loer. Explaining accidents causally using why-because analysis (wba). In *In Proceedings of The Third Workshop on Human Error, Safety and System Development (HESSD)*, Liege, Belgium, 1999.
- [LN05] N.G. Leveson and Dulas N. Safety and risk-driven design in complex systems-of-systems. In *1st Space Exploration Conference: Continuing the Voyage of Discovery*, Januar 2005.
- [LNR87] J.E. Laird, A. Newell, and P.S. Rosenbloom. Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*, 33:1–64, 1987.
- [LPVL02] S. Lu, C. Paris, and K. Vander Linden. Tamot: Towards a flexible task modeling tool. In *Human Factors*, 2002.
- [LUJ05] Seung Man Lee, Ravinder Ujwala, and J.C. Johnston. Developing an agent model of human performance in air traffic control operations using apex cognitive architecture. In *WSC '05: Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*, pages 979–987. Winter Simulation Conference, 2005.
- [LV90] Q. Limbourg and J. Vanderdonckt. *Task Analysis for Human-Computer Interaction*, chapter Comparing Task Models for User Interface Design, pages 135–154. publisher = Prentice Hall PTR,, 1990.
- [Mac83] F. Machlup. Semantic quirks in studies of information. In *The Study of Information: Inter-disciplinary Message*, pages 641–671, New York, NY, 1983. Wiley.
- [Mac04] M.J. Macza. Hazop & SIL Analysis – Time & Cost Comparison traditional vs. Integrated SilCore™ Approach. Technical report, ACM Facility Safety, 2004.
- [Mag08] F. Magrabi. Using cognitive models to evaluate safety-critical interfaces in healthcare. In *CHI '08: CHI '08 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 3567–3572, New York, NY, USA, 2008. ACM.

- [Mal63] G. Maletzke. *Psychologie der Massenkommunikation*. Hamburg: Hans-Bredow-Institut, 1963.
- [Mal72] G. Maletzke. *Einführung in die Massenkommunikationsforschung*. Berlin: Verlag Volker Spiess, 1972.
- [Mea75] G.H. Mead. *Geist, Identität und Gesellschaft*. Frankfurt Suhrkamp, 1975.
- [Mei77] D. Meister. Human error in man machine systems. In *Human Aspects of Man-Made Systems*, pages 299–324. Open University Press, 1977.
- [Mer77] K. Merten. *Kommunikation. Eine Begriffs- und Prozeßanalyse*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 1977.
- [Mer99] K. Merten. *Einführung in die Kommunikationswissenschaft Bd1/1: Grundlagen der Kommunikationswissenschaft*. LIT Verlag, 1999.
- [MF99] K. J. Mearns and R. Flin. Assessing the state of organizational safety-culture or climate? *Current Psychology: Developmental, Learning, Personality, Social*, 18:5–17, 1999.
- [MH08] L.G. Militello and R.R. Hoffman. The forgotten history of cognitive task analysis. *Human Factors and Ergonomics Society*, 52:383–387, 2008.
- [Min74] M. Minsky. A framework for representing knowledge. Technical report, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1974.
- [Mis10] T. Mistrzyk. Integrated analysis of communication in hierarchical task models focused on medical critical systems. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics , AHFE (3)*, 2010.
- [MOD07] UK Ministry of Defense. *Defense Standard 00-56: „Safety Management Requirements for Defense Systems“*, 2007.
- [Mor82] C.W. Morris. *Grundlagen der Zeichentheorie. Ästhetik und Zeichentheorie*. Hanser, Carl GmbH + Co, 1982.
- [MP03] E. Merckx and G. Paulson. Guidelines for investigation of safety occurrences in atm. Technical report, European Organisation for Safety of Air Navigation, 2003.
- [MR09a] T. Mistrzyk and A. Redenius. Practical use of task models for building and modeling operations chart in the industrial production. In *HCI (8)*, pages 140–148, 2009.

- [MR09b] T. Mistrzyk and F. Rister. Entwicklung von non-auditiven cockpitverfahren anhand simulationsfähiger aufgabenmodelle. *51. Sitzung des Fachausschusses Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*, 51, 2009.
- [MRJL95] D.E. Maurino, J. Reason, N. Johnston, and R.B Lee. *Beyond Aviation Human Factors: Safety in High Technology Systems*. Aldershot: Avebury Aviation, 1995.
- [MRM10] T. Mistrzyk, F. Rister, and T. Mioch. Integrated procedure design and validation by cognitive task model simulations. *19th Annual Conference of Behavior Representation In Modeling Simulation (BRIMS)*, 19, 2010.
- [MS07] T. Mistrzyk and G. Szwillus. Unterstützung der systemgestaltung durch die simulation des kommunikationsflusses in erweiterter aufgabenmodellen. *Fachausschusssitzung Anthropotechnik*, 49:89–110, Oktober 2007.
- [MS08] T. Mistrzyk and G. Szwillus. Modellierung sicherheitskritischer kommunikation in aufgabenmodellen. *i-com - Zeitschrift für interaktive kooperative Medien*, 1(1):39–43, Januar 2008.
- [MZ05] T. Mistrzyk and B. Zeiger. Tamo: Task model analyser - a java-based framework for the analysis of safety-critical computer systems to reveal safety-critical sections in the system’s design phase. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI-2005)*, Las Vegas, Nevada, USA, 2005.
- [NAS99] NASA, Reliability & Maintainability Steering Committee. *The Team Approach to Fault-Tree Analysis in Technical Memorandum 4322*, February 1999.
- [Nem04] C.P. Nemeth. *Human Factors Methods for Design: Making Systems Human-Centered*. CRC, 2004.
- [New90] A. Newell. *Unified Theorie of Cognition*. MA: Harvard University Press, Cambridge, UK, 1990.
- [Nor81a] D.A. Norman. Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88:1–15, 1981.
- [Nor81b] D.A. Norman. A psychologist views human processing: Human errors and other phenomena suggest processing mechanisms. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1981.

- [Nor83] D.A. Norman. Design rules based on analyses of human error. *Commun. ACM*, 26(4):254–258, 1983.
- [Nor88] D.A. Norman. *Dinge des Alltags, Gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände*. Campus Verlag, 1988.
- [OJ05] R. Ossipowitsch Jakobson. Linguistics and poetics: Closing statement. *Style in Language*, pages 350–377, 2005.
- [OO90] J. R. Olson and G. M. Olson. The growth of cognitive modeling in human-computer interaction since goms. *Hum.-Comput. Interact.*, 5(2):221–265, 1990.
- [P.01] Murphy P. The role of communications in accidents and incidents during rail possessions. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, 5:447–454, 2001.
- [PA97] G. Papadakis and A. Amendola. *Guidance on the Preparation of a Safety Report to meet the requirements of Council Directive 96/82/EC (Seveso II)*. Institut For Systems Informatics safety, Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities,, 1997.
- [Pat99] F. Paternò. *Model-Based Design and Evaluation of Interactive Applications*. Springer-Verlag, London, UK, 1999.
- [Pea03] T. Peak. Toward a taxonomy of communication errors. In *Workshop on Error Handling in Spoken Dialogue Systems*, pages 53–58, 2003.
- [Pis81] E. Piso. Task analysis for process-control tasks: The method of annett et al. applied. In *Journal of Occupational Psychology*, pages 247–254. DWP Occupational & Health Psychology Services, 1981.
- [PK85] P.G. Polson and D.E. Kieras. A quantitative model of the learning and performance of text editing knowledge. In *Proceedings of the ACM CHI 85 Human Factors in Computing Systems Conference*, pages 207–212. ACM Press, 1985.
- [PLVL03] C. Paris, S. Lu, and K Vander-Linden. Environments for the construction and use of task models. *Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction*. Edited by Dan Diaper and Neville Stanton, pages 467–482, 2003.
- [PMM97] F. Paternò, C. Mancini, and S. Meniconi. Concurtasktrees: A diagrammatic notation for specifying task models. In *INTERACT '97*:

- Proceedings of the IFIP TC13 Interantional Conference on Human-Computer Interaction*, pages 362–369, London, UK, UK, 1997. Chapman & Hall, Ltd.
- [Pür98] H. Pürer. *Einführung in die Publizistikwissenschaft. Systematik, Fragestellungen, Theorieansätze, Forschungstechniken*. UVK-Medien, 1998.
- [Pra68] H. Prakke. *Kommunikations der Gesellschaft. Einführung in die funktionale Publizistik*. Ragensberg, Münster, 1968.
- [Pro72] H. Pross. *Medienforschung*. Darmst: Habel, 1972.
- [PRS02a] J. Preece, Y. Rogers, and H. Sharp. *Interaction Design*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2002.
- [PRS02b] J. Preece, Y. Rogers, and H. Sharp. *Interaction Design : beyond human - computer interaction*. Wiley, New York, NY, 2002.
- [PS03] F. Paternò and C. Santoro. Support for reasoning about interactive systems through human-computer interaction designers’ representations. *Comput. J.*, 46(4):340–357, 2003.
- [Pue96] A.R. Puerta. The mecano project: Enabling user-task automation during interface development. In *AAAI Spring Symposium on Acquisition, Learning & Demonstration: Automating Tasks for Users*, *Université de Stanford*, *AAAI Press*, mars, pages 117–121, 1996.
- [Ras79] J. Rasmussen. On the structure of knowledge: A morphology of mental models in a man-maschine context. (reoport nr. riso-m-219). Technical report, RISO National Labolatory, 1979.
- [Ras82] J. Rasmussen. Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4:311–333, 1982.
- [Ras83] J. Rasmussen. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. In *System design for human interaction*, pages 291–300, Piscataway, NJ, USA, 1983. IEEE Press.
- [Ras86] J. Rasmussen. *Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering*. Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, 1986.

- [Ras97] J. Rasmussen. Risk management in a dynamic society: A modelling problem. In *Safety Science*, volume 27, pages 183–213, 1997.
- [RBJY00] F.E Ritter, G.D Baxter, G. Jones, and R.M Young. User interface evaluation: How cognitive models can help. In *In Human-Computer Interaction in the New Millennium*,, pages 125–147, 2000.
- [RCC99] F. Redmill, M. Chudleigh, and J. Catmur. *System Safety : HAZOP and Software HAZOP*. John Wiley & Sons, July 1999.
- [Rea90] J. Reason. *Human Error*. Cambridge University Press, October 1990.
- [Rea97] J. Reason. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate Pub Co, 1997.
- [Rea00] J. Reason. *Human error: models and management*. British Medical Journal 320 (7237): 768–770, 2000.
- [Rea04] J. Reason. Beyond the organisational accident: the need for „error wisdom“ on the frontline. *Quality and safety in Health Care*, 13(2):1328–1333, December 2004.
- [RH90] R. Rubinstein and H. Hersh. *Human Factor: Designing Computer Systems for People*. Butterworth-Heinemann, Newton, MA, USA, 1990.
- [Rie82] H. Rieckmann. *Auf der grünen Wiese . . . Organisationsentwicklung einer Werksneugründung. Soziotechnisches Design und Offene-System-Planung*. Paul Haupt, Bern/Stuttgart, 1982.
- [Rig70] L. V. Rigby. The nature of human error. In *Americ. Soc. for Quality Control, Annual Technical Conference, 24.th.*, 1970.
- [RJM59] Jr. Riley, W. John, and Riley M.W. Mass communication and the social system. towards a sociological view. *Merton, R. K. and Broom, L. and Cottrell, L.S. Sociology Today. Problems and Prospects*, 2:537–578, 1959.
- [R.L00] Helmreich R.L. On Error management: lessons from aviation. *BMJ*, 320:781–785, March 2000.
- [Rou81] W.B. Rouse. Human-computer interaction in the control of dynamic systems. *ACM Comput. Surv.*, 13(1):71–99, 1981.
- [Rou90] V. Rouhiainen. The quality assessment of safety analysis. Technical report, Technical Report Publication 61, Technical Research Center of Finland, Espoo, Finland, 1990.

- [RPG94] J. Rasmussen, A. M. Pejtersen, and L.P Goodstein. *Cognitive System Engineering*. Boston: John Wiley & Sons Inc., 1994.
- [RR83] W.B. Rouse and S.H. Rouse. Analysis and classification of human error. *Transaction on Systems, Man and Cybernatics*, 14(4):—, 1983.
- [RS00] J. Rasmussen and I. Svedung. *Proactive Risk Management in a Dynamic Society*. Swedish Rescue Services Agency. Swedish Rescue Services Agency, 2000.
- [Rum80] D.E. Rumelhart. Schemata: the building blocks of cognition. In *Theoretical issues in reading comprehension*, pages pp. 33–58, 1980.
- [Saa01] J. Saari. A accident prevention today. *Magazine of the European Agency for Safety and Health at Work*, 4:3–5, 2001.
- [Sch55] W.L. Schramm. information theory and mass communication. *Journalism Quarterly*, 32:131–146, 1955.
- [Sch65] W.L. Schramm. *The Process and Effects of Mass Communication*. University of Illinois Press, 6th. ed., 1965.
- [Sch95] E.H. Schein. *Organizational culture and leadership*. Jossey-Bass business & management. Jossey-Bass, San Francisco, 1995.
- [Sch96] T. Schael. Information systems in public administration: From transaction processing to computer supported cooperative work. In *Shapiro, D.; Tauber, M.J.; Traunmueller, R. (eds.): The Design of Computer Supported Cooperative Work and Groupware Systems*, pages 349–368, Amsterdam, 1996. Elsevier Science.
- [Sch04a] J.U. Schröder. *Datenerfassung bei Unfallursachen und begünstigenden Faktoren für Unfälle in der Seeschifffahrt, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Sonderschrift*. Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2004.
- [Sch04b] Friedemann Schulz von Thun. *Klarkommen mit sich selbst und anderen: Kommunikation und soziale Kompetenz*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 2004.
- [Sci08] S. Scipio. *Psychologie des Auflaufs und der Massenverbrechen*. Vdm Verlag Dr. Müller,zuerst 1891, 2008.
- [Seb92] S. Sebillotte. Task analysis and formalization according to mad: Hierarchical task analysis, method of data gathering and examples of task description, 1992.

- [SG83] A. D. Swain and H. E. Guttman. *Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications*. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1983.
- [Sha48] C. E. Shannon. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27:379–423, July and october 1948.
- [Sha96] D. Shapiro. Ferrets in a sack? ethnographic studies and task analysis in cscw. In *Dan Shapiro; Tauber, M.J.; Traunmueller, R. (eds.): The Design of Computer Supported Cooperative Work and Groupware Systems*, pages 349–368, Amsterdam, 1996. Elsevier Science.
- [She98] A. Shepherd. Hta as a framework for task analysis. *Ergonomics*, 41(11):1537–1552, 1998.
- [She01] A. Shepherd. *Hierarchical Task Analysis*. Taylor & Francis, 2001.
- [Shr87] P. Shrivastava. *Bhopal: Anatomy of a crisis*. Ballinger Publishing Company, cambridge, massachusetts, 1987.
- [SJ07] A. Sears and Jacko Julie A. *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications (Human Factors and Ergonomics Series)*. L. Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA, 2007.
- [SK02] S.T. Shorrock and B. Kirwan. Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Applied Ergonomics*, 33:319–336, 2002.
- [SL03] D.D. Salviccu and F.J. Lee. Simple cognitive modeling in a complex cognitive architecture. In *Proceedings of the ACM CHI 2003 Human Factors in Computing Systems Conference*, pages 265–272. ACM Press, 2003.
- [SL07] B. Sieker and C. Limited. Why-because analysis of a power outage in various countries in europe, at the launch of the norwegian pearl at the meyer shipbuilders, papenburg, north germany on 4 november 2006. In *In proceedings of The Ninth BieleSchweig Workshop on Systems Engineering: Model-based System Development; Incident Analysis*, Hamburg, Germany, 2007.
- [SLN92] P. Szekely, P. Luo, and R. Neches. Facilitating the exploration of interface design alternatives: the humanoid model of interface design. In *CHI '92: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 507–515, New York, NY, USA, 1992. ACM.

- [SLR04] K. M. Sutcliffe, E. Lewton, and M.M. Rosenthal. Communication failures: An insidious contributor to medical mishaps. *Academic Medicine*, 79(2):186–194, Februar 2004.
- [SN06] S. Sitzberger and T. Nowey. Lernen vom Business Engineering: Ansätze für ein systematisches, modellgestütztes Vorgehensmodell zum Sicherheitsmanagement. In *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik*, 2006.
- [Soz05] Bundesministerium Für Arbeit Und Soziales. Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, 2005. Bericht der Bundesregierung über den Stand der Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit und über das Unfall- Berufskrankheitsgeschehen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2005.
- [SP04] J. Stuart and R. Penn. Taskarchitect: taking the work out of task analysis. In *TAMODIA '04: Proceedings of the 3rd annual conference on Task models and diagrams*, pages 145–154, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [SRK97] T. Seamster, R. Redding, and G. Kaempf. *Applied Cognitive Task Analysis in Aviation*. Ashgate Publishing, 1997.
- [Sta93] L.J. Staples. The task analysis process for a new reactor. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting 1993*, pages 1024–1028, 1993.
- [Ste66] S. Sternberg. High-speed scanning in human memory. *Science*, 153:652–654., 1966.
- [Sto96] N.R. Storey. *Safety Critical Computer Systems*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1996.
- [Str97] O. Sträter. *Beurteilung des menschlichen Zuverlässigkeit auf der Basis von Betriebserfahrung*. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktosicherheit (GRS) mbH, 1997.
- [Suc87] L. Suchman. *Plans and situated actions : The Problem of Human-Machine Communication*. Cambridge University Pres, 1987.
- [SV99] Ch. Stary and G. van der Veer. Task analysis meets prototyping: seeking seamless ui-development. In *CHI '99: CHI '99 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 104–105, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [Swa92] A.D. Swain. Quantitative assessment of human errors., 1992.

- [Szw97] G. Szwillus. Object oriented dialogue specification with osdn. In *Proc. of Software-Ergonomie 93*, Teubner, Stuttgart,, 1997.
- [TA05] S. Ternov and R. Akselsson. System weaknesses as contributing causes of accidents in health care. *International Journal for Quality in Health Care*, 17:5–13, Feb 2005.
- [TB51] E.L. Trist and K.W. Bamforth. Some social and psychological consequences of the longwall method of goalsetting. *Human Relations*, 4:1–38, 1951.
- [TM03] T. Tietjen and D.H. Müller. *FMEA - Praxis*. Hanser München, 2003.
- [TN95] W.A. Trost and R.J. Nertney. Barrier analysis. Technical report, Technical Research and Analysis Centre, Scientech, inc, 1995.
- [TP07] R. Turksema and K. Postma. Tripod beta and performance audit. In *International Seminar on Performance Auditing*,, 2007.
- [Uhr03] H. Uhr. Tombola: Simulation and user-specific presentation of executable task models. In *Human-Computer Interaction: Theory and Practice (Part I), Proceedings of HCI International*, pages 263–267, Crete, Greece, 2003. Springer.
- [VBB96] G. van der Veer, Lenting B. F., and Bergevoet B. A. J. GTA: Groupware Task Analysis - Modeling Complexity. In *Acta Psychologica*, pages 297–322. ACM Press, 1996.
- [VBP03] D. Vernez, D.r Buchs, and G. Pierrehumbert. Perspectives in the Use of Coloured Petri Nets for Risk Analysis and Accident Modelling. *Safety Sciences Journal*, 2003. To appear.
- [VC06] De Dianous V. and Fievez C. Aramis project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *Journal of Hazardous Materials*, 3:220–233, 2006.
- [Vic99] K.J. Vicente. *Cognitive Work Analysis: Towards Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. L. Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA, 1999.
- [VML96] G. van der Veer, Hoeve M., and B.F. Lenting. Modelling complex work systems-method meets reality. *Method Meets Reality. Cognition and the Worksystem - 8th European Conference on Cognitive Ergonomics. EACE, INRIA*, pages 115–120, 1996.

- [VV05] Roli Varma and Daya R Varma. The bhopal disaster of 1984. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25(1):37–45, 2005.
- [VVL95] G. van der Veer, J.C. Vliet, and B.F. Lenting. Designing complex systems—a structured activity. In *DIS '95: Proceedings of the 1st conference on Designing interactive systems*, pages 207–217, New York, NY, USA, 1995. ACM.
- [VW99] G. van der Veer and M. van Welie. Groupware Task Analysis. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM Press, 1999.
- [VW00] G. van der Veer and M. van Welie. Task based groupware design: putting theory into practice. In *Proceedings of the conference on Designing interactive systems*, pages 326–337. ACM Press, 2000.
- [VWC02] G. van der Veer, Martijn van Welie, and Cristina Chisalita. Introduction to groupware task analysis. In *TAMODIA '02: Proceedings of the First International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design*, pages 32–39. INFOREC Publishing House Bucharest, 2002.
- [VWE98a] G. van der Veer, M. van Welie, and A. Eliëns. An Ontology for Task World Models. In P. Markopoulos and P. Johnson, editors, *Design, Specification and Verification of Interactive Systems '98*, pages 57–70, Wien, 1998. Springer-Verlag.
- [VWE98b] G. van der Veer, M. van Welie, and A. Eliëns. Euterpe - Tool support for analyzing cooperative environments. In *Proceedings of the Ninth European Conference on Cognitive Ergonomics*, August 1998.
- [Wan02] J. Wandmacher. GOMS-Analysen mit GOMSED. Technical report, Technische Universität Darmstadt, Institut für Psychologie Angewandte Kognitionspsychologie, 2002.
- [Wat13] J.B. Watson. Psychology as the behaviorist views it. In *Psychological Review*, volume 20, pages 158–177, 1913.
- [Wat30] J. Watson. *Behaviorism*. New York: Norton, 1930. Deutsche Ausgabe, 3. Aufl. 1984, Behaviorismus. Frankfurt/Main, Fachbuchhandlung für Psychologie.
- [Wat07] P. Watzlawick. *Menschliche Kommunikation: Formen, Störungen, Paradoxien*. Huber, H., 2007.

- [Web95] F. Webster. *Theories of the information society*. New York : Routledge, 1995.
- [Web03] M. Webster. *Merriam-Webster's Collegiate Dictionary*. Merriam-Webster; 11 edition, 2003.
- [Wel01] M. van Welie. *Task-based User Interface Design*. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, April 2001.
- [Wex78] K. Wexler. A review of John R. Anderson's „Language, Memory, and Thought.“. *Cognition*, 6:327–351, 1978.
- [WGHR94] W.A. Wagenaar, J. Groeneweg, P.T.W. Hudson, and J.T. Reason. Promoting Safety in the Oil Industry. *Ergonomics*, 37:1999–2013, 1994.
- [Whi09] B. Whitworth. *Encyclopedia of Informtaion Science and Technology, Second Ecdition*, chapter A Brief Introduction to Sociotechnical Systems, pages 394–400. Mehdi Khosrow-Pour (Information Resources Management Association, USA), 2009.
- [WHO03] World Health Organisation. *Patient Safety: Rapid assessment Methods for estimating Hazards, Report of the WHO Working Group meeting*, 2003.
- [Wie01] N. Wiener. *Future Ecactum, ausgewählte schriften zur Kybernetik und Kommunikationstheorie*. SpringerVerlag, 2001.
- [Wil71] J. Wild. Zur problematik der nutzenbewertung. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 41(5):315–334, 1971.
- [Wil93] K.E. Williams. Automating the cognitive task modeling process: An extension to goms for hci. *Proceedings of the Fifth International Conference on Human-Computer Interaction Poster Sessions: Abridged Proceedings*, 3:182, 1993.
- [WS01] K.E. Weick and K.M. Sutcliffe. *Managing the unexpected*. University of Michigan Business School management series. Jossey-Bass, San Francisco, 1. ed edition, 2001.
- [WS03] D.A. Wiegmann and S.A. Shappell. *A human error approach to aviation accident analysis : the human factors analysis and classification system*. Ashgate, 2003.

- [WZT⁺02] D. A. Wiegmann, H. Zhang, T. L. von Thaden, G. Sharma, and A. A. Mitchell. A synthesis of safety culture and safety climate research. technical report arl-02-03/faa-02-2. Technical report, University of Illinois Aviation Research Lab, 2002.
- [Yeo04] S. Yeo. Language barriers and access to care. *Annual Review of Nursing Research*, 22:59–71, 2004.
- [ZCV04] Zhicheng Zhang, Abir Chaali, and Frédéric Vanderhaegen. A comparative study on prediction of human operator violation using neural networks. In *SMC (3)*, pages 2599–2604, 2004.
- [ZFB99] D. Zapf, M. Frese, and F. C. Brodbeck. *Arbeits- & Organisationspsychologie*, chapter Fehler und Fehlermanagement., pages 398–411. . Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union., 1999.
- [Z.H07] Qureshi Z.H. A review of accident modelling approaches for complex socio-technical systems. In *SCS '07: Proceedings of the twelfth Australian workshop on Safety critical systems and software and safety-related programmable systems*, pages 47–59, Darlinghurst, Australia, Australia, 2007. Australian Computer Society, Inc.
- [Zoh80] D. Zohar. Safety climate in industrial organisations: Theoretical and applied implication. *Journal of Applied Psychology*, 65:96–102, 1980.

Teil VI.

Anhang

9. Veröffentlichungen

Der folgende Abschnitt enthält eine chronologische Auflistung von eigenen Veröffentlichungen, die während der Promotionszeit entstanden sind und Teilergebnisse der Dissertation beinhalten.

- Mistrzyk, T. and Zeiger, B., TamoA: Task Model Analyser - A Java-based Framework for the Analysis of Safety-critical Computer Systems to Reveal Safety-critical Sections in the System's Design Phase, Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction HCII-2005, Las Vegas, Nevada, USA, 2005.
- Mistrzyk, T.; Szwillus, G., Unterstützung der Systemgestaltung durch die Simulation des Kommunikationsflusses in erweiterten Aufgabenmodellen, Fachausschusssitzung Anthropotechnik, 49, Hamburg, Deutschland, 2007.
- Navarre, D.; Palanque, P.; Barboni, E.; Mistrzyk, T., On the Benefit of Synergistic Model-Based Approach for Safety Critical Interactive System Testing, TAMODIA, S. 98-109, Toulouse, Frankreich, 2007.
- Mistrzyk, T., Frische, F., Lüdtke, A., Modellierung und Analyse von Pilotenverhalten in Flugzeug-Cockpits., 50. Sitzung des Fachausschusses Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration, S. 271-286, Bonn, Deutschland, 2008.
- Mistrzyk, T., Szwillus, G., Modellierung sicherheitskritischer Kommunikation in Aufgabenmodellen, Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien, i-com, S. 39-43, Oldenburg, 2008.
- Giese, M.; Mistrzyk, T.; Pfau, A.; Szwillus, G.; von Detten, M., AMBOSS: A Task Modelling Approach for Safety-Critical Systems, TAMODIA-HCSE, S. 140-154, Pisa, Italien, 2008.
- Mistrzyk, T.; Szwillus, G., Modellierung der Kommunikation in sicherheitskritischen Systemen mit erweiterten Aufgabenmodellen, Mensch und Computer, Workshop: Modellierung und Simulation von Teams in sicherheitskritischen Mensch-Maschine-Systemen, Lübeck, Deutschland, 2008.

- Mistrzyk, T., Redenius, A., Practical Use of Task Models for Building and Modeling Operations Chart in the Industrial Production in Human Interface and the Management of Information. Designing Information Environments, S. 140-148, USA, California, San Diego, 2009.
- Frische, F., Lüdtke, A., Mistrzyk, T., Detection of Pilot Errors in Data by Combining Task Modeling and Model Checking. S. 528-531, INTERACT, Uppsala, Schweden, 2009.
- Mistrzyk, T., Rister, F., Entwicklung von non-auditiven Cockpitverfahren anhand simulationsfähiger Aufgabenmodelle, Sitzung des Fachausschusses Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration, Braunschweig, Deutschland, 2009.
- Mistrzyk, T., Integrated Analysis of Communication in Hierarchical Task Models focused on Medical Critical Systems, 3rd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE), USA, Florida, Miami, 2010.
- Mioch T., Mistrzyk, T. und Rister F. Integrated Procedure Design and Validation by Cognitive Task Model Simulations, 19th Annual Conference of Behavior Representation In Modeling Simulation (BRIMS), USA, South Carolina, Charleston, 2010.

10. Abbildungen

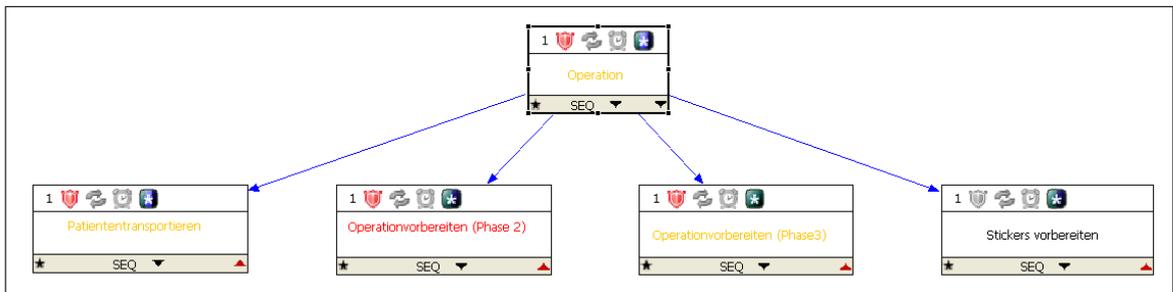


Abbildung 10.1.: Fallstudie 2, Aufgabenmodell grob

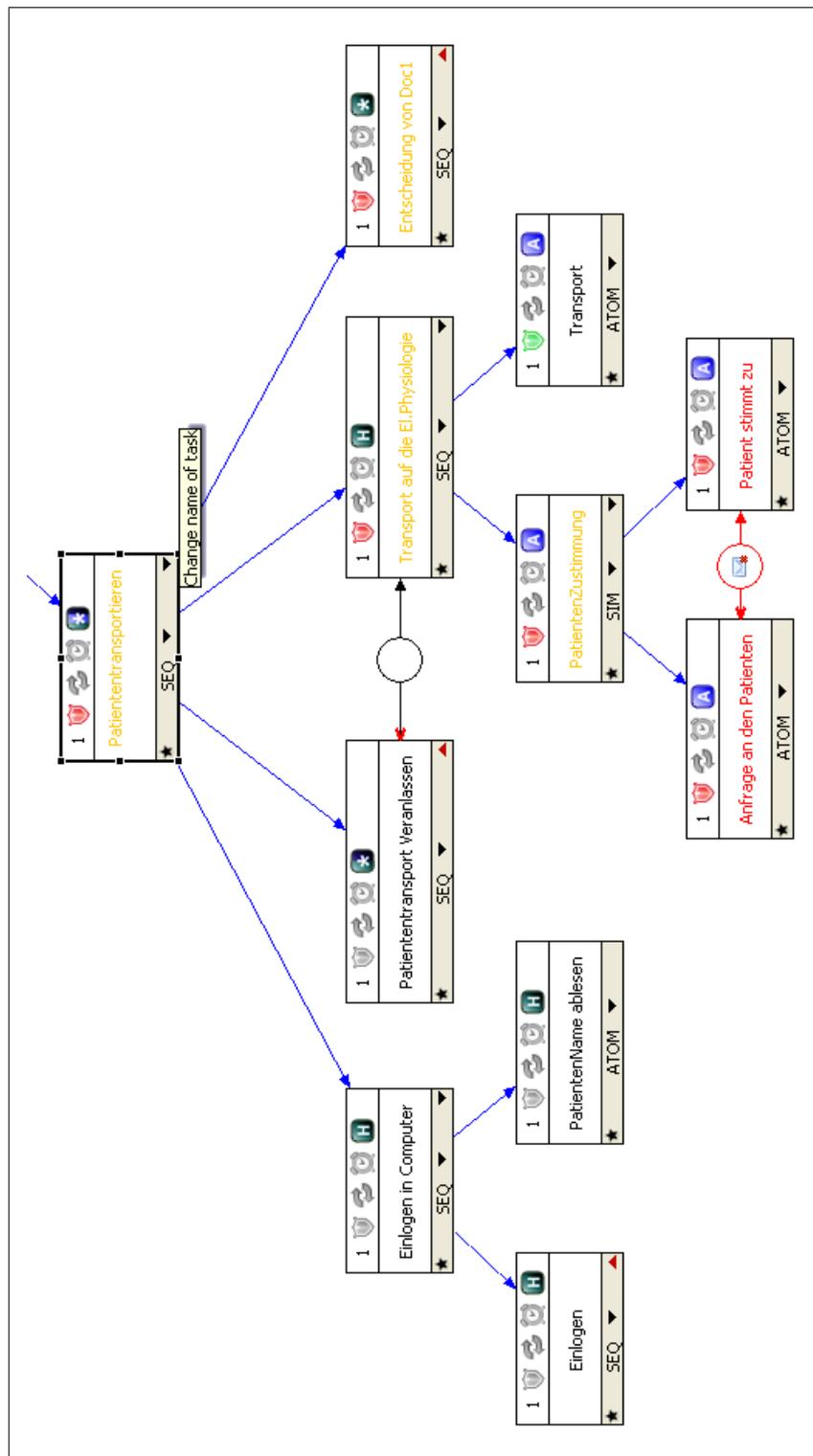


Abbildung 10.2.: Fallstudie 2, Patiententransport

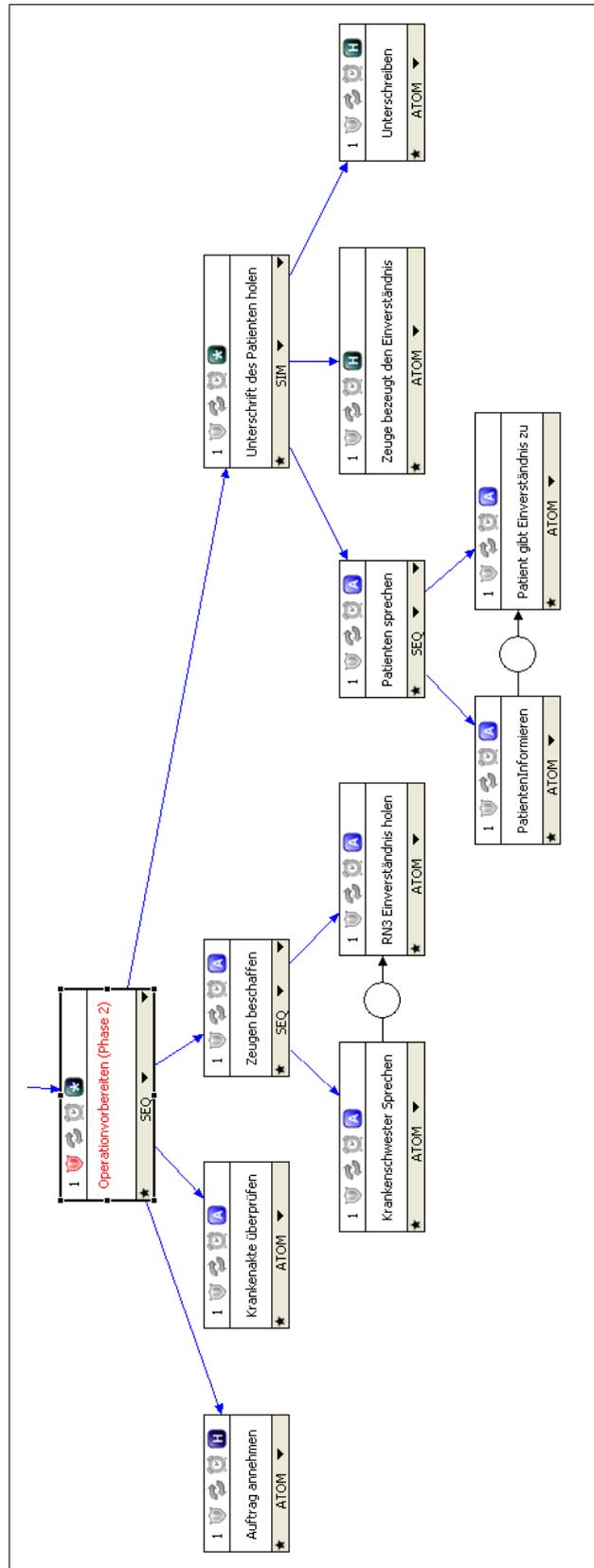


Abbildung 10.3.: Fallstudie 2, Phase 2, detailliertes Aufgabenmodell
348

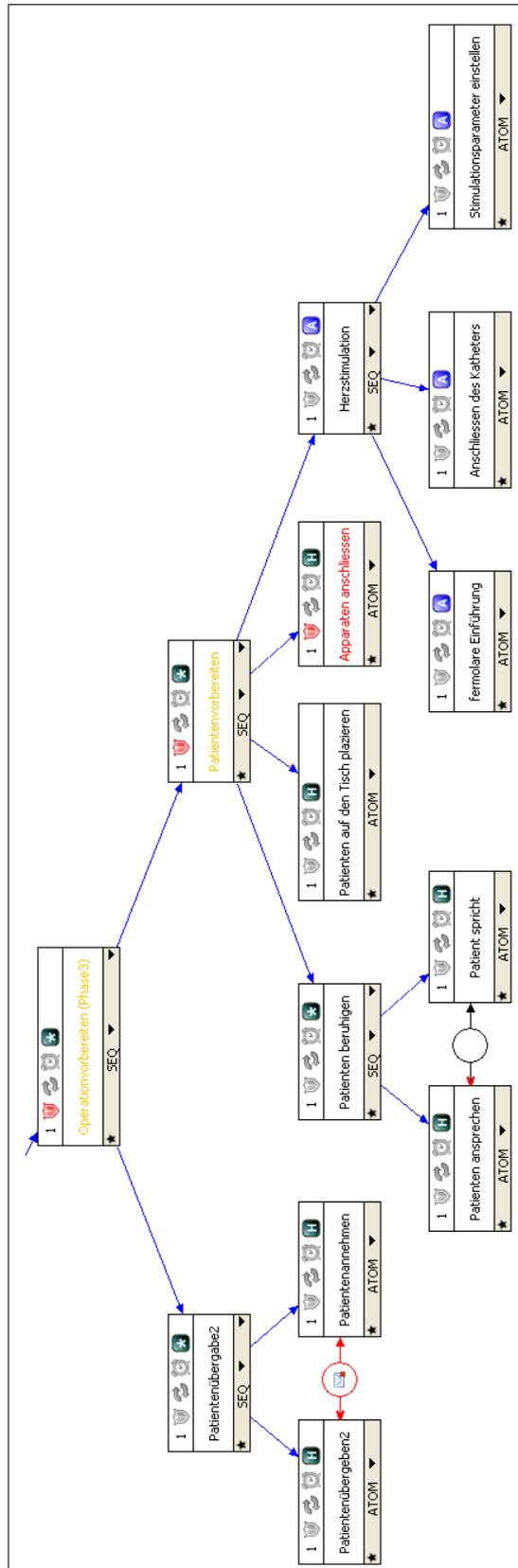


Abbildung 10.4.: Fallstudie 2, Phase 3, detaillierte Aufgabenmodell
349

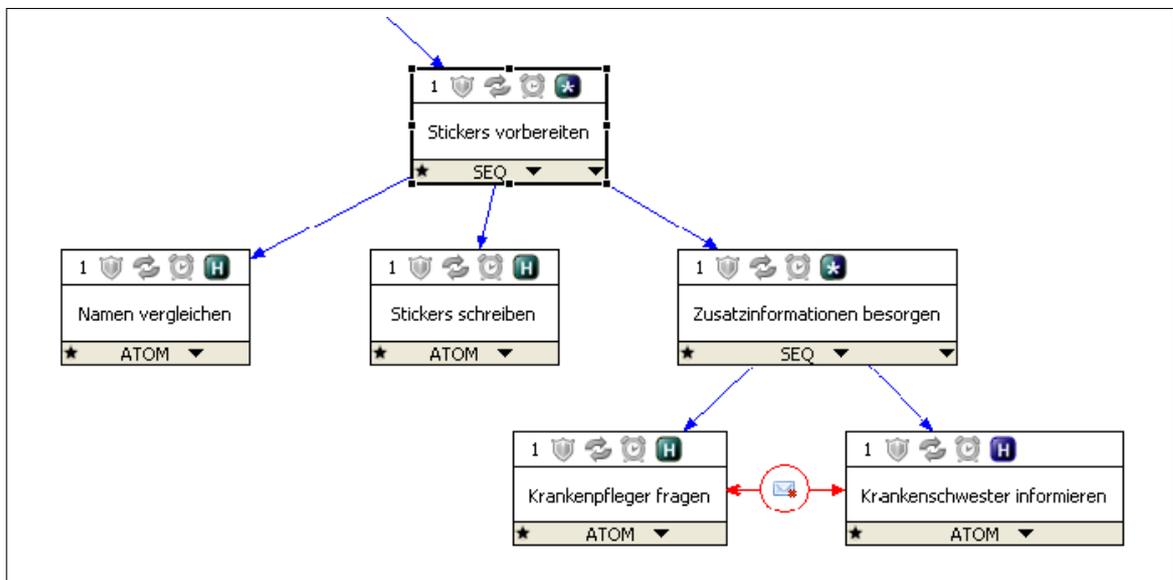


Abbildung 10.5.: Fallstudie 2, Phase 4, detailliertes Aufgabenmodell

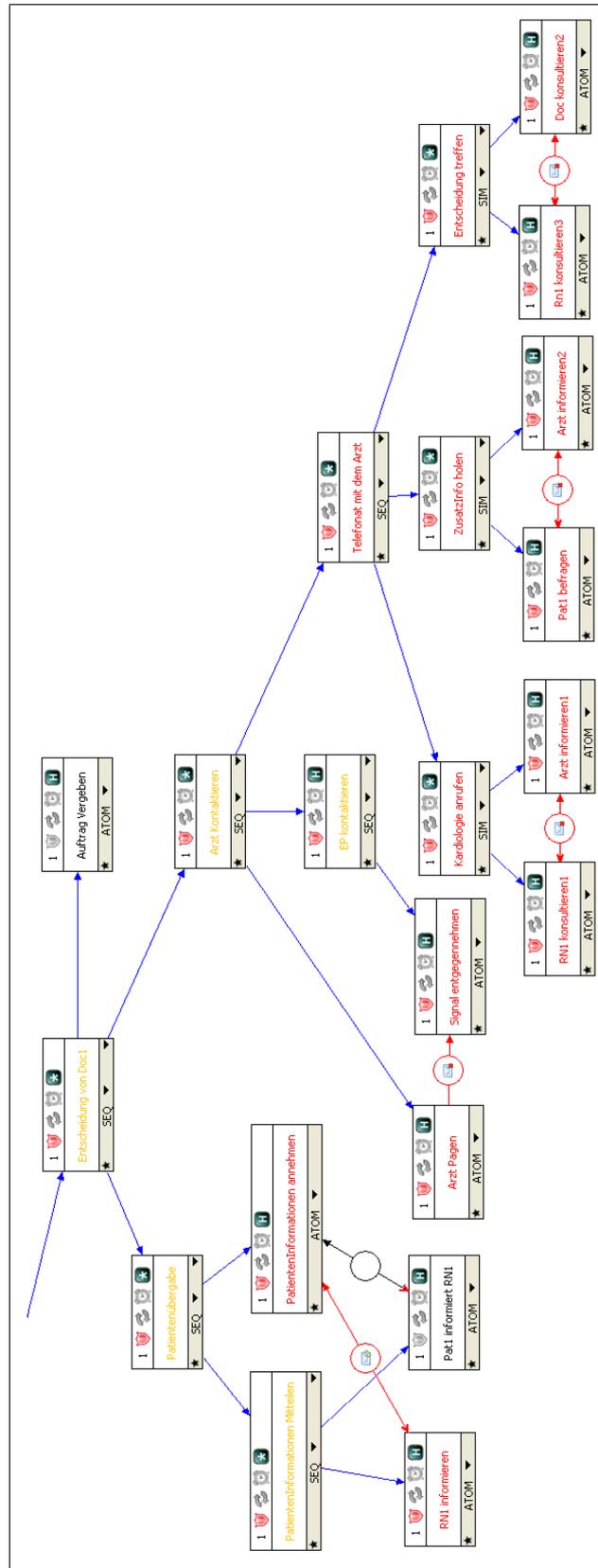


Abbildung 10.6.: Fallstudie 2, Arztentscheidung
351