Ludwig Dorn

Zum Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen auf die Flugsicherheit

Frau Hanna Bragard-Apfel ermöglichte den Druck des vorliegenden Beitrags

Zum Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen auf die Flugsicherheit

Ludwig Dorn

Universitätsverlag Ilmenau
2011

Impressum

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

Diese Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.
Tag der Einreichung: 19. November 2010
1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Peter Kurtz (Technische Universität Ilmenau)
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. rer. oec. habil. et Dr.-Ing. et Dr. h.c. Heinz Bartsch (Emeritus; Brandenburgische Technische Universität Cottbus)
3. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Joachim Blome (Fachhochschule Aachen)
Tag der Verteidigung: 12. Mai 2011

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek
Universitätsverlag Ilmenau
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag

Herstellung und Auslieferung
Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG
Am Hawerkamp 31
48155 Münster
www.mv-verlag.de

ISBN 978-3-86360-004-4 (Druckausgabe)
URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2011000145

Titelfoto: Veit Henkel | Fakultät für Maschinenbau, TU Ilmenau

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag propagiert am Beispiel des kommerziellen Luftverkehrs einen Paradigmenwechsel für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Frage- und Problemstellungen zum menschlichen Leistungsvermögen aus dem sicherheitsbezogenen Kontext gesellschaftlicher Mobilität. Mit Hilfe eines physikalisch-mathematisch orientierten Ansatzes wird auf der Grundlage einer Belastungs-Beanspruchungskonzeption und wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Selbstorganisation dissipativer Systeme eine interdisziplinär ausgerichtete und synchrone Betrachtungsweise des arbeitenden Menschen in wenig Fehler verzeihenden Bereichen erschlossen. Dabei steht die konsequente Anwendung des Prozessgedankens im Vordergrund der Forschungsaktivität.

Im Einzelnen richten sich die theoretischen Analysen auf den Piloten als Willenszentrale des Transportträger-Arbeitssystems im trilateralen Spannungsfeld von ergonomischer Arbeitsgestaltung, ökonomischer Effizienz und zu garantierender Betriebssicherheit. Damit erhält die Frage nach den Grenzen seines Regulationsvermögens einen allseitig ausgerichteten existenzrelevanten Stellenwert. Diese Limits gilt es zu identifizieren und zu verorten. Dazu wird der Konstruktansatz eines hypothetischen Lösungsmodells vorgestellt. In diesem Erkenntnisprozess ergibt sich die Möglichkeit, ein mehrdimensionales Kriteriensystem aufstellen zu können. Mit noch hypothetischem Charakter kann dies den Rahmen sowohl für angestrebte Optimierungen von Cockpitarbeit im Sinne einer menschengerechten Gestaltung als auch im Hinblick auf eine zu erhöhende Flugsicherheit abstecken und liefert damit die Aussicht auf eine Verbesserung langfristig ausgerichteter flugbetrieblicher Effektivität und Zufriedenheit sowohl für Luftfahrtgesellschaften als auch für deren Kunden. Für die empirische Konstruktverifizierung und Praxistauglichkeit wird eine mehrstufige Methodik vorgeschlagen.

Der Ansatz kann dabei generell auf andere berufliche Tätigkeitsbereiche übertragbar sein.

Aus den im Vorfeld der Konstrukterstellung durchgeführten Analysen über die augenblickliche Situation zur sicherheitsrelevanten Stellung von operationell tätigem Luftfahrtpersonal in einer sich technisch, sozial und organisatorisch schnell wandelnden Lebens- und Arbeitsumgebung lassen sich Gestaltungsmaßnahmen ableiten, die langfristig den Betrieb von Flugzeugen als attraktive Transportträger sichern könnten. Im Hinblick auf eine anzustrebende Verbesserung der Verträglichkeit von existenziellen, gesellschaftlichen und ökonomischen Bedürfnisbefriedigungen werden ein arbeitswissenschaftlich determinierter Argumentationspfad und ein entsprechender Vorschlag für die Um- bzw. Neustrukturierung europäischer Flugbetriebssysteme aufgezeigt.

Abstract

This contribution suggests a paradigm change in the scientific discourse concerning human performance by means of a case study of commercial air transport regarding flight safety. The focus of this work is on the human being in a high-risk environment. Based on a load-strain concept, the analysis proceeds by using physical-mathematical approaches involving results from the theory of self-organised dissipative systems with the perspective on its processual character.

Central to the theoretical analysis is the pilot as a conscious actor of a transport-working-system increasingly subjected to a trilateral area of conflict: ergonomical working conditions, economic efficiency and operational safety. In this environment the limits of the pilot's regulatory ability are of crucial importance. These limits have to be identified and established. For this purpose a theoretical approach is presented which offers the potential to establish a multi-dimensional system of criteria. This can be regarded as a fundamental element for optimising working conditions in the cockpit, thus raising flight safety and improving long-term flight operation effectiveness and contentment. In order to empirically verify the theoretical construction, a three-step methodology is given. The developed approach could be generally transferred to other occupations.

The involved analyses suggest measures which, in the long run, will contribute to the consolidation of flight operations in an exceedingly changeable social, technological and organizational environment. Another goal is to improve the compatibility of existential, social and economic needs. To this end, the ergonomically determined argument presents a proposal to restructure European flight operation systems.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ..... **v**

Abstract ..... **vi**

Inhaltsverzeichnis ..... **vii**

Tabellenverzeichnis ..... **xi**

Abbildungsverzeichnis ..... **xii**

Nomenklatur ..... **xvi**

Abkürzungen xvi

Bezeichnungen xix

Indizes xxiv

1. Einführung **1**

1.1 Einleitung 1

1.2 Genereller Aufbau des Argumentationspfads 2

2. Zum Wandel der Arbeitsbedingungen von Cockpitbesatzungen **9**

2.1 Darstellung des Argumentationspfades zur Problemindizierung 9

2.2 Zur Etablierung des kommerziellen Luftverkehrs durch Fluggesellschaften 10

2.3 Systemorientierter Ansatz 12

2.3.1 Der Lebensraum als heterogenes Umgebungssystem 13

2.3.2 Flugarbeitssystem als befugte Ausführungseinheit für Luftverkehr 14

2.3.3 Das Transportträger-Arbeitssystem 15

2.3.4 Der Mensch als ein Hauptelement des Transportträger-Arbeitssystems 16

2.3.5 Das Flugzeug als Betriebsmittel 17

2.4 Zur Genese des Produkts Lufttransport 19

2.4.1 Wirtschaftsaktivitäten der Luftfahrtgesellschaft in ihrer Umgebung - Ein Diskurs 19

2.4.2 Die Flugdurchführung als Produktionsprozess nachgefragter Dienstleistung 21

2.5 Cockpitarbeit 23

2.5.1 Zum gewerblichen Einsatz von Flugzeugführern 23

2.5.2 Arbeitsanforderungen als Tätigkeitsansprüche im Kaleidoskop *Cockpitarbeit* 27

2.6 Sicherheit als Reflexionskontinuum schadfrei wirkender Cockpitarbeit 28

2.6.1 Zum Begriff Sicherheit aus probabilistischer Perspektive 29

2.6.2 Sicherheit als objekt- und subjektivierendes Mehrebenenkonstrukt 30

2.6.3 Zum Aufbau einer situationsspezifischen Perspektive auf den Flugbetrieb ... 34
2.6.4 Betriebssicherheit durch geordnete Organisationsformen aktueller Situationen ... 35
2.6.5 Zum Kausalitätsgefüge von Produkt- und Sicherheitsaspekten im Flugbetrieb ... 37
2.7 Cockpitarbeit im trilateralen Spannungsfeld von ökonomischer Wirksamkeit, ergonomischer Arbeitsgestaltung und geschuldeter Betriebssicherheit ... 43
2.7.1 Zur Dominanz wirtschaftlicher Hintergründe bei der Arbeitsprozessgestaltung ... 43
2.7.2 Problemsituation: Entwicklungen im Tätigkeitsfeld von Piloten ... 45
2.7.3 Problempräzisierung: Zur Optimierung von Arbeitsprozessen ... 50
2.7.4 Problemfixierung: Zur Begrenzung von menschlichem Leistungsvermögen ... 53
2.7.5 Problemstellung: Ausgangspunkt des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns ... 54
2.7.6 Zur Problemtypologie und propagierten Lösungsmethodik ... 57
3. Anschauungskonstrukt des Arbeitsregulationsprozesses ... 61
3.1 Zur Selbstorganisation komplexer Systeme – Ein Diskurs ... 62
3.2 Zum Prozess des Ordnungsaufbaus durch System-Selbstorganisation ... 64
3.3 Systemselbstbezug: Ein subjektiv bestimmter Aspekt von *Leben* ... 67
3.4 Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption ... 68
3.5 Interiorisation und Exteriorisation als Regulationssequenzabschnitte ... 71
3.5.1 Zum Begriff *Interiorisation* ... 71
3.5.2 Zur Prozessarchitektur der Interiorisation - eine systemische Darstellung ... 72
3.5.3 Der Interiorisationsstrom als zeitlicher Verlauf mikroskopischer Aktivitätsmuster ... 76
3.5.4 Zum Aufbau des Interiorisationsstroms durch System-Selbstorganisation ... 76
3.5.5 Zum Begriff *Exteriorisation* ... 79
3.6 Schematisierte Prozessdarstellung der Situationsregulation ... 81
3.6.1 Systemeinträge und Systembelastung ... 81
3.6.2 Ablaufdarstellung des rückgekoppelten Vollzugs der Inter- und Exteriorisation ... 85
3.7 Zusammenfassung zur Darstellung des Anschauungskonstrukts ... 88

4. Zur internen Systemdynamik – Darstellung mikroskopischer Regulationsaspekte zur Arbeitsanforderungsbewältigung 89

4.1 Zum Gehalt von Systemeinträgen aus Situationen der Arbeitsumgebung 90

4.1.1 Energetisch belegte Systemeinträge 90

4.1.2 Zum Begriff *Information* als Systemeintrag 91

4.2 Das *Potential an Ungeklärtem* von Systemeinträgen 93

4.3 Die *Psychophysische Affinität* als Antrieb der System- Selbstorganisation 95

4.4 Die Entropieproduktionsrate als Prozesskenngröße der Interiorisation 96

4.5 Zum inneren Entropiezuwachs des autopoiesischen Systems 99

4.6 Zur Gesamtheit der systeminneren Entropieproduktion 113

4.7 Entropieexport 114

4.8 Zur Bewertung physiologischer Rahmenbedingungen von SO- Prozessen 118

4.9 Zusammenfassung der mikroskopisch orientierten Betrachtungen 121

5. Zum Systemverhalten – Aufstellung eines Kriteriensystems zur Akzeptanzbewertung von menschlichem Regulationsvermögen 123

5.1 Zum Systemverhalten als observierbare Dynamik der Regulationsstruktur 123

5.2 Zur Auslegung eines mathematischen Ansatzes für die Abbildung des Charakters von Systemverhalten 125

5.2.1 Voraussetzungen zur mathematischen Abbildung der *Exteriorisation* 126

5.2.2 Die mentale Anstrengung als Reflexion momentaner Systembeschaffenheit 126

5.2.3 Zur Erfassung prägnanter Merkmalsausprägungen von Arbeitshandlungen 127

5.2.4 Grundlagen zur Formulierung des mathematischen Ansatzes 131

5.2.5 Ein diskretes Konstrukt für die Abbildung der Modalität der Regulationsgenese 134

5.2.6 Zur Anpassung der Regulationsfunktionen an individuelle Wesensmerkmale 137

5.2.7 Berücksichtigung relevanter Veränderungen von Leistungsvoraussetzungen 150

5.2.8 Methodischer Ansatz zur Einarbeitung wesentlicher Aspekte von Ermüdung 156

5.2.9 Zur Kategorisierung der Entwicklungsverläufe von Regulationsaktivitäten 161

6. Zur Vorbereitung der empirischen Nachweisführung 171
6.1 Methodik zur Eignungsprüfung des theoretischen Konstrukts 171
6.1.1 Phase I: Zur Güteprüfung grundlegender mathematischer Beschreibungsansätze 172
6.1.2 Phase II: Zur Prüfung der Repräsentationseignung von Prozessdeterminanten 172
6.1.3 Phase III: Konstruktanpassung und –kalibrierung 173
6.1.4 Grundvoraussetzungen zur Untersuchungs- Methodik 173
6.2 Nachweiskonzept zur empirischen Güteprüfung 174
6.2.1 Kriterienwahl zur Qualifikationsprüfung des mathematischen Kennlinienansatzes 174
6.2.2 Das Experiment als methodischer Ansatz zur Qualifikationsprüfung 175
6.2.3 Operationalisierung und Festlegung der Erhebungsmethode 178
6.2.4 Generelle Versuchsanforderungen 181
6.2.5 Versuchsgestaltung 182
6.2.6 Festlegung der Untersuchungsgesamtheit und der Versuchsgruppen 188
6.3 Überlegungen und Empfehlungen zur weiteren Nachweisführung 189
6.3.1 Alternative Versuchsszenarien 189
6.3.2 Anmerkungen zur empirischen Relationsanalyse heterogener Systemexistenzen 189
7. Gestaltungsoptionen und Aussichten 191
7.1 Rückblick 191
7.2 Vorläufig anzusetzende Gestaltungsoptionen zur Sicherheitserhöhung 191
7.3 Vorschlag einer Um- bzw. Neustrukturierung von Flugbetriebssystemen 193
7.4 Erkenntnisgewinn aus der theoretischen Konstruktmodellierung 195
7.4.1 Einzelaspekte der Konstruktentwicklung 196
7.4.2 Resümee aus der mathematischen Konstruktmodellierung 197
7.5 Aussichten 198
Literaturverzeichnis 199
Anhang I
Äquivalenztabelle XX
Thesen XXVI

Tabellenverzeichnis

2.1 Einteilung wesentlicher Merkmal des selbstreferenziellen hybriden Systems Lebensraum 13

2.2 Vereinfachte Darstellung wesentlicher Merkmale einer heutigen Flugzeugprojektierung....19

3.1 Zur schematisierten Darstellung der Interiorisation von Systemeinträgen....74

3.2 Belastungsarten fliegerischer Tätigkeiten; Gruppiert entsprechend ihres Beanspruchungsgehalts nach *BULD* 83

3.3 Auswahl relevanter Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen 84

4.1 Aufstellung prägnanter Selbstorganisationsregime des Subsystems *Arbeitsperson* 107

4.2 Zur Abschätzung von physiologisch orientierten Energieumsätzen für Cockpitarbeit - aufbereitet entsprechend der Angaben aus [193] u. [194]....114

5.1 Zuordnung psychischer Aspekte nach [27g] zum aufgestellten Verlauf der Regulationsfunktion in Abb. 5.4 133

5.2 *DBS*-Kategorien nach *WIELAND-ECKELMANN u. BÖSEL* [215a] 140

5.3 Strategien zur Bewältigung von Arbeitsanforderungen in Abhängigkeit *Dispositioneller Bewältigungsstile* - Tätigkeitsspezifizierte Überarbeitung nach [215b] - 141

5.4 Anteile der psychischen Gesamtbeanspruchung in Abhängigkeit von personentypischen Strategien der Belastungsbewältigung und den daraus abgeleiteten Aussagen über die Effektivität der Ressourcennutzung. Darstellung der Interpretation empirischer Ergebnisse nach [215c] und [218]....142

5.5 Einflusstendenzen der Basisemotion *Furcht* auf Modulationsgrößen nach [159c]. 145

5.6 Hypothetische Zuordnung von Größenordnungen des Anpassungsfaktors ϕ für unterschiedliche *DBS*-Kategorien 147

5.7 Zur Phänomenologie von psychischer Ermüdung [188a] 151

5.8 Zuweisung von Organisationsformen für die Kategorisierung dynamischer Systemexistenzen in Abhängigkeit der Kontrollgröße α aus der Modalität der Regulationsgenese (in Anlehnung an [240]) 167

5.9 Kriteriensystem zur Identifizierung von Grenzen menschlichen Regulationsvermögens im Arbeitsprozess....169

Abbildungsverzeichnis

1.1 Zur Vorgehensweise bei der angestrebten wissenschaftlichen Theoriebildung 6

2.1 Luftverkehrsentwicklung im 20-Jahres-Vergleich innerhalb des deutschen Luftraums [9] 11

2.2 Allianzen und Low-Cost-Carrier Entwicklung 2001-2007 [9] 11

2.3 Konzeption des Transportträger-Arbeitssystems am Beispiel eines Verkehrsflugzeugs 15

2.4 Cockpitansicht Airbus A 380 – Foto: Airbus 18

2.5 Verknüpfung der Fluggesellschaft mit Einzelmärkten zur Beschaffung von Einsatzmitteln 20

2.6 Einteilung der Flugphasen gemäß [41] 22

2.7 Lizenzbestand Verkehrsflugzeugführer in Deutschland. Quelle: Luftfahrt-Bundesamt 2008 23

2.8 Zu den Arbeitsbedingungen in den Anfängen der Verkehrsfliegerei - Foto: Deutsches Museum 25

2.9 Differenzierte Aufstellung von Anforderungsarten aus Cockpitarbeit nach [1] 27

2.10 Zur Definition von Sicherheit und Gefahr aus probabilistischer Perspektive 29

2.11 Zuordnung von Systemkategorien und Betrachtungsebenen zum Begriffsverständnis *Sicherheit* 31

2.12 Ordnung als Organisationsform von Situationssubstanz 36

2.13 Zur Dynamik des Kausalitätsgefüges von Auftrag / Aufgabe und Sicherheit während des Flugbetriebs 38

2.14 Zum Einfluss verknüpfter Wirksamkeitsbezüge als Notwendigkeit für die Erstellung von Betriebssicherheit 41

2.15 Fehlerwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Zeitbudgets u. des Übungsniveaus aus [98] 47

2.16 Zur Sorge über Entwicklungen der Arbeitsbedingungen von Piloten 48

2.17 Der Arbeitsprozess als zentrale Aktionsinstanz im trilateralen Spannungsfeld der Aufgabenerfüllung 51

2.18 Wesentliche Einflussfaktoren auf die Menschliche Zuverlässigkeit [6] 52

2.19 The „accident zone“ – *performance demand* überschreitet die augenblicklich vorhandene *performance ability* 54

2.20 Wirkungsplan voneinander abhängiger Regulationszirkel zur Situationsbeeinflussung im Arbeitsprozess 56

2.21 Zum Aussagesystem der Konstruktentwicklung 59

3.1 Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption 70
3.2 Schematisierte Interiorisationsarchitektur 73
3.3 Zur mikroskopischen Verlaufsstruktur der Interiorisation in Anlehnung an [27c] 77
3.4 Tiefenstruktur des Interiorisationsprozesses zum Aufbau des Interiorisationsstroms 78
3.5 Einträge in das Subsystem *Mensch* als Arbeitsperson 82
3.6 Schematisierte Darstellung des Prozesskonstrukts zur Situationsregulation 86

4.1 System zum Kompetenzeinsatz der Arbeitsperson als vereinfachter Anschauungsraum 94
4.2 *Psychophysische Affinität* während des Prozesses der Interiorisation in Anlehnung an [170] 95
4.3 Darstellung des hypothetischen Zuwachses an innerer Systementropie im Arbeits- Erholungs- Zyklus 101
4.4 Mikroskopische Trägerkapazität des Systems T_K in Abhängigkeit des inneren, relativen Entropieniveaus 102
4.5 Entropieproduktionsgeschwindigkeit als Fluktuation im äußeren Zeitverlauf einer Selbstorganisations-Sequenz 103
4.6 Innere Systemdeterminierung: Zuwachs an Interiorisationsentropie infolge mentaler Aktivität zum mikroskopischen Strukturaufbau während einer Interiorisationssequenz 106
4.7 Zuwachs an innerer Systementropie durch Interiorisation von Einträgen mitteilenden Charakters 109
4.8 Prozessorientierte Darstellung zur Bilanzierung von Entropiegrößen einer SO-Sequenz 115
4.9 Bilanzierung bioenergetischer Entropiegrößen einer idealisierten SO-Sequenz (Konstrukt gem. Abb. 4.8) 120

5.1 Zur Zusammensetzung der dynamischen Systemexistenz 124
5.2 Zum Aufbau des *Regulationsaktionals* 128
5.3 Zur Koeffizientenermittlung der Ereignisvektoren 129
5.4 Relative Regulationsaktivität als Funktion der mentalen Systemanstrengung (Regulations- bzw. Veränderungsfkt.) 134
5.5 Rückkoppelungsprozess des Subsystems Arbeitsperson 135
5.6 Zusammensetzung von Modulationsgrößen als Kern der Basisemotion *Furcht* bzw. *Angst* 139

5.7 Darstellung von Verhaltenstendenzen als Amplituden-Frequenz Relation der Betätigungsaktivität in Anlehnung an [221] 143
5.8 Darstellung des emotional geprägten Beanspruchungsreaktionszirkels der Interiorisation gemäß der Belastung - Beanspruchungskonzeption aus Abb. 3.6 146
5.9 Mittlere Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Anforderungskomplexität – Werte nach [27b] 149
5.10 Prinzipieller Ermüdungszuwachs in Abhängigkeit von Arbeitsbelastung und –Dauer - Darstellung in Anlehnung an [229] 154
5.11 A) – Chronotypverteilung einer Gesellschaftsstichprobe B) – Lebensalterabhängige Veränderung des Chronotypus Quelle: [231] 155
5.12 Gemittelte Vielfache von Leistungsindikatoren im Verlauf einer 24 Stundenperiode – Werte nach [235] 157
5.13 Ansatz zur näherungsweisen Erfassung der Veränderung von Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Einwirkungsdauer von Arbeitsanforderungen 159
5.14 Gemittelte Vielfache von Einfachreaktionszeiten im Verlauf einer 24 Stundenperiode – Werte nach [235] 160
5.15 Das Vielfache von Entscheidungszeiten als Funktion des Schalldruckpegels der Umgebung – Werte nach [237] 161
5.16 Histogramm einer aperiodischen Konvergenz relativer Regulationsaktivität gegen den Fixpunkt einer Zielvorgabe 164
5.17 Histogramm einer periodischen Konvergenz relativer Regulationsaktivität gegen den Fixpunkt einer Zielvorgabe 164
5.18 Darstellung einer ersten Fixpunktaufspaltung im Histogramm 165

6.1 Vorschlag zur Abfolge des Nachweisprozesses für die Konstruktverifizierung 171
6.2 Generelle Architektur eines modernen Flugsimulators nach [247] 177
6.3 *MCHR*- Skala nach [252] 179
6.4 Schematisiertes Windshear-Szenario induziert durch einen „Microburst“ [256] 183
6.5 Anordnung versuchsrelevanter Cockpitinstrumente eines modernen Verkehrsflugzeugs am Beispiel der CRJ-Serie 186
6.6 Aufstellung realitätsnaher Szenariogrundstrukturen zur Belastung des Arbeitssystems im Experiment 187
6.7 Zur Zusammenstellung des Belastungsszenarios unter simulierter Realität 188

7.1 Grundstrukturen einer möglichen Neugestaltung europäischer Flugbetriebssysteme 194

A5.1 Darstellung eines einfachen Simulationsbeispiels zu Verlaufsmustern makroskopischer Regulationsaktivität unter geordneter dynamischer Systemexistenz → geordnetes Verhalten XVII

A7.1 Qualitativer Verlauf des Kaufpreis für die Dienstleistung *Cockpitarbeit* in Abhängigkeit bereitgestellter Qualität für Voraussetzungen zur Schaffung von Flugsicherheit (Vorschlag) XIX

Nomenklatur

Abkürzungen

ARAS	Aufsteigendes Retikuläres Aktivierungssystem
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System
AFM	Aircraft Flight Manual
AGL	Above Ground Level
AIDA	Airborne Identification and Development of simulation fidelity criteria using ATTAS
AIS	Air Information Service
ALU	Arbeit in der Luftfahrt
ATA	Air Transport Association
ATTAS	Advanced Technologies Testing Aircraft System
ATC	Air Traffic Control
ATPL	Airline Transport Pilot Licence
BR	Beanspruchungsreaktion
CAWS	Central Aural Warning System
CEO	alleinige Geschäftsführer oder Vorstand eines Unternehmens
CDL	Configuration Deviation List
CRM	Crew Resource Management
DBS	Dispositionelle-Bewältigungs-Stile
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
DGL	Differentialgleichung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
DOC	Direct Operational Costs
DOF	Degrees of Freedom (Freiheitsgrade der Systembeschreibung)
EASA-CS	European Aviation Safety Agency - Certification specifications
EFIS	Electronic Flight Instrument System
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System
EICAS	Electronic Indication and Caution Advisory System
EPA	Europäisches Patentamt
ETSB	European Transport Safety Board (als Etablierungsvorschlag)
EZB	Europäische Zentralbank
FAR	(US-) Federal Aviation Regulation
FCL	Flight Crew Licence

FD	Flightdirector
FDA / FOQA	Flight Operational Quality Assurance
FM	Furcht vor Misserfolg
FFT	Forcing Function Task: synthetisch erzeugte Flugbahnsteuerungsaufgabe
FR	Formatio reticularis
FSF	Flight Safety Foundation
ft	Feet
GA	Indikator der energetischen Aktiviertheit
HA	Indikator der ängstlichen Anspannung
HIL	Hold Item List (Aufstellung zurückgestellter Reparatur- bedürftiger Beanstandungen)
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMC	Instrument Meteorological Conditions
IQTG	International Qualification Test Guide
JAR	Joint Aviation Regulation (Art von Lufttüchtigkeitsanforderungen)
LED	Leuchtdiode (Light Emitting Diode)
LN 9300	Luftfahrtnorm 9300 Blatt 1
LOFT	Line Orientated Flight Training
LVG	Luftverkehrsgesellschaft
MCHR	Modified Cooper Harper Rating scale
MEL	Minimum Equipment List (Aufstellung der für den Flug notwendigen Funktionalität von der Bordausrüstung eines Flugzeugs)
MFD	Multi Function Display
MCC	Multi Crew Concept
MZ	Menschliche Zuverlässigkeit (Konstrukt)
NTSB	National Transport Safety Board
OAS	Operationelles Abbildungssystem
OPE	Operational Pilot Envelope
OPS	Operations, - auch im Sinne von: Logistikzentrale des Flugbetriebs
PFD	Primary Flight Display
PIO	Pilot Induced Oscillation
PPE	Permissible Pilot Envelope
POF	Phases of Flight
prop.	Proportional im Sinne von gleich ausgerichtet
PSA	Probability Safety Analysis
RLCQ	Recent Life Changes Questionnaire

ROD	Rate of Descent
SATO	Speed-Accuracy-Trade-Off-Function
SCN	Suprachiasmatischer Nucleus; Kerngebiet im Gehirn zum zeitlichen Tagesgangsabgleich (circadianen Rythmen) für die Steuerung der Funktionsintensität innerer Organe aufgrund von Lichteinwirkungen der Umgebung
SLCU	Subjective Life Change Unit scaling system
SO	Selbstorganisation
SOP	Standard Operational Procedures
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TOP	Technisch-Organisatorisch-Personenbezogen
TQM	Total Quality Management
TRE / TRI	Type Rating Examiner (Sachverständiger) / Type Rating Instructor
US FAA	United States Federal Aviation Administration
WX	Wetter

Bezeichnungen

A_F	Systemagilität
a	- Parameter der Reaktionszeitfunktion in Abb. 5.13 - Kontrollfaktor in der *VERHULST*-Gleichung
B	operationell determiniertes Bedrohungsmaß des Flugzeuges
b	- relatives Bedrohungsmaß - Dämpfungsfaktor in der *VERHULST*-Gleichung - Parameter der Reaktionszeitfunktion in Abb. 5.13
$C_{A\alpha}$	Derivativ (Auftriebsanstieg)
c	Maß für den Schwierigkeitsgrad der Arbeitsaufgabe
e	absolutes Fehlermaß als Abweichung von einem Sollwert
E	Energie
E_{xI}	während der Interiorisation produzierte (abstrakte) Emergenzgrößen aus den idealisierten physiologischen, kognitiven und emotionalen Prozessmodulen
$\dot{E}$	Energiestrom
$\underline{\dot{E}}$	zeitdiskreter Ereignisvektor zur Abbildung der Heftigkeit momentaner Aktivitäts- bzw. Operationsentstehung
E_i	energetisch belegte Amplitude der jeweiligen Operationsvariablen i (Abb. 5.3)
f	Frequenz elektromechanischer Wellen
f_{Input}	Frequenz von Steuereingaben
G	Leistungsspektraldichte
H	geodätische Flughöhe
h	Plancksches Wirkungsquantum
I_F	mentale Systemanstrengung
ΔI_F	numerische Schrittweite im Entwicklungsverlauf der momentanen Regulationsaktivität bzw. Differenz der mentalen Systemanstrengung
$\frac{\partial I_F}{\partial t}$	Interiorisationsoperand (mikroskopische Prozesskenngröße)
$\Delta\Im$	Einsatzäquivalent für eine Interiorisationssequenz
$\Delta\Im_F$	Investitionsäquivalent einer Interiorisationssequenz (Effektivgröße)
$\underline{J}_F$	Interiorisationsstrom

$\underline{j}_F$	spezifische Gesamtheit momentaner (örtlicher) Stromdichten
$\underline{j}_{R_i}$	spezifische momentane (örtliche) Stromdichte
k	Einflussparameter der Populationslimitierung in der *VERHULST*-Gleichung
k_e	Maßstabsfaktor zur Messung des Niveaus an Quanteninformation
$k_{(I)}$	Maßstabsfaktor zum Erfassen des Einsatzäquivalents für die Interiorisation
k_H	Faktor zur Zeitdaueranpassung an Entscheidungsalternativen
k_{OPE}	Margenfaktor (Spielraum) für Fluktuationen von ϑ innerhalb der OPE
k_{PPE}	Margenfaktor (Spielraum) für Fluktuationen von ϑ innerhalb der PPE
k_θ	Veränderungsfaktor der mentalen Systemdegradierung zur Berücksichtigung circadian begründbarer Schwankungen im Tagesgang
k_τ	Veränderungsfaktor der Reaktionszeit zur Berücksichtigung circadian begründbarer Schwankungen im Tagesgang
$k_{\tau,Schall}$	Veränderungsfaktor der Reaktionszeit aufgrund einwirkenden Schalldrucks
L_{Nutz}	physiologische Nutzarbeit (vorwiegend Muskelarbeit)
L_{XY}	*ONSAGER*-Koeffizient
$\underline{\underline{L}}_{R_iU}$	Koppelungsmatrix
$\underline{\underline{L}}_\psi$; $\underline{\underline{L}}_{\dot{E}}$	Wichtungsmatrizen der Handlungsgenauigkeit aus Bewertungssystemen
N	Anzahl von Entscheidungsalternativen
N_Z	Schrittfolgeanzahl einer Iteration
n	Anzahl
P	Regulationsaktivität bzw. overall activity: Maß an Breitbandigkeit von Handlungen bzw. Operationsaktivitäten im zeitlichen Beobachtungsintervall Δt_B
P_F	Regulationsaktional; fiktive objektivierte Hilfsgröße zum Erfassen prägnanter mehrdimensionaler Merkmalsausprägungen von Aktivitäten (Arbeitshandlungen)
p	relative Regulationsaktivität (Rohdatenmessgröße)– korrespondierend zu P
p_F	relative Regulationsaktivität

$\dot{Q}$	Wärmestrom
$\underline{R}_F$	makroskopischer Regulationsfluss energetischen Charakters zur Situationsbeeinflussung; hier vereinfachend operationalisiert durch den diskreten Verlauf der Regulationsaktionalsausprägung
R_i	fiktive Transportgrößen aus ursprünglich strukturellen und palliativen Ressourcen
$\Re$	abgerufener Fluss an natürlichen Ressourcen aus dem Produktionsmittelspeicher des Systems
$\underline{r}$	Ortsvektor des intendierten situationsbedingten Bearbeitungsziels
S	Interiorisationsentropie
S_M	thermodynamisch belegte Entropieart
S^{ges}	Gesamtheit an Interiorisationsentropie u. thermodynamisch belegter Entropie
ΔS^*	Bilanzgröße (Residuum) an Interiorisationsentropie einer SO-Sequenz
ΔS_M^*	Bilanzgröße der Entropien bioenergetischer Prozesse einer SO-Sequenz
(dS_i^* / dt)	gemittelte Ausgleichsrate des inneren Zuwachses an Interiorisationsentropie aus Sequenzresiduen
T	Temperatur
T_K^{ges}	mikroskopische Trägerkapazität des Systems
T_K	mentale Trägerkapazität des Systems
T_m	mittlere afebrile Kerntemperatur
t	(äußere) Zeit
Δt_B	zeitliches Beobachtungsintervall
U	Potential an Ungeklärtem
$\underline{u}_r$	Basisvektoren der psychophysischen Affinität mit emotionalen, motivationalen bzw. tätigkeitsbezogenen und allgemeinen Aktivierungskomponenten der individuellen Leistungs- und Zuverlässigkeitsvoraussetzungen
V	Raumvolumen
W	Wahrscheinlichkeit als Aussage über Ungewissheit
W_{Nutz}	thermodynamisch belegte Nutzarbeit
w	Vertikalgeschwindigkeit des Flugzeuges im erdfesten Koordinatensystem

$\underline{w_i}(R_i)$	vektorielle Wichtungsfaktoren
$\underline{X_U}$	psychophysische Affinität
x	Variable
Y	Wirkung
y	Istgröße
z	Sollgröße
α	makroskopische Systemsteuergröße (Kontrollparameter); mathematisch: aktuelle Steigung der Regulationsfunktion
α_{ref}	Flugzeug-Referenzanstellwinkel
α_W	Windwinkel
β	makroskopische Systemsteuergröße dämpfenden Charakters
γ	Flugbahnwinkel
Δ	Differenz
E	Güte der Aufgabenlösung
ε	relatives Fehlermaß als Abweichung von einem Sollwert bezogen auf ein zuvor festgelegtes Referenzniveau
δ	Stellgliedausschlag (nach LN 9300)
$\overline{\delta}$	Mittelwert bzw. Stellgliedposition im Trimmzustand
η	Wirkungsgrad
$\eta_{(I)}$	aufwandsbezogener Prozesswirkungsgrad der Interiorisation
θ	Schwund an psychophysischem Leistungsvermögen
θ_{ref}	Längslage- bzw. Nickwinkel des Flugzeugs
ϑ	Produktionsrate an Interiorisationsentropie
$\vartheta_{(I)}$	Produktionsrate an Interiorisationsentropie während der Interiorisation
$\overline{\vartheta_{zul}}$	gemittelte, max. mögliche bzw. zulässige Entropiezuwachsrate (Abb. 4.3)
$\widetilde{\vartheta}_{(I),Nenn}$	größte Schwankungsausdehnung der Interiorisations-Entropie-produktionsrate in einem Interiorisationssegment (Nennamplitude)
$\widetilde{\vartheta}_{zul}$	momentan höchstzulässige Zuwachsrate an Interiorisationsentropie einer SO-Sequenz in Abhängigkeit des Trägerkapazitätsniveaus
$\left(\frac{d\vartheta_{(I)}}{dt}\right)_{zul}$	vigilantes Derivat der mentalen Systemträgerkapazität

λ	Degradierungsfaktor zur Berücksichtigung von Aspekten der Systemalterung
σ	volumenbezogene Prozesskenngröße der örtlichen Entropieproduktionsgeschwindigkeit
σ^2	Varianz
τ	Zeitdifferenz; momentane fiktive Sequenzdauer aus dem zeitdiskreten Regulationsprozesses
τ_R	einhüllende Vollzugsdauer von Operationen einer Handlung
ϕ	Anpassungsfaktor zur Berücksichtung dispositioneller Bewältigungsstile
φ	Phasenwinkel des Tagesgangs äquivalent zu einer 24 h- Periode, ausgehend von der lokalen und systemsynchronisierten Tageszeit $09^{\underline{00}}$ Uhr des Abflugortes
$\Delta\varphi$	Phasendifferenzwinkel zur Berücksichtigung des individuellen Chronotyps
ω	Kreisfrequenz
$\underline{\psi}$	zeitdiskreter Ereignisvektor zur Abbildung augenblicklicher Wirkung von Operationstupeln

Indizes

a	Austrag
B	psychophysische Bereitschaft
E	Einbringungsvermögen
(E)	Exteriorisation
EAL	Ermüdungsausgangslage
EK	Ergebniskonstellationen
e	Eintrag
Exp	Exposition von Arbeitsanforderungen
F	Flugzeugbesatzung (hier zunächst ein Cockpitbesatzungsmitglied)
ges	gesamt
H	- Haut - Höhenruder
(I)	Interiorisation
i	innere; Aufzählungsindex
j	freier Index
int	intern
k	Aufzählungsindex
L	Leben
M	metabolisch
m	mittlere
max	maximal
$Nenn$	Nennamplitude
Q	psychophysische Befähigung
(R)	Regime
R	Regulation
R_iU	Kennzeichnung spezifischer Koppelungskoeffizienten zwischen Stromdichten und einwirkender psychophysischen Affinität beim Transport von R_i
ref	Referenz
rel	relativ
$relax$	Kennzeichnung eines Aktivitätsniveaus bzw. einer Prozessesphase mit gering wirkender *psychophysischer Affinität*
rev	reversibel

SJL	Social Jet Lag
TE	Transfer-Erfolg
U	- Umgebung - Potential an Ungeklärtem
V	Vorsatz einer internalen Zielgrößensetzung
Z	Arbeits-Erholungs-Zyklus
zul	zulässig
$\delta_{F1/F2}$	Amplituden der Fixpunktaufspaltung (Bi-Stabilitäten)
θ, τ	Kennzeichnung von Phasenverschiebungen durch *SJL* – Aspekte
0	Kennzeichnung von Arbeitspunkten bzw. Ausgangspunkten im Regulationsaktivitätsverlauf
∞	Fixpunktkennzeichnung bzw. Entwicklungsziel der Regulationsfunktion

Kapitel 1

Einführung

1.1 Einleitung

Die erfolgreiche Etablierung des Weltluftverkehrs ist im Wesentlichen sowohl auf die gute technische Einsatztauglichkeit des Transportträgers Flugzeug als auch auf die Einführung standardisierter Betriebsabläufe zurückzuführen. In diesen Arbeitsprozessen nehmen Cockpitbesatzungen durch ein hohes Niveau an Handlungskompetenz eine unmittelbar sicherheitsrelevante Sonderstellung ein. Die Piloten müssen in einer risikobehafteten Umgebung flexibel und zielorientiert den Flugverlauf steuern und regulieren. Systemtheoretisch betrachtet sind sie mit dem Flugzeug fest verbundene Systemelemente bzw. Subsysteme, die am Ende einer Ereignisabfolge Anforderungen zu bewältigen haben, welche sich sowohl aus ihrer Arbeitstätigkeit als auch aus einer Ambivalenz von Berufs- und Lebensbereich ergeben. Flugzeugführer bilden die letzte Instanz einer Luftfahrtgesellschaft, vor und während eines Fluges systemimmanente Fehler oder Unterlassungen zu korrigieren, bevor sich fatale Folgen einstellen können. Ihre Stärken werden besonders in überraschend auftretenden Ereignissen sichtbar, welche nicht durch Algorithmen abgebildet werden können. Allerdings ist der Mensch fehlbar. Sein Leistungsvermögen unterliegt u. a. auch Veränderungen durch Beanspruchungsfolgen, wie z. B. Arbeitsermüdung, und kann sich daher negativ auf die erfolgreiche Bearbeitung von Aufträgen und der damit verbundenen Erfüllung der Arbeitsaufgaben auswirken.

Den Anlass, eine sich schleichend durchsetzende neue Art der Einbindung von Cockpitbesatzungen in das Wirksamkeitsgefüge des Flugbetriebs zu hinterfragen, bildeten Beobachtungen und Wahrnehmungen von Verkehrsflugzeugführern über den Wandel des eigenen Berufsbildes [1]. Diese unmittelbar im Flugbetrieb eingesetzten Akteure spüren seit geraumer Zeit eine stetige Zunahme und qualitative Veränderung ihrer Arbeitsbelastungen. So werden z. B. immer mehr ursprünglich tätigkeitsfremde Aufgaben ins Cockpit delegiert und gleichzeitig Zeitbudgets reduziert.

Aufgrund verschärfter Wettbewerbsbedingungen und ökonomischer Erwartungen müssen sich die Fluggesellschaften zunehmend dem Dilemma ausgesetzt sehen, einen sinnvollen Abgleich ihrer Bestrebungen in nunmehr global ausgerichteten Märkten mit einer menschgerechten Arbeitswelt in Einklang zu bringen. An dieser Stelle setzt der vorliegende Beitrag an: Es stellt sich die Frage, in wieweit das Maß und die Modalität der Arbeitsbelastungen von Cockpitbesatzungen mit dem hohen Anspruch an den sicheren Betrieb des Transportträgers Verkehrsflugzeug (noch) vereinbar sind. Dabei soll unter „vertretbarem Maß“ nicht nur eine zumessbare Menge an berufsspezifischen Einwirkungen auf die einzelne Arbeitsperson verstanden werden, sondern auch die latent das Arbeitssystem belastenden individual- und sozialethischen Einflüsse eines komplexer werdenden Lebensraums mit in das Kalkül einbezogen werden. Um also die derzeit gute Sicherheitsbilanz der Verkehrsluftfahrt zu erhalten oder sogar zu verbessern, wird besonders von Cockpitbesatzungen zunehmend die Notwendigkeit gesehen den Einflusses projektierter Arbeitsgestaltungsmaßnahmen auf den Flugbetrieb zu untersuchen [1; 260].

Die Relevanz einer wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit den Facetten der Sicherheitsthematik wird durch statistische Auswertungen von Flugunfällen im Jahr 2009 unterstrichen: In einer Trendanalyse wird für die erste Dekade des 21. Jahrhunderts eine Stagnation der Erhöhung von Sicherheit im kommerziellen Flugverkehr vorausgesagt – eine erstmals in der Luftfahrtgeschichte zu verzeichnende Tendenz [2]. Nicht zuletzt durch die jüngst geschehenen Flugunfälle mit fatalem Ausgang rückt der Sicherheitsaspekt in der Luftfahrt zudem in das Bewusstsein der Öffentlichkeit. Trotz der z. Z. noch großen Zufriedenheit von Betreibern und Nutzern steigt das gesellschaftliche Interesse, den Transportträger Verkehrsflugzeug langfristig im Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit, technischem Fortschritt und Betriebssicherheit attraktiv zu halten [3]. Das bedeutet, dass insbesondere die Piloten als Protagonisten im Flugbetrieb, auch aus rechtlichen Aspekten heraus, weiterhin in die Lage versetzt werden müssen, ihren Einfluss im Sinne einer „Gewährleistung für die Unversehrtheit von Menschen und Sachwerten“ in den Arbeitsprozess einbringen zu können und wirksam werden zu lassen.

Gegenwärtig gibt es allerdings weder wissenschaftlich ausreichend gestützte Analyseinstrumente noch den Flugbetrieb ganzheitlich umfassende Ansätze, die den Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen auf die Flugsicherheit in befriedigender Weise bewerten könnten. Dies gilt besonders für eine Möglichkeit menschliche Beanspruchungsgrenzen im Arbeitsprozess weitestgehend prognostizieren zu können. Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag für die Beseitigung dieses Defizits bzw. der damit zusammenhängenden Widersprüche geleistet werden. Der Autor zielt vornehmlich auf einen theoretischen Erkenntnisgewinn speziell im Bereich der Arbeitwissenschaft. Der Ansatz mit seinem z. Z. noch hypothetischen Charakter leitet sich u. a. aus den selbst gemachten Erfahrungen der flugbetrieblichen Praxis ab. Die über diesen Ansatz erzielten theoretischen Erkenntnisse sollen eine Grundlage für die Positionierung weiterführender wissenschaftlicher Arbeiten bilden.

1.2 Genereller Aufbau des Argumentationspfads

Aufgrund historisch gewachsener Abgrenzungen wird die Forschungslandschaft in Bezug auf Mensch-Maschine-Umgebungs-Interaktionen im operationellen Luftfahrtbereich bisher im Wesentlichen von flugmedizinischen und psychologischen Fakultäten mit ihren jeweils eigenen Fachsystematiken dominiert. Ableitungen konkreter Gestaltungsoptionen hieraus zur Verbesserung menschengerechter Cockpitarbeit, besonders im Sinne einer Erhöhung von Sicherheitsaspekten unter dem zunehmenden Einfluss ökonomisch orientierter Erwartungen von Luftfahrtgesellschaften, sind nicht deutlich erkennbar. So mangelt es den Ansätzen beider Fakultäten im Wesentlichen an der Koppelungsfähigkeit, um eine fachübergreifende Gesamtsicht zu den überaus komplexen Frage- und Problemstellungen der Genese von sicherem Lufttransport zu erstellen. Um die unterschiedlichen Teilaspekte von Flugbetrieb in weitem Umfang möglichst praxisnah erfassen zu können, sieht der Autor hier die Notwendigkeit gegeben eine systemische Herangehensweise zu etablieren. Diese impliziert ihrerseits ein interdisziplinäres Vorgehen im Forschungsprozess, wobei etwaige Lösungsansätze mit einem prozessualen Charakter zu versehen sind, um der Dynamik der hier besonders stark ausgeprägten komplementären Beziehung zwischen Arbeitsvollzug und Arbeitsergebnis besser Rechnung tragen zu können. Diese Einschätzung soll exemplarisch erläutert werden:

Neben der Nähe zu Untersuchungen von fliegerischer Tauglichkeit und Fitness richtet sich die flugphysiologische Forschung vornehmlich auf die Analyse des Menschen als Arbeits-

person. Sie wendet dabei medizinisch orientierte Methoden an, die einzelne flugbetriebliche Gegebenheiten registriert und auswertet. So wird z. B. Arbeitsermüdung vorrangig als physiologische Konsequenz gesehen. Regelungen von Dienst- und Ruhezeiten des Luftfahrtpersonals resultieren deshalb heute hauptsächlich aus Empfehlungen, die aus Messungen während des Fliegens über Veränderungen unterschiedlicher Körperfunktionen abgeleitet wurden.

Mit der „Entdeckung" des Piloten als hoch belastet agierendes Individuum in risikobehafteter Umgebung haben sich zur Erforschung seiner mentalen Eigenschaften und Merkmale vornehmlich Herangehensweisen psychologischer Fachrichtungen etabliert, deren Forschungskonzepte sich durch eine große Methodenvielfalt auszeichnen. Den theoretischen Ansätzen scheint es allerdings in weiten Bereichen an Anwendungsbreite zu fehlen. Sie sind eher von zustands- anstatt von prozessorientiertem[1] Charakter und liefern hauptsächlich unscharf abgegrenzte Erkenntnisse in fragmentierten Interessensgebieten. Außer der Bewusstseinsbildung hinsichtlich der Einschätzbarkeit von Beobachtungen über das Zusammenspiel von Flugzeugbesatzungen und der entsprechenden Ausformung individueller Handlungs- und Verhaltensoptionen bleibt diese Wissenschaftsdisziplin, im Gegensatz zur Flugphysiologie, Vorschläge zur Arbeitsgestaltung in weiten Bereichen schuldig[2].

Diesem unbefriedigenden Sachverhalt soll im vorliegenden Beitrag mit arbeitswissenschaftlichen Konzepten in Kombination mit der konsequenten Anwendung des „Prozessgedankens" begegnet werden. Denn im Flugbetrieb determinieren sich auch entsprechende Aspekte seiner Durchführung als dynamische Konstellationen aktiver Einzelelemente, die mit einem arbeitswissenschaftlichen Zugang korrelieren. Dieser bildet die Basis für einen ersten Schritt in Richtung einer veränderten Sicherheitsperspektive, die nicht von wahrscheinlichkeitsbasierten Ansätzen dominiert wird, sondern dem hohen situativen Charakter des Flugbetriebs besser Rechnung tragen soll. Zwar steht der Mensch hier nach wie vor als Arbeitsperson mit seinem „von sich selbst organisierten" Vermögen zur Regulation von Arbeitsanforderungen im Mittelpunkt der Betrachtungen. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass sein Agieren und Reagieren nur einen, wenn auch wesentlichen Teil zum betrachteten „Dynamikensemble" beiträgt. Er kann nur im „Einklang" sowohl mit Funktionen der Betriebsmittel (hier seinem Flugzeug) als auch mit den äußeren Bedingungen seiner un- und mittelbaren Umgebung zielgerecht im Arbeitsprozess tätig werden. Diese Konstellation besitzt typische Attribute eines Arbeitssystems.

Arbeitssysteme sind generell sowohl aus künstlichen als auch aus natürlichen Elementen bzw. Komponenten aufgebaut. Als Subsysteme können ihnen zu ihrer Erforschung jeweils „eigene Zuständigkeitsbereiche" fachspezifischer Wissenschaftsdisziplinen zugeordnet werden. Sie bedürfen jedoch einer Integration, um Probleme dynamischer und komplexer Verschränkungen nicht in reduktionistischen oder voneinander getrennten Teillösungen münden zu lassen. Denn sowohl die Mischform des inneren Aufbaus als auch die Vielschichtigkeiten

---

[1] Im Sinne der Dynamik von Ereignisabläufen bzw. dem Verhalten von Gegebenem oder sich Entwickelndem mit der Vorzugsrichtung ins Futur, also unter Berücksichtigung der Zeitlichkeit, welche die Irreversibilität der Veränderungen kennzeichnet - vom Status des Seins in den des Werdens [4]

[2] Ungeachtet hiervon finden sich allerdings in den aufgezeigten Domänen für den Flugbetrieb auch viele direkt verwertbare Erkenntnisse, wie z. B. die erfolgreiche Etablierung von *Crew -Resource – Management* - und *Multi - Crew - Konzepten* zeigt.

und Vielfältigkeit von Problemsituationen, die mit ihrem Betrieb in Zusammenhang stehen (besonders unter hohem Gefährdungspotential) erfordern sowohl für die Analyse als auch für die Interpretation eine interdisziplinär ausgerichtete Herangehensweise. Dies gilt ebenso für die wissenschaftliche Behandlung von Fragestellungen hinsichtlich der Dynamiken der Systemelemente untereinander (inneren Relationen), deren Wirkungsweise zur Systemumgebung (äußeren Relationen) wie auch von Modalitäten aus der Kombination beider Ebenen. Der Flugbetrieb ist also als Synthese aus der Dynamik all dieser einzelnen Wirkungsbeziehungen zu betrachten.

Für eine systematische Untersuchung müssen neben der genauen Bestimmung des Untersuchungsgegenstandes (im übergeordneten Sinn hier das Arbeitssystem) auch dessen Systemgrenzen in Abhängigkeit des nachgefragten Kontextes (hier Flugsicherheit) definiert sein. So sieht der Autor einen wesentlichen Grund für die Präsenz defizitärer Grundlagen zur Gestaltung von Cockpitarbeit in der allgemeinen Unkenntnis, wie Beanspruchungsgrenzen soziotechnischer Systeme zu verorten seien. Die operationellen Beschränkungen von Arbeitssystemen (im Zeitbezug) ergeben sich einerseits aus eindeutig festgelegten Betriebsgrenzen technischer Artefakte und resultieren andererseits aus der „Plastizität" menschlicher Zuverlässigkeit. Letztere bestimmt die aktuellen Grenzen menschlichen Leistungsvermögens. Dieses ist weder in der Rückschau eindeutig identifizierbar noch aufgrund der sich ständig verändernden Situationsumstände auf die Zukunft übertragbar. Notwendig ist es daher die Suche nach einer Möglichkeit zu verstärken, den Übergang von akzeptablem zu nicht mehr tolerablem menschlichem Regulationsvermögen im Arbeitsprozess erkennen und anzeigen zu können. Das Detektieren dieses Übergangs stellt im vorliegenden Beitrag das erstrangige Forschungsobjekt dar.

Die hier zu Grunde liegende Idee bei der Untersuchung zentraler Problemstellungen aus dem Wirksamkeitsgeflecht von Einflüssen auf das menschliche Regulationsvermögen besteht darin, arbeitswissenschaftliche Methoden durch Aspekte aus dem Paradigma der Selbstorganisation zu ergänzen. Wie schon erwähnt, setzt der strategische Ansatz zur Bearbeitung des Arbeitsthemas aufgrund des hohen Komplexitätsgrades, der sich einerseits aus der (mehrschichtigen) Verschiedenheit flugbetrieblicher Merkmale und andererseits aus dem Facettenreichtum des menschlichen Daseins und Verhaltens ergibt, einen Perspektivenwechsel voraus. Es wird davon ausgegangen, dass dieser höhere Erfolgsaussichten als herkömmliche Betrachtungsweisen garantiert, weil er weitestgehend die Optimierungstendenz natürlicher Strukturen und Dynamiken aufgreift.

Der Kern der theoretischen Untersuchungen richtet sich somit generell auf die Veränderlichkeit adaptiver Wirkungsgefüge mit rekursivem Charakter. Damit werden Offenheit, Komplexität und Emergenz[3] sowohl als systemspezifische Merkmale und Fähigkeiten aufgefasst als auch als Notwendigkeit zur Beschreibung multipler Charakteristika dynamischer Systemexistenzen verstanden. Dabei folgt der hier gewählte prozessorientierte Ansatz hauptsächlich Argumentationspfaden, die den unterschiedlichen Relationen in der Problemstruktur Rechnung tragen. Im Wesentlichen bedient er sich der kybernetischen Vernetzung systemtheoretischer Bausteine, die vorwiegend in nichtlinearer Wechselwirkung zu ihrer Umgebung ste-

[3] Zum Begriff Emergenz eines selbstorganisierten Systems: Formal auffassbar als eine deutliche Reduktion an Freiheitsgraden des Systems. Phänomenologisch reflektiert sich Emergenz in der Spontanität eines Systems aus sich heraus neue bzw. andere Strukturen / Regime bilden zu können [5].

hen, sich durch den Zeitfluss konstituieren und damit Irreversibilität generieren. In Analogie zur Nichtgleichgewichts-Thermodynamik bzw. zu Aspekten aus der Biophysik erhalten dabei Entropie-Betrachtungen eine besondere Relevanz.

Aus pragmatischen Erwägungen erscheint es vorerst sinnvoll eine Eingrenzung vorzunehmen und den Menschen (mit seinen begrenzten Ressourcen) zunächst nur als einzelne Arbeitsperson in den Mittelpunkt der theoretischen Analyse zu rücken. Die Erweiterung auf die gesamte Cockpitbesatzung bedürfte dann später u. a. einer sozialpsychologischen Vernetzung.

Wäre das Vorhaben erfolgreich und damit die Modalität der situativen Veränderlichkeit von menschlichen Beanspruchungsgrenzen weitestgehend prognostisierbar, wird es langfristig für möglich erachtet, Arbeitsgestaltungsmaßnahmen auf der Grundlage eines gemeinsamen Belastungs-Beanspruchungsniveaus besser auslegen zu können. - So besteht die Erwartung u. a. darin, den Begriff der Fehlerakzeptanz in der Definition *Menschliche Zuverlässigkeit*[4] zu präzisieren: Das bedeutet, dass sich mit einem entsprechend entwickeltem Modell faszinierende Alternativen zur Interpretation und Beurteilung von Belastungs-Beanspruchungs-Relationen bzw. -Konstellationen ergäben. Damit würde letztlich auch eine klarere Deutung der Verhaltensweisen von Arbeitspersonen in komplexen Arbeitsstrukturen möglich.

Der Charme von solchen Verhaltensinterpretationen kann vornehmlich in der Aussicht gesehen werden, in der Zukunft besser geeignete Gesamtkonzeptionen entwickeln zu können, welche die menschengerechte Optimierung von Arbeit als ein wesentliches Sicherheitskriterium zum Schutz von Verkehrssystemen genauer und stärker als bisher mit in die Gestaltung von Flugbetrieb und Cockpitarbeit einbindet. Hierunter ist im Wesentlichen die Einführung fortschrittlicher Entwürfe bzw. Organisationsformen von Betriebsabläufen und deren Inhalte zu verstehen. An dieser Stelle lässt sich vorab anmerken, dass aus heutiger Sicht die Einführung solcher Neuerungen in nunmehr global ausgerichteten Verkehrsstrukturen und technischen Entwicklungsfeldern unumgänglich zu sein scheint, um dem gesellschaftlichen Mobilitätsbedarf auch zukünftig (bei gleichzeitig zu etablierender Schädigungsfreiheit und Durchführbarkeit) gerecht werden zu können. Die jüngst in einem DFG- Projekt gewonnenen soziologischen Erkenntnisse zur Arbeit im Luftverkehr (Diskussion in Kapitel 2) flankieren diese Einschätzung.

---

[4] Definition *Menschliche Zuverlässigkeit* nach *BARTSCH* [6]:

„Die Befähigung des Menschen im Arbeitssystem, eine geeignete Qualifikation und entsprechende physische und psychische Leistungsvoraussetzungen in einen bestimmten Arbeitsprozess einzubringen und wirksam werden zu lassen. Damit soll dazu beigetragen werden, dass eine vorgegebene Aufgabestellung unter spezifischen Bedingungen und in einem vorgegebenen Zeitraum ausgeführt werden kann, wobei technische, wirtschaftliche, humanitäre und ökologische Kriterien sowie ein Fehlerakzeptanzbereich beachtet werden."

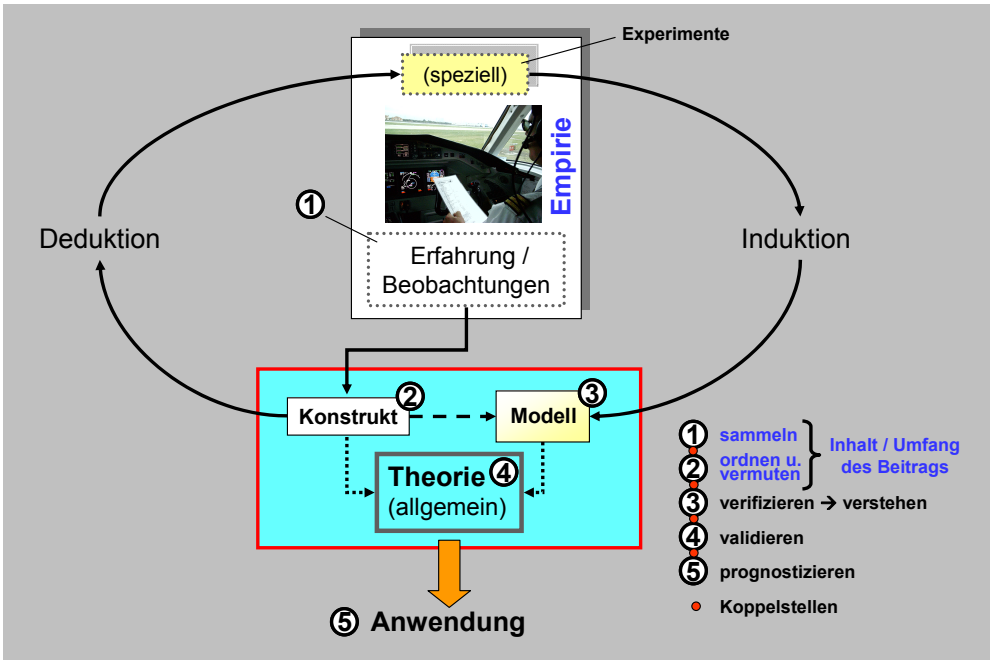


Abb. 1.1: **Zur Vorgehensweise bei der angestrebten wissenschaftlichen Theoriebildung**

Das hier verfolgte Vorgehen im Forschungsprozess wird anhand eines grafisch aufbereiteten „klassischen“ wissenschaftstheoretischen Wegs zur Theoriebildung verdeutlicht. Abbildung 1.1 zeigt fünf wesentliche Phasen des Ablaufs: Der allgemein empirischen Stufe (1), in der sich die Problemsituation als ein noch diffuses Gebilde bestimmt bzw. dem Untersuchenden bewusst wird, schließt sich die Suche nach einem Ordnungsprinzip an (2). Dieses soll in der Lage sein, die aus der Praxis gewonnenen Erkenntnisse sowohl in Relation zueinander setzen zu können als auch daraus über Hypothesenbildungen entsprechend erste theoretische Annahmen über vermutete Gesetzmäßigkeiten zur Urteilsfindung über „das Problematische“ zu erschließen. Dieses Konstrukt, als hypothetischer Vorentwurf der angestrebten wissenschaftlichen Theoriebildung, bedarf zunächst der Verifikation über geeignete experimentelle Untersuchungen. Aus den Einzelergebnissen der empirischen Nachweisführung entwickelt sich im bestätigendem Fall, also der Praxisbewährung, ein entsprechendes Modell (3), welches über eine erfolgreich verlaufende Validierung (4) letztlich die Eignung erhält, als wissenschaftlich fundierte Theorie zur Prognose (5) von noch nicht gemachten Beobachtungen herangezogen werden zu können. In der vorliegenden wissenschaftlichen Fragestellung hieße das, die Grenzen des vornehmlich mentalen menschlichen Leistungsvermögens (individualisiert) im Arbeitsprozess zum Schutz von Leib und Leben weitestgehend voraussagen zu können.

Die vorliegende Arbeit umfasst die in Abbildung 1.1 dargestellten Phasen (1) und (2). Der notwendige praktische Teil der Nachweisführung wird aus Gründen einer limitierten Forschungskapazität nicht zum Inhalt dieses Beitrags erklärt. Die Methodik dazu und die notwendigen konzeptualen Schritte werden jedoch soweit ausgearbeitet, dass Koppelstellen für eine weitergehende wissenschaftliche Behandlung definiert sind.

Im Einzelnen gliedert sich der Beitrag wie folgt: Im zweiten Kapitel werden die verschachtelten Konstellationen zur Etablierung von Flugbetrieb und die Stellung von Piloten als Protagonisten bei der Durchführung von Lufttransport und ihr Beitrag zur Entstehung von Betriebssicherheit beleuchtet. Diese theoretische Analyse wird von der eigenen Flugbetriebserfahrung des Autors geleitet. Dabei werden Aussagen und Ableitungen mit Hilfe veröffentlichter Fachbeiträge weitestgehend untermauert und damit zu objektivieren versucht. Im Gegensatz zu heute üblichen probabilistischen Zustandsbetrachtungen wird auf dieser Grundlage eine neue prozessorientierte Perspektive auf die Schaffung von Sicherheit durch Cockpitarbeit aufgezeigt. Die Modalität von Cockpitarbeit erschließt sich dabei als Organisationsform über die Wirksamkeit von Arbeit zur Ausbildung makroskopischer Ordnungsstrukturen bzw. *geordneter Veränderlichkeiten* unter technischen, organisatorischen und personenbezogenen Voraussetzungen. Im Gegensatz dazu wird die Genese potentieller Chaosgebilde als *Nichtseinsollendes*[5] bzw. Unsicherheit verstanden, die es als Komplementäraufgabe der Arbeitsperson über „das Einschränken von Freiheitsgraden des Arbeitssystems“ zu vermeiden bzw. zu beseitigen gilt. Das dazu notwendige aktivierte makroskopische Regulationsvermögen des Subsystems *Mensch* ist die Folge von dessen internalen aufwandsbelegten mikroskopischen Regulieren über Regsamkeit und Selbstregulation.

Der Autor widmet sich in Kapitel drei, vier und fünf unter Ansatz mikroskopischer und makroskopischer Betrachtungsebenen der Erstellung eines theoretischen Konstrukts zur Erkennung von Grenzen des menschlichen Regulationsvermögens. Dies erfolgt auf der Basis einer Belastungs- Beanspruchungskonzeption mittels wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse aus dem Paradigma der Selbstorganisation dissipativer Systeme. Die Modellierung wird mit Hilfe des hauptsächlich in der Populationsökolgie Anwendung findenden „mathematischen Handwerkzeugs“ erstellt. Es wird gezeigt, dass die Darstellung mentaler Leistungsbeschränkungen von Arbeitspersonen über mathematische Beschreibungsprinzipien theoretisch durch kategoriale Unterschiede extrahierter mikroskopischer Prozess- bzw. Kontrollgrößen quantitativ möglich ist. Dieser arbeitswissenschaftlich determinierte Ansatz ist exemplarisch auf Piloten gerichtet. Es ist aber generell auch denkbar, diesen später auf Arbeitspersonen in anderen Tätigkeitsbereichen zu übertragen.

Das beschriebene Vorhaben stellt im Wesentlichen einen „übertragenen Modellansatz aus der Thermodynamik“ dar. Diese wissenschaftliche Fachdisziplin wurde deshalb als Ausgangsbasis gewählt, da sie grundlegende und in der Praxis bewerte Konzepte zum Umgang mit „irreversiblen Prozessen“ bereithält. Die Wurzeln des Ansatzes bilden hypothetische Annahmen, die sich ihrerseits aus Plausibilitätsbetrachtungen berufsspezifischer Empirie ableiten. Es wird also, wie gesagt, vorerst ein noch zu verifizierendes theoretischen Konstrukts entwickelt.

Die Bildung der theoretischen Konstruktion erfolgt in drei Stufen: Zunächst wird im dritten Kapitel ein gedankliches Anschauungsgebilde erarbeitet, dass eine schematisierte Darstel-

[5] Entsprechend des negativ belegten Begriffs kann Chaos als lebensweltliche Größe von bedrohlicher und destruktiver Macht, als *Nichtseinsollendes*, verstanden werden, dessen Vorstellung ängstliche Reaktionen auslöst. Als verursachende Elemente des entsprechenden Affekts stehen exemplarisch u. a. Orientierungslosigkeit, Bestimmungslosigkeit / Unbestimmtheit, Haltlosigkeit und Diffusion von Grenzen, welche die Möglichkeit des Erhalts von Weltbezug berauben [7].

lung wesentlicher mikroskopischer Verlaufsstrukturen der Interiorisation[6] eröffnet, indem eine Verknüpfung zu arbeitspsychologischen Erkenntnissen herstellt wird.

Kapitel 4 umfasst die Herleitung mathematischer Beschreibungen zur Charakteristik internaler Regulationsprozesse und identifiziert die Entropieproduktionsgeschwindigkeit bei der Bewältigung von Anforderungen als wesentliche mikroskopische Prozessdeterminante der vorbereitenden Handlungsausführung.

Im fünften Kapitel wird mathematisch die Option einer kategorialen Modalitätsdifferenzierung der Handlungsausführung präsentiert, die aktuell Rückschlüsse auf die in Abschnitt 5.1 näher diskutierte Begriffsbelegung „Daseinsform“ der Arbeitsperson als „in Ordnung“ oder als „im Chaos“ erlaubt.

Das sechste Kapitel dient vornehmlich der Vorbereitung empirischer Nachweisverfahren zur Konstruktverifizierung. Darin wird sowohl eine geeignete Forschungsmethodik entwickelt als auch eine Auswahl experimenteller Nachweismethoden vorgestellt. Die dazu favorisierten Experimente lehnen sich stark an Vorgehensweisen aus der Flugversuchstechnik in simulierter Realität an, um später das theoretische Konstrukt über den verifizierten Modellstatus hinaus zu einem wirkungsvollen Analyseinstrument weiterentwickeln zu können. Durch dessen Einsatz wären dann multiple Belastungs- Beanspruchungsrelationen im Tätigkeitskontext von Piloten besser zu beurteilen.

Im Kapitel 7 werden wesentliche Erkenntnisse zusammengeführt, Ableitungen zu Gestaltungsoptionen flugbetrieblicher Grundkonstellationen organisatorischer Art präsentiert und Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise im Forschungsprozess ausgesprochen.

[6] Mikroskopischer Prozess des Transfers (vornehmlich Verinnerlichung) der vom Menschen aufgenommenen vormals äußeren Realität in internale multiple Verarbeitungskonstellationen, die der Vorbereitung entsprechender Konsequenzen dienen. Angabe einer weiter reichenden Definition siehe Kapitel 3.5.1

Kapitel 2

Zum Wandel der Arbeitsbedingungen von Cockpitbesatzungen

Kitty Hawk, September 23, 1900

"…The man who wishes to keep at the problem long enough to really learn anything positively must not take dangerous risks. Carelessness and overconfidence are usually more dangerous than deliberately accepted risks. …"

Dieser Auszug aus einem Brief von *WILBUR WRIGHT* an seinen Vater, Bishop *MILTON WRIGHT* [8], drückt eine wesentliche Einstellung im Umgang mit Komplexität in einer sicherheitsrelevanten Umgebung aus. Diese Aussage besitzt noch heute eine hohe Aktualität. Sie ist eine unerlässliche Grundlage für die Verhaltensausrichtung im Betrieb von Luftfahrzeugen eingebundener Personen, um ein möglichst hohes Maß an Betriebssicherheit zu erzielen.

Im Fokus von Transportprozessen des kommerziellen Luftverkehrs steht der Mensch als regulierende und Verantwortung tragende „Instanz". Als Arbeitsperson ist er ein wesentlicher Garant für den schädigungslosen Ablauf von Produktionsprozessen. Als Mitglied von Cockpitbesatzungen trägt er, wissend um seine Fehlbarkeit, nicht nur Sorge für die Unversehrtheit der ihm anvertrauten Passagiere und Sachwerte, sondern zunehmend auch für das eigene Vermögen, die Disposition seines Inventars an Leistungsvoraussetzungen situationsgerecht einsetzen zu können. Dieser latenten Bürde muss eine hohe Relevanz zugemessen werden im Kontext einer sich scheinbar immer stärker wandelnden Ausrichtung der Gesellschaft hin zu ökonomisch orientierten Zielstellungen und den daraus abgeleiteten Maßnahmen zur Arbeitsgestaltung. Dabei wird die Frage nach der Richtigkeit dieser Orientierung nicht zum eigentlichen Gegenstand des vorliegenden Beitrags erklärt.

Vor dem Hintergrund historisch gewachsener Organisationsstrukturen des kommerziellen Luftverkehrs, wird sich im zweiten Kapitel dem Tätigkeitsbereich von Piloten genähert und eine Subjekt-orientierte wissenschaftliche Problemstellung fixiert. Diese richtet sich auf einen integrativ auszubildenden theoretischen Ansatz zur Erschließung einer reproduzierbaren Indikationsart von Grenzen vornehmlich mentalen menschlichen Leistungsvermögens und stützt sich auf etablierte Konzepte aus der Arbeitswissenschaft.

2.1 Darstellung des Argumentationspfades zur Problemindizierung

Zur Darlegung der Problemstellung wird ein systemorientierter Ansatz gewählt. Dieser ermöglicht es zunächst, die Vielfalt der Rahmenbedingungen und Voraussetzungen zur Genese des Lufttransports durch Verkehrsflugzeuge aufzuzeigen und zu strukturieren. Letzterer nährt sich aus einem steigenden Mobilitätsbedürfnis der Gesellschaft. Dessen Befriedigung unterliegt einschränkenden, kontrollierenden und aktivierenden Gegebenheiten sowie Prozessen und Intentionen, welche sich wiederum im Wirkungsgefüge von Interessenlagen verschiedener sozialer Gruppen positionieren und in den Abschnitten 2.2 bis 2.4 beleuchtet werden.

Die subjektorientierten Betrachtungen im Abschnitt 2.5 fokussieren die Tätigkeit von Cockpitbesatzungen im Flugbetrieb. Dabei wird die Art ihres Wirkens anhand der an sie übertragenen Aufgaben dargestellt und die daraus induzierten zentralen Arbeitsanforderungen aufgeschlüsselt.

Zur weiteren Eingrenzung der Fragestellung nähert sich Abschnitt 2.6 einem prozessorientierten Verständnis des Begriffs Sicherheit und erschließt dabei eine situative Sichtweise zu Ereignisverläufen operationeller Gegebenheiten bzw. Umstände. Dass Arbeitspersonen in Cockpits von Verkehrsflugzeugen in der Lage sind „Obhut“ (im Sinne einer Fürsorgeverpflichtung) walten zu lassen, kristallisiert sich dabei als eine unabdingbare Erwartung von Nutzern des Transportträgers heraus. Somit tritt die Modalität der Situationsregulation, die letztlich den Schutz des Arbeitssystems vor Schädigung darstellen soll, in den Fokus der Betrachtungen.

Vor dem Hintergrund der aufgefächerten Komplexität voran beschriebener Konstellationen erschließt sich dann in Abschnitt 2.7 eine zu den Einzelaspekten korrespondierende Perspektive auf die Tätigkeit von Piloten im Spannungsfeld von ökonomischer Wirksamkeit, ergonomischer Arbeitsgestaltung und geschuldeter Betriebssicherheit letztlich unter den erstrebenswerten Aspekten wie z. B. Arbeitszufriedenheit, -Schädigungslosigkeit , -Erträglichkeit und Persönlichkeitsförderlichkeit. Dabei wird stufenweise die Thematik eingegrenzt und eine wesentliche Grundproblemstellung herausgearbeitet.

Zur Ausbildung des Forschungsprozesses wird eine Lösungsmethodik vorgeschlagen, deren Kern zunächst die Modellierung eines theoretischen Konstrukts zur Zielrealisierung vorsieht. Die entsprechende Einzelschrittfolge richtet sich an einem theoretischen Aussagesystem aus, das als Arbeitshypothese vorgestellt wird.

2.2 Zur Etablierung des kommerziellen Luftverkehrs durch Fluggesellschaften

Ausgehend von marktorientierten Wirtschaftsstrukturen unseres Gesellschaftssystems soll die Gesamtheit einzelner erwerbsorientierter Lufttransportabläufe und die peripheren Notwendigkeiten zu ihrer Etablierung als kommerzieller Luftverkehr bezeichnet werden. Dieser ist in einem hohen Maße komplex und geografisch schwer abgrenzbar. Seine Struktur wird gebildet aus dem Wirkungsgefüge einzelner betriebswirtschaftlicher Unternehmensaktivitäten der Luftfahrtbranche mit ihren vielfältigen Industriezweigen und Dienstleistungsgewerben. Diese sind eingefasst in Rahmenbedingungen der mit exekutivem Mandat ausgestatteten Institutionen und Organisationen, wie z. B. der Flugsicherung. Die Betriebsmodalitäten des Luftverkehrs stützen sich weitgehend auf Grundlagen international abgeglichener legislativer Rahmensetzungen und Verfahren (siehe ICAO-Annexes), die mit nationalen Rechtssystemen harmonisiert und auf sie übertragen werden.

Die Ausprägung des Luftverkehrs ist in einem hohen Maße an konjunkturelle Fließzustände, sich entwickelnde Märkte und weltwirtschaftliche Phänomene sowie an gesellschaftspolitische Strömungen und Ereignisse gekoppelt. Vornehmlich hemmend wirken sich i. d. R. kriegerische Auseinandersetzungen, terroristische Akte und Epidemien aus. Abbildung 2.1 zeigt chronologisch die Entwicklung des Luftverkehrsaufkommens im Luftraum der Bundesrepublik Deutschland innerhalb der letzten 20 Jahre.

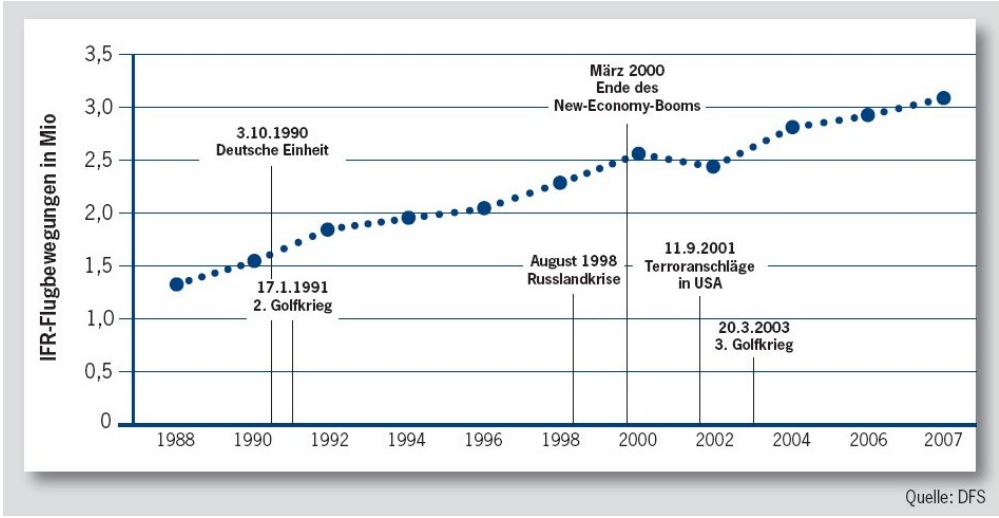


Abb. 2.1: **Luftverkehrsentwicklung im 20-Jahres-Vergleich innerhalb des deutschen Luftraums [9]**

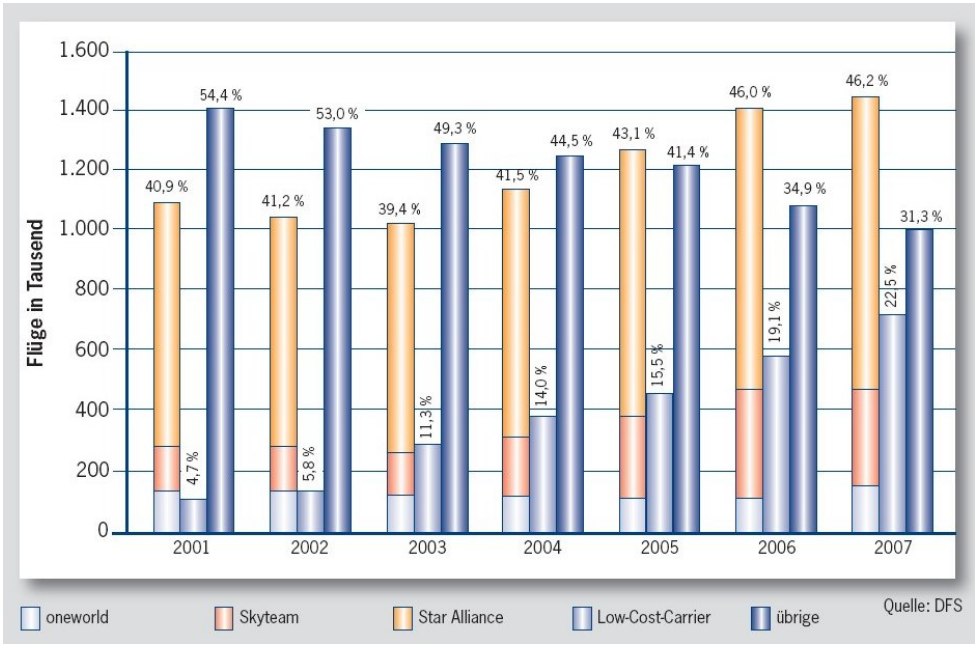


Abb. 2.2: **Allianzen und Low-Cost-Carrier Entwicklung 2001-2007 [9]**

Im Laufe der letzten zwei Dekaden konnten in Europa erhebliche Expansionsraten für den Transport von Personen und Gütern per Flugzeug verzeichnet werden. Diese Entwicklung wurde politisch durch Deregularisierungsanstrengungen in den 1980er Jahren eingeleitet, die zu einer zunehmenden ökonomisch-strukturellen Entgrenzung des Luftverkehrs führten [10].

Im Wesentlichen wurde dies hervorgerufen durch branchenspezifische Liberalisierungstendenzen bei der Gestaltung von Produktionselementen (hier primär die Luftverkehrsgesellschaften) in den geltenden Wirtschaftssystemen[7].

Auch in Deutschland hatte dies zur Folge, dass sich so genannte *Low-Cost* bzw. *Budgetairlines* auf einem Absatzmarktgebiet etablieren konnten, der vormals hauptsächlich alteingesessenen Staatsfluglinien vorbehalten war. Einen Eindruck von der Absatzmarktpräsenz dieser Anbieter gibt Abbildung 2.2. Mit zum Teil erheblich niedrigeren Ticketangeboten für intendierte Transportleistungen als bisher üblich, neigen sie eher zur Strategie der Auflösung der Markttransparenz. Ehemalige Staatsfluglinien (Flag- oder Majorcarrier) wurden am Anfang der 1990er Jahre einem Privatisierungsprozess unterzogen und in börsennotierte Publikumsgesellschaften überführt. Entwickelt zu großen Kapitalgesellschaften, versuchen sie sich nun vermehrt der wachsenden Intensität des Wettbewerbs zu entziehen, in dem sie Allianzen und Fusionen mit kleineren Unternehmen bilden (z. B. die Etablierung von *Star Alliance* u. *Lufthansa Regional*). Neben dem flexiblen Angebot eines nahezu weltweiten Streckennetzes ihrer Konzerne und deren Partnerunternehmen bauen sie hauptsächlich auf eine ausgeprägte Präferenzbildung bei den Nachfragern, um ihre Produkte und sich selbst vom Konkurrenzangebot abzuheben (siehe auch [12]). Beobachtungen der Praxis bestätigen auch heute noch die Existenz des Vereinigungsstrebens bei Konzernen einerseits und das Unabhängigkeitsstreben bei Familiengesellschaften andererseits, welche sich allerdings zunehmend in Nischensegmente der Absatzmärkte zurückziehen (z. B. *Ostfriesische Lufttransport GmbH*), um im begrenzten geographischen Einsatzgebiet von ihrem Standort aus den Homogenitätsbestrebungen eines vollkommenen Marktes zu unterlaufen.

Um eine authentische Übersicht zur aktuellen Lage des kommerziellen Luftverkehrs in Deutschland (Stand 2008) zu erhalten, wird auf [13] verwiesen.

2.3 Systemorientierter Ansatz

Die Fokussierung auf den arbeitenden Menschen im Cockpit von Verkehrsflugzeugen soll konzeptionell über einen systemorientierten Ansatz mit weitestgehend holistischem Charakter erfolgen. Damit sollen relevante Teile des Interaktionsgefüges von sich stetig komplexer entwickelnden Umfeld- und Umweltbereichen mit ihren Merkmalen und aufgabenspezifischen Facetten herausgehoben und strukturiert werden.

[7] Der Begriff *Wirtschaftssystem* wird hier als institutionelle Organisation der Vereinigungsmenge von Handlungsabläufen durch Wirtschaftssubjekte verstanden, die das Wirtschaften (ihrer Mitglieder) einer *empirisch eingegrenzten Gemeinschaft* beschreibt. [11]

2.3.1 Der Lebensraum als heterogenes Umgebungssystem

Zunächst gilt es ein Gesamtsystem zu beschreiben, das geeignet ist, im Kontext der Erfüllung von Transportaufgaben mit Flugzeugen seine verschiedenen Systemmerkmale als Einflüsse auf flugbetriebliche Vorgänge sichtbar zu machen und Verknüpfungen zu erkennen. Die Mehrdimensionalität der Systemsubstanz soll gesehen werden in vernetzten Evolutionslinien fachspezifischer Errungenschaften, in den Pfaden der Handlungsabläufe seiner heterogenen Kollektive und deren Perspektiven in unterschiedlichen Zeithorizonten. Seine Dynamik ist sozialen, kulturellen, geistigen, natürlichen wie auch künstlichen Ursprungs. Seine Verhaltensmuster sind z. T. ideologisch durchzogen und beruhen auf Einstellungen, Werten und Normen mit daraus abgeleiteten Regeln bzw. Dogmen. Die Ausprägungen entsprechen-

Art der Systemmerkmale *Lebensraum*	Kriterien
ökologisch	Biodiversität Verstädterung Bodendegradierung Umweltbelastungen
sozio- kulturell	gesellschaftliches, kulturelles, religiöses Verhalten soziale Mobilität Orientierungen auf soziale Gruppen
politisch	Regimeart / -strukturen Menschenrechte / Freiheitsgrade Stabilität politischer Institutionen Patronage
ökonomisch	Wertschöpfungsprozessfolgen •Wohlstand / Armut •Vermögensverteilung •Verschuldung •Arbeitslosigkeit •Infrastruktur •Marktstrukturen / - verhalten
demographisch	Bevölkerungsstruktur Bevölkerungsdynamik Migrationsausprägungen
gesundheitlich	Hygiene Zugang / Qualität d. medizinischen Versorgung Epidemien / Pandemien Ernährung / Trinkwasserqualität
technisch-wissenschaftlich	(technische) Errungenschaften und deren Einsatz wiss. Erkenntnisfelder Wissens- / Bildungsniveau
Bedürfnisse	Zieleorientierung: •Existenz •Grundversorgung •Luxus

Tab. 2.1: **Einteilung wesentlicher Merkmal des selbstreferenziellen hybriden Systems *Lebensraum***

der Freiheitsgrade diktieren seine Wesenszüge und Zeitstile. Der Lebensraum ist ein selbstreferenzielles hybrides aktives System, das sich über kybernetische Prozesse fortwährend neu konstituiert, formiert und definiert. Seine interagierenden Elemente sind somit offen zu ihrer Umgebung und nur unter Auflösung eines strengen Dualismus im Kontext der Systemexistenz begreifbar. Letztere lässt sich durch Merkmale beschreiben, von denen einige wesentliche in Tabelle 2.1 aufgeführt sind.

Das Hybridsystem generiert über seine Zielanordnungen Bedürfnisse. Dabei können aus Kollektivbedürfnissen Individualbedürfnisse abgeleitet werden, wobei letztere im Sinne von Persönlichkeitseigenschaften Motive darstellen und rückgekoppelt wiederum Systemkollektive beeinflussen. Bedürfnisse führen zu Verteilungen von Aufgaben und Anforderungen an Subsysteme bzw. Systemkomponenten, womit meist eine spezifische Mandatsübertragung verbunden ist.

2.3.2 Das Flugarbeitssystem als befugte Ausführungseinheit für Luftverkehr

Im vorliegenden Kontext werden Aufgaben zur Befriedigung des gesellschaftlichen Mobilitätsbedürfnisses u. a. den Einrichtungen und Organen zur Bereitstellung von Luftverkehr übertragen. Dabei müssen dessen Gestaltungsformen verträglich sein mit Komplementärbedürfnissen von Elementen des Lebensraums, die u. a. auch höhere Prioritäten besitzen können, wie z. B. das existentielle Verlangen von Individuen nach Unversehrtheit. So sind aufgrund der hohen Energiekonzentrationen bzw. deren Änderungen die Durchführung von kommerziellem Lufttransport und die damit verbundenen Prozesse gesetzlich stark reglementiert und sowohl Qualitätsanforderungen als auch Kontrollauflagen an Produktionsvoraussetzungen hoch angesetzt.

Nach [14] stellt sich der Luftverkehr in einem soziotechnischen Kontext als ein „…wenig Fehler-verzeihender Bereich…“ zur Erfüllung von Arbeitsaufgaben dar. Er interagiert über Koppelstellen mit seiner Umgebung und kann somit aufgabenorientiert als *dezentralisiert offen* betrachtet werden. Eine weiter gefasste Offenheit muss angesetzt werden, um Lebensraumeinflüsse auf den Luftverkehr erkennen zu können. Für die Art und die Zusammenstellung seiner Elemente und deren Relationen untereinander bzw. der dynamischen Formation seiner Struktur führt *BARTSCH* in [14] den Begriff *Flugarbeitssystem* ein - in Anlehnung an *ROHMERT* [15]. Die Systemhauptelemente bestehen aus Boden- sowie Flugzeugbordseitigen Arbeitspersonen und technischen Artefakten. Das Flugarbeitssystem ist durch seine Hauptaufgabe gekennzeichnet in Wechselwirkungen mit dem Lebensraum Transportleistungen[8] zu generieren und bereit zu stellen. Das Resultat sind *durchgeführte Lufttransporte*. Diese Dienstleistung wird von der Systemumgebung, aus einer ökonomischen Perspektive heraus, als Produktnutzen wahrgenommen. Dabei können dem Endprodukt wiederum Merkmale zugeordnet werden, die sich u. a. an Gebrauchsfähigkeits- bzw. Qualitätskriterien wie z. B. Sicherheit, Pünktlichkeit, Komfort und Zuverlässigkeit orientieren.

[8] im Sinne von technischer Transportleistung, unter der man im Flugzeugbau das Produkt aus dem Gewicht des Transportguts (payload) und der Reisegeschwindigkeit des Flugzeugs versteht

2.3.3 Das Transportträger-Arbeitssystem

Aus dem Flugarbeitssystem kann wiederum eine soziotechnische Konstellation herausgehoben werden. Sie umfasst die dynamische Basiseinheit zur Bewältigung des angeforderten Verbindungsprozesses von (räumlich getrennten) geographischen Orten in einem festgelegten Zeitraum. Diese Basiseinheit ist hier das Flugzeug mit seiner Besatzung. Es wird als *Transportträger-Arbeitssystem* [16] bezeichnet. In Abgrenzung zum *Flugarbeitssystem* obliegt dem *Transportträger-Arbeitssystem* physikalisch der Vollzug des Arbeitsauftrages.

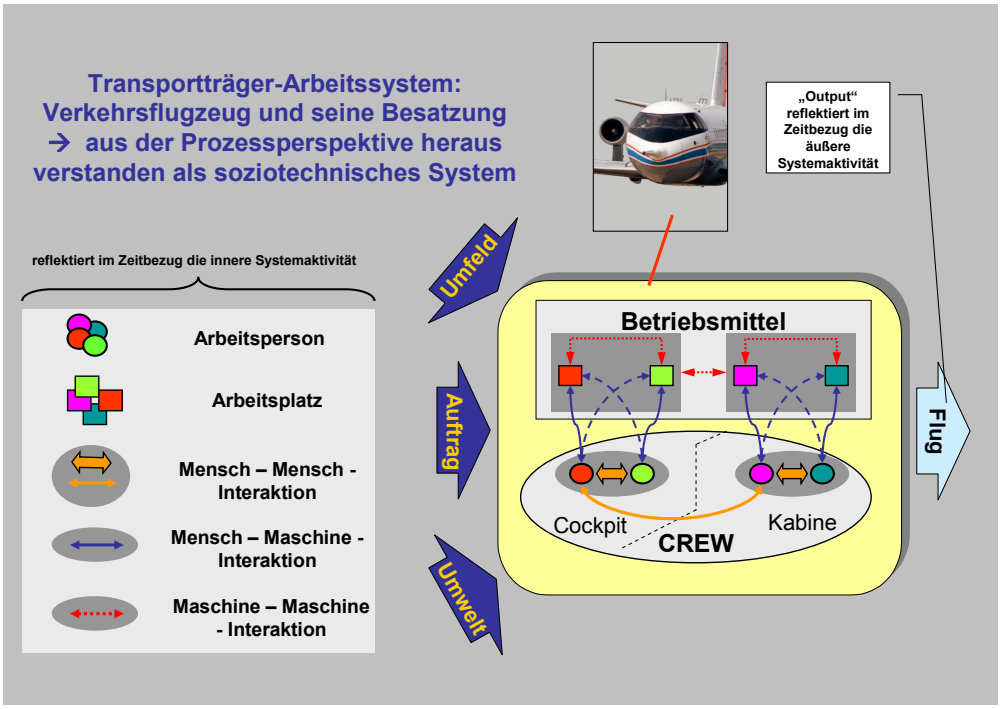


Abb. 2.3: **Konzeption des Transportträger-Arbeitssystems am Beispiel eines Verkehrsflugzeugs**

Das *Transportträger-Arbeitssystem* zeichnet sich aus durch das Vorhandensein einer primären Zentrale der Willensbildung im Arbeitsprozess in Form der Cockpitbesatzung. Ein weiteres Merkmal des Subsystems ist seine relative Offenheit zu seiner Umgebung, womit es auch von außen beeinflussbar wird. Als ein im weitesten Sinne natürliches Gebilde folgt es den wissenschaftlich bekannten Naturbeschreibungen (in deren Gültigkeitsbereichen). Es bildet ein Netzwerk von Interaktionen mit und innerhalb seiner Elemente sowie gleichzeitig mit seiner Peripherie [17]. Der generelle Aufbau eines heute in der Verkehrsluftfahrt üblich eingesetzten *Transportträger-Arbeitssystems* ist schematisch in Abbildung 2.3 gezeigt. Für andere Nischenbereiche der kommerziellen Luftfahrt, wie z. B. den Betrieb mit Hubschraubern im Rettungsdienst oder im Küstenflugbetrieb unter Sichtflugbedingungen, kann sich in

Abhängigkeit der Kategorie eingesetzter Luftfahrzeugmuster[9] die Anzahl der Besatzungsmitglieder auf einen Piloten reduzieren. Für diese Betriebsarten wird auch in luftrechtlicher Hinsicht ein Entfernen vom in der kommerziellen Luftfahrt normalerweise üblichen Redundanzprinzip billigend in Kauf genommen.

Die Hauptelemente eines *Transportträger-Arbeitssystems* ist / sind die Arbeitsperson/en und das Betriebsmittel Flugzeug, die für sich wiederum als Subsysteme betrachtet werden sollen.

2.3.4 Der Mensch als ein Hauptelement des Transportträger-Arbeitssystems

Der Mensch als Arbeitsperson ist ein natürliches hochkomplexes Lebewesen, dessen Dasein[10] sich durch Nichtlinearität, vielseitige Fähigkeiten / Stärken [21] und Subjektivität [22] aber auch Fehlbarkeit ausweist. Dabei soll Dasein in einer tätigkeitsrelevanten Orientierung neben der körperlichen Existenz hauptsächlich als das Vorhandensein geistiger Erkenntnis- bzw. Strukturbilder verstanden werden, deren jeweilige Art, Form und Dynamik sich zustands- und befindlichkeitsprägend auf das zu seiner Umgebung relativ offene Subsystem auswirkt (siehe auch Abschnitt 2.7.5). Als ein denkendes Wesen handelt der Mensch zur Erfüllung angemessener[11] Aufgabenstellungen selbst- und vernunftbestimmt nach individuellen Zuordnungen von Bestimmungs-, Beziehungs- und Bewertungsfunktionen. Damit kann *TOMASZEWKI*s handlungstheoretischem Ansatz gefolgt werden, der den Menschen als Subjekt sieht, dass „…aktiv am praktischen und kulturellen Leben teilnimmt, bewusst entsprechende Aufgaben in Angriff nimmt und sie zusammen mit anderen eigenständig und schöpferisch realisiert…“ [24]. Allerdings kann sich in Anlehnung an *ULICH* diese Fähigkeit jedoch nur dann im Arbeitsprozess entwickeln und entfalten, wenn sie durch eine menschengerechte Arbeitsgestaltung – ausgehend von einem hierzu passenden Menschenbild - entsprechend protegiert wird [25]. Der Mensch arbeitet planend und zielgerichtet[12] [26] in Anwendung eines eingeübten Vorrats an Bewältigungsstrategien. Dieses Repertoire stellt ein Merkmal seiner individuellen Anlagen dar. Dabei unterwirft er sein Handeln einem ständigen Abgleich mit seinem Anspruchsniveau und den an ihn gestellten Anforderungen. Er ist u. a. fähig, Situationsabläufen Relevanzstrukturen über Wichtigkeits- und Dringlichkeitsabwägungen zuzuordnen. Dies erfolgt durch die Inanspruchnahme von individuellen multiplen Gedächtnisrepräsentationen [27], die sich im Laufe seines tätigen Lebens, vornehmlich durch spezifische Erfahrungen, gebildet und verfestigt haben und somit eine wesentliche Komponente seiner Handlungskompetenz darstellen. Über deren Ausrichtung und Ausprägung sorgen Entscheidungsprozesse für das Generieren von Handlungs- bzw. Verhaltenskonsequenzen[13]. Aufgrund seines Facettenreichtums ist menschliches Verhalten lediglich ansatzweise und dann auch nur fraktal durch hochdimensionale, komplexe Kausalgewebe

---

[9] Entsprechen der Musterzulassung gemäß §§ CS XX.1523 / .1525 Bauvorschriften „*Minimum Flight Crew*“ [18]

[10] im Sinne *HEIDEGGERs* kennzeichnet Dasein das Vermögen des Menschen „…ein Verständnis von sich, seinem und allem anderen Sein zu haben…“ (Erschlossenheit des Seins) [19]; [20]

[11] im Sinne von Passung hinsichtlich seiner dispositionellen Leistungsvoraussetzungen [23]

[12] Dabei stellt die Zielgerichtetheit seines operationell- und zukunftsausgerichteten Wirkens einen wesentlichen Aspekt dar, der ihn von einer unbelebten Apparatur unterscheidet.

[13] Letztere wurden bisher im Wesentlichen auf einer phänomenologischen Ebene erforscht.

beschreibbar [28]. Mit den beschriebenen Charakteristika sind nach *GEROK* [29] Voraussetzungen gegeben, dass ein System trotz der Kenntnis der Ausgangsbedingungen nicht mehr uneingeschränkt prognostizierbar ist. Prozesse, die unter den oben aufgeführten Systemaktivitäten ablaufen, erfordern komplexe Nichtgleichgewichts- und Organisationsstrukturen natürlichen Charakters.

Um der Vielfältigkeit der menschlichen Daseinsform mit seinem Leistungsvermögen im Arbeitsprozess auch in der sprachlichen Abbildung gerecht zu werden, wird sich der heute üblichen arbeitswissenschaftlichen Positionierung [30] angeschlossen. Diese orientiert sich an einer von *TOMASZEWSKI* [24a] geprägten sowie von *HACKER* [27a] und *VOLPERT* [31] arbeitspsychologisch untermauerten Begriffsbildung, die den Menschen etikettiert als *ein autonomes Subjekt, das zur Regulierung der eigenen Beziehung mit der Umwelt und zur Selbstregulation fähig ist*. Von dieser Operationalisierung eines Menschenbilds wird im Folgenden weiter ausgegangen.

2.3.5 Das Flugzeug als Betriebsmittel

Ein weiteres Hauptelement des Transportträger- Arbeitssystems ist das Betriebsmittel, hier also das Flugzeug. Als eine Kategorie von Luftfahrzeugen ist es ein technisches Produkt und hat somit einen artifiziellen Charakter. Es ist weitgehend durch Linearität geprägt [28] und erfüllt Aufgaben in funktionaler Weise. Das Verhalten des Subsystems ist generell durch Kausalketten beschreib- und vorhersagbar. Die Außenkontur seiner Zelle kann als Systemgrenze betrachtet werden. Der innere Aufbau des Transportträgers besteht wiederum aus integrierten Einzelkomponenten, die seine Funktionalität bestimmen. Die relative Offenheit zu seiner Umgebung wird über technische Koppelstellen ermöglicht, wie z. B. Sender-Empfängerkonstellationen installierter Avioniksysteme, Ventile der Druck- und Klimaanlage und des Flugantriebssystems. Der generelle Entwurf des Flugzeugs ist geprägt durch seinen spezifischen Einsatzzweck und resultiert aus mehrdimensionalen Optimierungsprozessen von Ausprägungen unterschiedlicher Spezifikationsparameter. Letztere werden wiederum durch Auslegungskriterien bestimmt. So müssen z. B. Anforderungen des Auftraggebers, wie Reichweite, Transportkapazität, Geschwindigkeit etc. mit legislativen Rahmenbedingungen, wie Lufttüchtigkeitsforderungen und Flugbetriebsregelungen, abgeglichen werden. – Siehe auch Anmerkungen A2.1 im Anhang.

Vom Anbeginn eines ökonomisch relevanten kommerziellen Luftverkehrs in den 1920er Jahren bis heute hat sich die Drachenkonfiguration von Transportflugzeugen bewährt. Deren technische Evolution wurde zunächst geprägt durch Erkenntnisse aus der noch jungen Strömungsforschung im Zusammenspiel mit den Erfahrungen aus dem Strukturleichbau und den Entwicklungen neuer Werkstoffe und effizienter Flugantriebe. Mit dem Einsatz von Turboluftstrahltriebwerken und den mehrschichtigen Gestaltungskonsequenzen aus der Hochgeschwindigkeitsaerodynamik erhielten Ende der 1950er Jahre die Verkehrsflugzeuge ihre noch heute übliche Grundform. Auf der Basis neuer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse wird diese ständig verbessert und auf Einsatzanforderungen abgestimmt.

Abb. 2.4: **Cockpitansicht Airbus A 380 – Foto: Airbus**

Eine bedeutende Epochenwende wurde durch die Digitaltechnik mit ihrer konsequenten Umsetzung durch die Mikroelektronik eingeleitet. Ihr Einzug in den Flugzeugbau steigerte erheblich die Systemeffizienz der Transportträger. Mit ihr wurde ein enormer Automatisierungsschub in weiten Bereichen der Luftfahrttechnik generiert, der aber auch neue vielschichtige Fragestellungen zum Umgang mit Komplexität aufwarf. Alte Konzepte der direkten Zuordnung von Systemfunktionen zu technischen Bedieneinrichtungen und Komponenten (bzw. vice versa), sichtbar besonders im Cockpit der Flugzeuge, wurden von modernen Layouts, wie in Abbildung 2.4 am Beispiel des Flugzeugmusters A380 dargestellt, hoch integrierter Flugführungs-, Dialog- und Assistenzsysteme abgelöst. Mit der technischen Entwicklungslinie der Flugzeugentwürfe expandierten auch die legislativen Forderungen und damit der Umfang von zu führenden Nachweisen über deren sicheren Betrieb in Form von Bauvorschriften. Wesentliche Merkmale einer heute üblichen Flugzeugprojektierung sind vereinfacht in Tabelle 2.2 aufgeführt.

Gegenstandsbereich	charakterische Merkmale des Entwicklungsprozesses	Primäre Auslegungskriterien	Gestaltungskonzepte
Gesamtentwurf	• optimierte Konfigurationen • Flight-Enveloppen	• Bedarfsentwicklung • Nutzlast-Reichweite • erf. Start- u. Landestrecke • DOC • ökologische Verträglichkeit	• aufgabenspezifisch
Flugleistungen	• Flugzeugpolaren • Schubcharakteristiken • Flgz. als Massepunkt • stationäre Flugzustände	Trajektorienvorgaben in Abhängigkeit der Flugphasen	• operationell determiniert • flugantriebsspezifisch • aerodynamisch
Baugruppen mit deren Untergruppen: **–Tragwerk** **–Rumpfwerk** **–Leitwerk** **–Fahrwerk**	• Belastungsanalysen • Strukturauslegung (konstr.) • Beanspruchungsanalysen • Verformungsanalysen • stat. / dyn. Strukturversuche	Versagenskriterien hinsichtl.: • Strukturfestigkeit • Struktursteifigkeit • Strukturstabilität	• Fail Safe • Safe Live
Systeme / Ausrüstung und deren Installation	Ausfalleffektanalysen: • induktiv über FMEA und FMES • deduktiv über FTA / DD / MA	• i. d. R. funktionsspezifisch • Fehlertoleranz • Ausfallwahrscheinlichkeiten	• über probabilistische Bewertungsansätze zur Ermittlung von Zuverlässigkeitskennzahlen (Zeit-Zuverl.-korrelation von Auftrittwahrscheinlichkeiten zu Schadensausmaß) • Umsetzung des Redundanzprinzips
Fliegbarkeit	Flugstabilitätsanalysen • Längsbewegung • Seitenbewegung Steuerbarkeit um alle Achsen	• Flugeigenschaftskriterien in Form von Beiwerten und Derivativen • Cooper-Haper-Ratings	• konstruktive Formgebung der Flugzeugzelle primär unter aerodynamischen Aspekten • Massenverteilung
Handhabung **• Flug** **•Boden**	• „Minimum Flight Crew"-Festlegung • MMI-Analysen Cockpit / Kabine • AFM → SOPs • Serviceability der Bodenversorgung	• Benutzbarkeit • Gebrauchstauglichkeit DIN EN ISO 9241 Teil 10 / 11 • Nutzerfreundlichkeit	• ergonomisch / anthropotechnisch determiniert • MMS- Validierung über Zielsysteme • Publikationen / Kennzeichnung

Tab. 2.2: **Vereinfachte Darstellung wesentlicher Merkmale einer heutigen Flugzeugprojektierung**

2.4 Zur Genese des Produkts Lufttransport

In einem aufgabenorientierten Kontext steht die Luftfahrtgesellschaft als Wirtschaftsunternehmen im flugbetrieblichen Fokus des kommerziellen Lufttransports. Sie stellt ein notwendiges, *Arbeit gebendes* Hauptelement des jeweiligen Flugarbeitssystems dar und verknüpft dieses in mehrdimensionaler Hinsicht mit ihrem Lebensraum. Das Luftfahrtunternehmen schafft materielle, personelle und organisatorische Voraussetzungen zur Durchführung von Lufttransporten. Sie betreibt Flugzeuge, stellt deren Besatzungen und das Bodenpersonal bereit und übernimmt die Sorgfaltspflicht über den schädigungslosen Verlauf seiner angebotenen Transportprozesse (Luftfrachtführer). Der dabei ökonomisch aufgespannte Hintergrund muss wesentlich in Sicherheitsdiskussionen zum Flugverkehr mit einbezogen werden.

2.4.1 Wirtschaftsaktivitäten der Luftfahrtgesellschaft in ihrer Umgebung - Ein Diskurs

Aus der Sicht einer handlungsorientierten Betriebswirtschaftslehre muss sich ein Produktionsunternehmen zum Zweck der eigenen Existenzsicherung im Wirkungsgefüge eines Wirt-

schaftssystems mit den in der zugehörigen Wirtschaftsordnung[14] zugrunde gelegten Normen[15] behaupten. Dies erfolgt generell durch den Abgleich seiner mikroökonomischen Aktivitäten und Organisationsstrukturen mit *Märkten*. Diese werden aus dem Bestreben nach individueller Bedürfnisbefriedigung heraus kreiert. Märkte sind Erscheinungen von Gesellschaftssystemen und daher auch verhaltenspsychologisch determiniert.

Nach *SCHNEIDER* stellt im bildlichen Sinne *der Markt* die Bühne wirtschaftlichen Handelns dar und steht als Synonym für Marktstrukturen, -regeln und geordnete Prozesse. Er bildet die Vereinigungsmenge von Einzelmärkten unterschiedlichen Typs mit vielfältigen Formen, Dynamiken und Verhaltensmerkmalen, welche einzelne Wirtschaftseinheiten miteinander verbinden. Die Einzelmärkte bilden aus ihren Eigenschaften heraus wesentliche Einflussgrößen, die in komplexen Wirkungsbeziehungen mit Unternehmens- bzw. Betriebsfunktionen stehen.

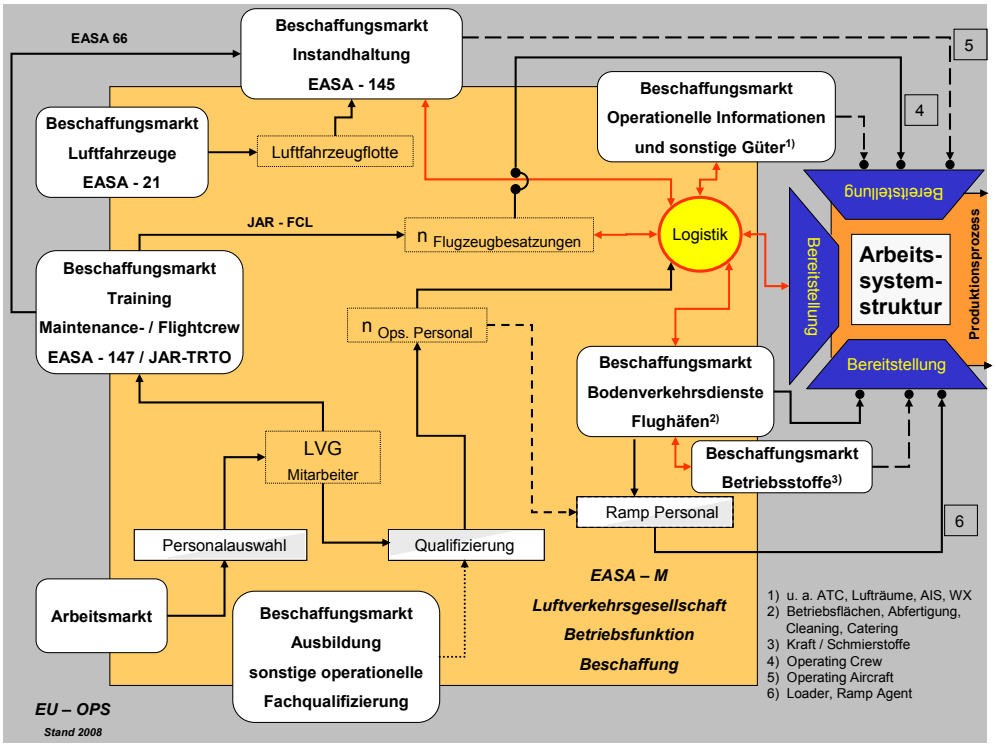


Abb. 2.5: **Verknüpfung der Fluggesellschaft mit Einzelmärkten zur Beschaffung von Einsatzmitteln**

Diese wiederum werden hier als mehrpolige Koppelstellen zwischen äußeren (makroökonomischen) und inneren (mikroökonomischen) sowie zwischen internen mikroökonomischen

[14] *Wirtschaftsordnung* als „… eine Gesamtheit von Regeln, die im Hinblick auf Einkommensaspekte menschlicher Handlungen Chaos, Anarchie oder gar ein Krieg eines jeden gegen jeden verhindert" [36]

[15] bzw. als zugrunde gelegte Werturteile über den Inhalt einer Wirtschaftsordnung

Handlungssystemkomponenten (strategische Felder) verstanden. Prozesse stellen auftragsspezifisch das Verbindungsnetz zwischen diesen Koppelstellen zur Übertragung von Realgüter-, Nominalgüter- und Informationsströmen her. Im sachzielorientierten Fokus eines mikroökonomischen Handlungssystems steht die Fertigungswirtschaft. Sie ist einerseits über die Beschaffung von Einsatzmitteln an den *Beschaffungsmarkt* und andererseits über den Absatz bzw. das Marketing an den *Absatzmarkt* gekoppelt. Die Anbindung an die *Finanzmärkte* erfolgt über die Unternehmensfunktion Finanzierung und Investition. Für grundlegende Anmerkungen zur dafür üblicherweise notwendig werdenden Kapitalbeschaffung sei auf den Vermerk A2.2 im Anhang verwiesen. Die Personalwirtschaft stellt die Verknüpfung zum Arbeitsmarkt (als eine Ausprägung des Beschaffungsmarkts) dar. Relevante Einsatzmittel für eine Erzeugung von *Lufttransport* werden zusammen mit deren Einzelmärkten vereinfacht in Abbildung 2.5 gezeigt. Im Fokus des Betriebsfunktionsnetzwerks steht dabei die Einsatz- und Nachschubplanung sowie die für Flugdurchführungen notwendige Bereitstellung von Produktions- bzw. Versorgungsmitteln.

Eine wesentliche Verknüpfung stellt die Relation der Unternehmung zu den Absatzmärkten [16]dar. Dabei handelt es sich um ein zu seiner Umgebung offenes wirtschaftliches Handlungssystem zum Verkauf von Produkten. In Abhängigkeit unternehmerischer Zielsetzungen erfolgen Veräußerungen von Erzeugnissen durch einen entsprechenden wettbewerbshemmenden Maßnahmeneinsatz, der sich ergibt aus einer Mischung der jeweils gewählten Art von Produkt-, Preis-, Kommunikations- und Distributionspolitik. Dabei besitzt in der Luftfahrtbranche besonders das jeweilige Ansehen von Fluggesellschaften einen gewichtigen Einfluss auf Absatzmärkte.

2.4.2 Die Flugdurchführung als Produktionsprozess nachgefragter Dienstleistung

Die Luftfahrtgesellschaft stellt das zur Betriebsfunktion *Fertigung* äquivalente Fundament für die Schaffung von Dienstleistungen in der Form von Transportleistungen dar. Jeder einzelne Produktionsvorgang bildet aus betriebswirtschaftlicher Sicht den Kern des Wertschöpfungsprozesses des Unternehmens (Eigennutz) und spannt dessen Kompetenzrahmen auf. Dabei wird er als irreversibler Vollzug von Tätigkeiten zum Zweck der Erzeugung des immateriellen Guts *Lufttransport* (Sachziel) verstanden, der durch eine gezielte Kombination hervorgeht aus der Transformation von beschafften, bereitgestellten und vereinten Produktionsfaktoren[17]. Von den Nutzern (Passagieren bzw. Logistikunternehmungen) des Transportangebotes, also aus der Perspektive des Lebensraums, wird die Flugdurchführung direkt u. a. als emotional erlebbare Bedürfnisbefriedigung in Echtzeit erfahren, welche unter einem operationell determinierten Bedrohungspotential erfolgt.

---

[16] Nach *DIEDERICH* wird der Absatzmarkt eines Wirtschaftsunternehmens beschrieben „ ... durch die Art und Menge der potentiellen Abnehmer einer bestimmten Leistung sowie der tatsächlichen und potentiellen Mitanbieter dieser Art von Leistung und durch die Beziehung zwischen diesen Abnehmern und Mitanbietern“ [38].

[17] Hier wird eine Beschreibungsform in Anlehnung an *GUTENBERG*s technologischen Ansatzes vom „System der produktiven Faktoren“ [39] gewählt, da dessen Transparenz später die Möglichkeit einer übersichtlichen Diskussion zu spezifischen Produktivitätsbeziehungen gestattet.

Die Organisation zur Durchführung der Flüge obliegt der Betriebsfunktion *Flugbetrieb*. Der Strukturaufbau des Flugbetriebs ist europaweit nach dem Regelwerk *JAR-OPS1* bzw. in den USA nach *FAR Part 121 bzw. 131* entsprechend legislativ festgelegt. In der vorliegenden Betrachtung besteht eine Besonderheit darin, dass die „Leistung“ (also der *Lufttransport*) komplementär zu ihrer eigenen Genese ist. Die zeitliche Abfolge ihrer „Herstellung“ gliedert sich in drei Hauptetappen: Die Bereitstellung spezifischer Voraussetzungen zur zielgerichteten Flugdurchführung mit der Flugabfertigung, der eigentliche Transportflug sowie die Bodenaktivitäten nach seiner Beendigung. Dabei sollte die Flugdurchführung nur dann beginnen, wenn die Qualitätsansprüche, wie z. B. die Lufttüchtigkeit des Flugzeugs, an die Einsatzmittel erfüllt und Voraussetzungen gegeben sind, die zur Schaffung sicherer Arbeitsbedingungen gemäß des *TOP*- Ansatzes [40] notwendig sind.

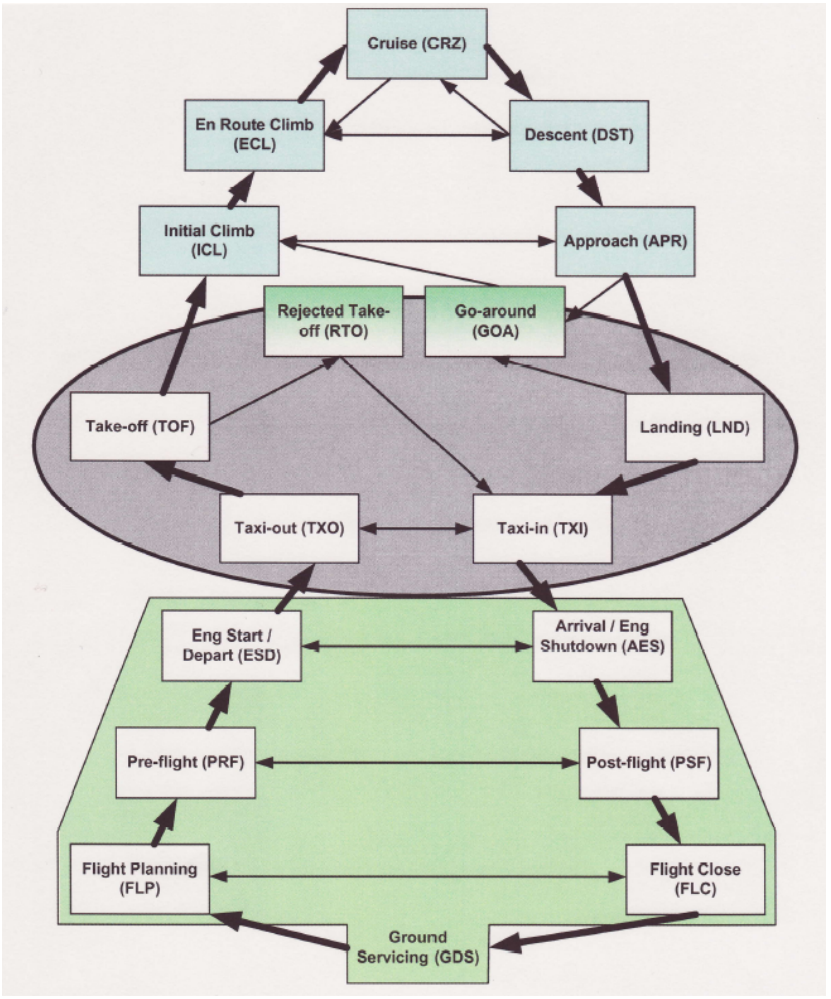


Abb. 2.6: **Einteilung der Flugphasen gemäß [41]**

Wie in Abbildung 2.6 gezeigt, lässt sich der Gesamtprozess einer Flugdurchführung sequentiell in Flugphasen (Phases of Flight / *POF*) einteilen [41]. Dabei sind die Flugphasen und die Art ihres Wechsels abhängig von den funktionalen Merkmalen des zurückliegenden bzw. des folgenden Abschnitts. Jede Phase enthält unterschiedliche Aufgabenschwerpunkte, die spezifisch bedeutungsvolle Elemente von *Cockpitarbeit* implizieren. Für weitere Erläuterungen siehe Anmerkung A2.3 im Anhang.

2.5 Cockpitarbeit

In Anlehnung an [40a] und [42] soll im vorliegenden Kontext unter dem Begriff *Cockpitarbeit* verstanden werden: das interaktive Tätigsein einer Einzelperson mit / in sozialen Gruppen sowie technischen Mitteln vorwiegend im Leitstand (Cockpit) eines Flugzeuges und dessen unmittelbarer Umgebung zum Zweck seines Betriebs unter wertschöpfenden sowie lebensgestaltenden Zielen und Ergebnissen.

2.5.1 Zum gewerblichen Einsatz von Flugzeugführern

Cockpitarbeit wird heutzutage i. d. R. nur noch von Flugzeugführern, hauptsächlich in beengten Arbeitsräumen [43] und in festgesetzten Körperhaltungen ausgeführt. Gewerblich eingesetzte Piloten verfügen über eine Grundausbildung und qualifizieren sich mit spezifischer Flugzeugmusterausrichtung für den aktuellen Flugbetrieb. Dabei unterliegen die Lern- und Trainingsinhalte der Verkehrspilotenausbildung einem, allerdings zeitverzögerten, Abgleich mit technischen Neuerungen im Flugzeugbau und operationellen Entwicklungen im Luftverkehr [44]. Behördlich angeordnete Weiterbildungsmaßnahmen sollen den Piloten Vorausset-

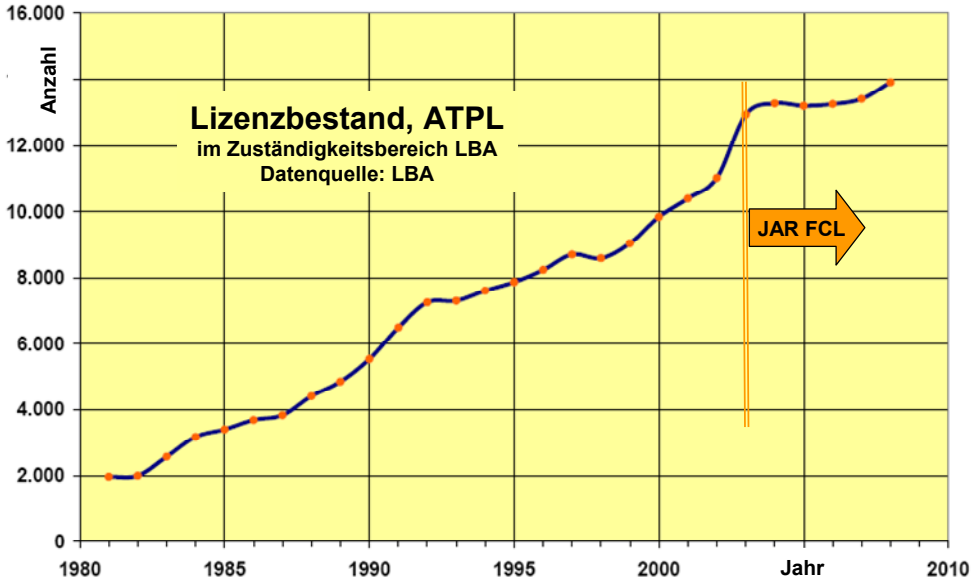


Abb. 2.7: **Lizenzbestand Verkehrsflugzeugführer in Deutschland. Quelle: Luftfahrt-Bundesamt 2008**

zungen geben, um sich den z. T. schnell verändernden Arbeitsanforderungen an den Flugbetrieb stellen zu können.

Flugzeugführer dürfen ihre berufliche Tätigkeiten nur innerhalb eines entsprechenden gültigen staatlichen Lizenzierungsrahmens ausführen (Stand 2008: JAR-FCL), der sie für den Einsatz im gewerbsmäßigen Luftverkehr berechtigt. Dabei ist die Gültigkeit der Erlaubnisse an ein System periodisch erfolgreich absolvierter Überprüfungen gebunden, die auch flugmedizinische Kontrolluntersuchungen auf Flugtauglichkeit umfassen. Abbildung 2.7 zeigt den zeitlichen Verlauf der Anzahl in der Bundesrepublik Deutschland ausgestellter Lizenzen für den Betrieb von Verkehrsflugzeugen, die mit einer Cockpitbesatzungsstärke von zwei Piloten operierten. Im Jahr 2008 beträgt dabei der relative Anteil an Flugzeugführerinnen 4,8%.

Wie bei kaum einer anderen beruflichen Tätigkeit werden kommerziell eingesetzte Piloten neben ihrem Arbeitsauftrag direkt versehen mit einem individualethisch motivierten Schutzmandat durch / aus dem Gesellschaftsbereich des Lebensraums. Dieses ist legislativ determiniert und regelt vorrangig die Verantwortlichkeit der Besatzungen (und hier letztendlich des Kapitäns) für den Schutz der Nutzer bzw. des Transportguts, wie auch der Akteure in Transportprozessen vor Schäden, welche aus prozessinhärenten oder durch die Umgebung induzierten Gefahren stammen können. Der Vollständigkeit halber sei auch auf die Einhaltung ökonomischer, ökologischer und komfortrelevanter Pflichten der Besatzung hingewiesen. Diese Kriterien unterliegen jedoch nicht so stark und unmittelbar der behördlichen Aufsicht wie die Flugsicherheitsaspekte. Auf den gesellschaftlichen Bezug der Berufsgruppe wird in Anmerkung A2.4 näher eingegangen.

Das Erscheinungsbild des Verkehrsflugzeugführers veränderte sich stark im Spiegel von gesellschaftlichen und technischen Entwicklungen. Vom Beginn der Kommerzialisierung des Luftverkehrs in den 1920er Jahren an avancierten die (teilweise in Heldenepen verewigten) Protagonisten des frühen Luftposttransports zu Respektspersonen, die, zumindest als Kapitäne mit weit reichenden Entscheidungsbefugnissen und Verfügungsgewalt ausgestattet, vorwiegend allein über Wohl und Wehe des Flugzeuges mit seiner Besatzung[18] und seinen Passagieren wachen. Mit der Einbeziehung wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse aus der Gruppenpsychologie begann sich der Phänotyp der Verkehrsflugzeugpiloten von Ende der 1970er Jahre an zu verändern. Es zeigte sich, dass die steigende technische und operationelle Komplexität von Transportträger- sowie Flugarbeitssystemen zusammen mit der allmählichen Reduktion von drei auf zwei Cockpitarbeitsplätze[19] auch veränderte Arbeitsweisen der Piloten erforderten. – Stringent hierarchische Führungsstrukturen[20] gehörten nun zunehmend der Vergangenheit an, da sie das Sicherheitsniveau in mit Risiko beaufschlagten Tätigkeitsbereichen negativ beeinflussen können. Somit schlüpfte der Kommandant zusehends in die Rolle eines *Teamplayers* mit ausgeprägter Handlungskompetenz, der seine Besatzung als soziale Gesamtheit in Entscheidungsfindungsprozesse mit einzubinden hat (siehe Einführung von Multi Crew Concept und Crew Recource Management). Allerdings entbindet ihn

[18] Neben dem Kapitän und dem 1. Offizier übernahm die gewünschte Ortung und Kursbestimmung ein Navigator, welcher die entsprechenden Informationen an die Piloten weiter gegeben hat. Die Kommunikation mit der Außenwelt besorgte ein Funkoffizier.

[19] …und einer damit einhergehenden Verringerung von Redundanz

[20] im Sinne von Kapitänsdirektiven auf Basis einsam gefällter Einzelentscheidungen

diese geforderte Praktik nicht von Rechenschaftsverpflichtungen. Als Kapitän trägt er nach wie vor allein die rechtliche Verantwortung für die schadensfreie Flugdurchführung.

Der Wandlungsprozess des Erscheinungsbildes der beruflichen Tätigkeit von Piloten, besonders über Qualifikationsbilder, ist in komplementärer Weise an Veränderungen im Umgebungssystem *Lebensraum* gekoppelt. Trotz der im Kern gleich bleibenden Arbeitsaufgabe des Überwindens räumlicher Distanzen, hat sich das Tätigkeitsspektrum von Cockpitbesatzungen, vor allem durch die rasant verlaufende Entwicklung in der Automatisierungstechnik, stark verändert:

Zunächst in einer offenen Kanzel (aus taktilen Gründen gewünscht) Wind und Wetter ausgesetzt, trat vornehmlich im Zeitraum von ca.1920 bis Mitte der 1930er Jahre das physiologisch anstrengende fliegerische Handwerk der Flugbahnsteuerung in den Vordergrund der Cockpitarbeit. Dabei verliehen noch unausgewogene Flugeigenschaften früher Flugzeugkonfigurationen zusammen mit den geringen Leistungsdaten der ersten serienreifen Flugantriebe sowie die noch marginale Infrastruktur des *allgemeinen Verkehrsflugwesens* dem Vollzug eines *Fluges nach Außensicht* ein Ambiente von „exklusivem Reiseabenteuer“. Die Arbeitsform enthielt einen höheren energetischen Anteil als heutzutage. Die Arbeitsart war vorwiegend mechanisch und motorisch geprägt durch die aufzubringenden, z. T. hohen Steuerkräfte. Der informatorische Anteil war hauptsächlich reaktiv und kombinativ. Die sensorische Arbeit zeichnete sich durch eine hohe taktile Komponente aus. Die signalisatorisch-motorische Arbeit gründete sich überwiegend auf operationelle Abbildungssysteme mit hohem bewegungsorientierten Anteil.

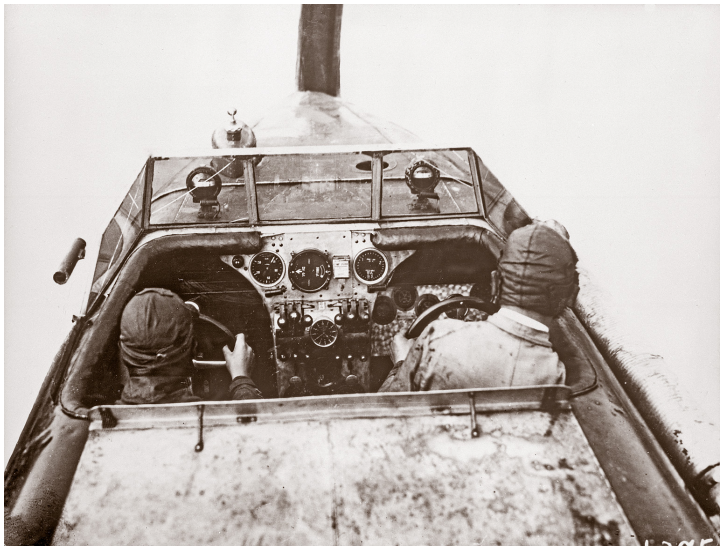


Abb. 2.8: **Zu den Arbeitsbedingungen in den Anfängen der Verkehrsfliegerei - Foto: Deutsches Museum**

Mit den technischen Erneuerungen der Kreiseltechnik und der Funkortung Mitte der 1930er Jahre veränderte sich die Tätigkeit (der damals ausschließlich männlichen Verkehrsflugzeugführer) in vielfältiger Weise. Die Flugbahnsteuerung bzw. -Regelung durch den Piloten erfor-

derte beim Flug nach Instrumenten, in weitgehender Unabhängigkeit von Außensicht, eine Anpassung zur Bewältigung der neuen Arbeitsanforderungen. Hier war besonders eine zusätzliche Ausrichtung des Leistungsvermögens hinsichtlich der Situationswahrnehmung und Raumorientierung durch artifizielle Sensoren und Informationsdarbietung über künstliche Anzeigen gefordert. Die Verarbeitung des semantischen Gehalts der einströmenden Eindrücke bedurfte veränderter „anzutrainierender" Methoden der Informationsumsetzung: Neue Inventare an spezifischen tätigkeitsleitenden Gedächtnisrepräsentationen mussten gebildet werden und damit verbunden individuell verschiedene Bewältigungsstrategien. Der informatorische Anteil der Arbeitsform erhöhte sich um eine ausgeprägte sensorische und diskriminatorische Komponente. Das taktile Entdecken und Wahrnehmen von Reizen war nun um die visuelle Aufnahme von künstlich erzeugten Darstellungen erweitert worden. Dies hat wiederum eine Erhöhung von Erkennungs- und Identifizierungsanteilen in der Cockpitarbeit nach sich gezogen.

Der signalisatorisch-motorische Anteil an Cockpitarbeit sank kontinuierlich mit der Einführung von zuverlässig funktionierenden Flugregleranlagen und deren konstruktiven Verfeinerungen mit neuen Reglerauslegungen und Stellantrieben ab den 1960er Jahren. Die Anteile an sensorischer, diskriminatorischer und kombinatorischer Arbeit nahmen seit der Etablierung der „*3. Jet-Generation*" in den 1980er Jahren, parallel zur rasanten Erhöhung des Automatisierungs- und Komplexitätsgrads von Systemfunktionen und Ausrüstungselementen, der Flugzeuge stetig zu. Dabei wurde deutlich, dass mit wachsender Technisierung die Dimensionen der einzelnen Arbeitstypen mit deren Verknüpfungen einer anderen Ausrichtung und Strukturierung bedurften. Im Zuge eines pragmatischen Umgangs mit Automatisierung (siehe hierzu auch [45]) bildeten sich Konzepte und Prozessschwerpunkte heraus, die informatorische Cockpitarbeitsformen veränderten. Dabei wurden auch vermehrt Facetten erkannt, die erfahrungsgeleitetes und damit subjektivierendes Arbeitshandeln indizieren bzw. erfordern [46]. Neben dem Training prozessualer Abläufe erfordert die Bildung dieses Arbeitsgespürs für den Umgang mit einem bisher unbekannten Flugzeugmuster von den Arbeitspersonen neben der jeweiligen Ausbildungsphase bestimmte Formen der Eigenadaption mit entsprechenden Lernvorgängen. Der Aufwand für den Aufbau eines neuen Inventars an Flugzeugtypen-bezogen operationellen Abbildungssystemen während der normalen Ausübung von Cockpitarbeit beträgt erfahrungsgemäß einen Zeitraum von ca. 500 Flugstunden. Während dieser Zeitspanne der „Eingewöhnung" ist insbesondere die Ausprägung von informatorischer Cockpitarbeit entsprechend höher anzusetzen als bei Muster-erfahrenen Arbeitspersonen (ansatzweise im Profil einer üblichen Übungskurve – siehe dazu [47]).

Zusätzlich zu den technikrelevanten Veränderungen bedarf es zum Abgleich mit der unmittelbaren und mittelbaren Arbeitsumgebung zunehmend einen koordinatorischen und sozial determinierten Typus von Cockpitarbeit. Dessen Ausprägung steigt mit dem Verflechtungsgrad und der Art der Wirkungsbeziehungen untereinander im Flugarbeitssystem und bezieht sich nicht allein auf die originäre Flugdurchführung. Einen kurzen Ausblick auf zu erwartende Wandlungen von Cockpitarbeit wird in Anmerkung A2.5 gegeben.

Das Nachgehen von Cockpitarbeit hinsichtlich zeitlicher Aspekte ist legislativ geregelt. Die z. Zt. geltenden Vorschriften, als *EU-OPS Sub-Part Q* bezeichnet [50], stellen ein auf Erfahrung basierendes Regelwerk dar, das sowohl die Arbeitszeitdauer in Relation zu Ruhephasen setzt als auch maximal zulässige Zeitgrenzwerte für dienstliche Flugtätigkeiten und damit verbundenen Aktivitäten vorgibt, wie z. B. Stationierungsvorgängen (siehe dazu auch

Anmerkung A2.6). Die Regelungen der Dienst- und Ruhezeiten für Besatzungsmitglieder stellen z. Zt. das wirksamste Werkzeug zur Gestaltung von Arbeitsbedingungen dar und können als Schutz vor gesundheitsschädlichen Arbeitseinflüssen gesehen werden und dienen der Sicherheit im Flugbetrieb. Fachspezifische Grundlagen hierfür werden überwiegend aus Erkenntnissen der Flugphysiologie abgeleitet (dazu u. a. [51]). Allerdings werden z. Zt. Diskussionen über den wissenschaftlichen Status von Entscheidungsaspekten zur Erstellung der oben genannten *EU-OPS* geführt. Diese Kontroverse zwischen Arbeitgebern und Pilotenverbänden ist deutlich ökonomisch motiviert [52] und spiegelt letztlich auch das Fehlen eines anerkannten Forschungskonzepts zur Bestimmung von Grenzen menschlichen Leistungsvermögens wieder.

2.5.2 Arbeitsanforderungen als Tätigkeitsansprüche im Kaleidoskop *Cockpitarbeit*

Das auftragsgebundene Ziel von Cockpitarbeit besteht in der Erfüllung von Transportaufgaben mit der Bewältigung von damit verbundenen Arbeitsanforderungen. Dabei soll in Anlehnung an DIN EN 9000 generell unter Anforderung verstanden werden: „…ein Erfordernis oder eine Erwartung, das oder die festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend ist…“ Anforderungen kennzeichnen demnach Cockpitarbeit, wobei weiter eingrenzend Arbeitsanforderungen die Wirksamkeitsrichtung von Geboten bzw. Ansprüchen eines Arbeitssystems bzw. einer Arbeitssituation an / auf die Arbeitsperson / -en herausheben. Prozess-

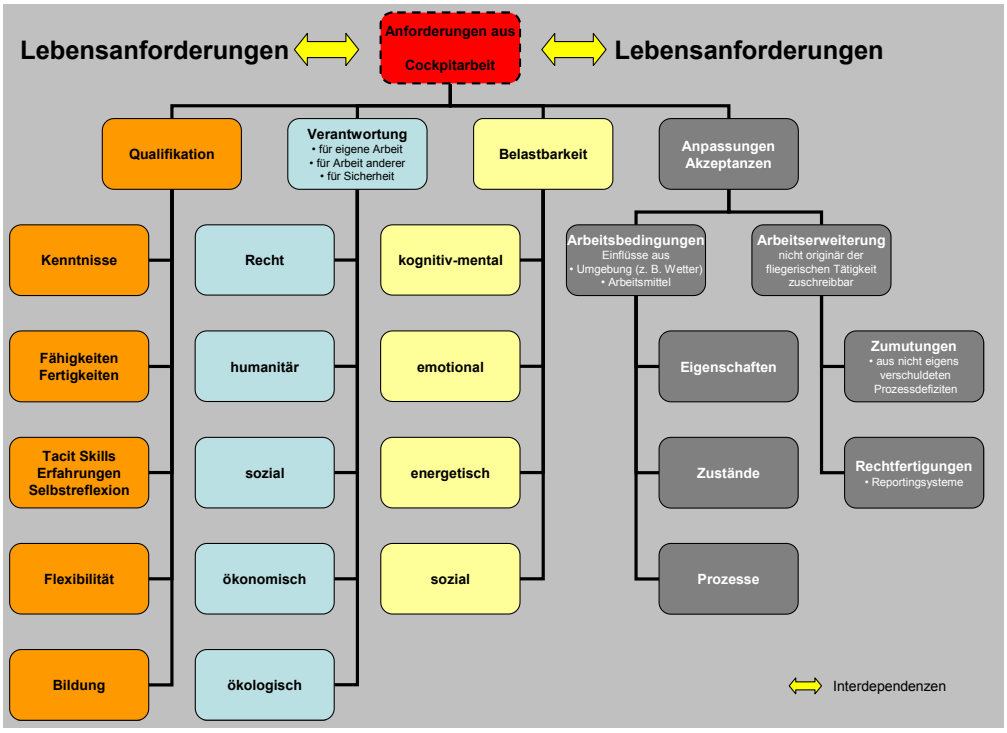


Abb. 2.9: **Differenzierte und erweiterte Aufstellung von Anforderungsarten aus Cockpitarbeit nach [1]**

bezogen sind ihre Erscheinungsformen an eine Typisierung von Arbeitsinhalten und Tätigkeiten des Menschen gebunden. Zusammenfassend sollen hier Arbeitsanforderungen verstanden werden als: Ansprüche an das (Leistungs-) Vermögen des arbeitenden Menschen zur Erfüllung gestellter Aufgaben unter vorherrschenden Umgebungsbedingungen. Wie in Abbildung 2.9 gezeigt, lassen sie sich tätigkeitsspezifisch, gemäß eines modifizierten *Genfer Schemas*, in Anforderungsarten differenzieren [1]. Eine weiter verfeinerte Aufstellung relevanter Anforderungen aus Cockpitarbeit ist Tabelle 3.3 zu entnehmen. Arbeitsanforderungen im Luftverkehr sind generell durch eine hohe Komplexität, vielschichtige Dynamik und durch einen starken Rückkoppelungscharakter gekennzeichnet.

Die Wirksamkeiten von Arbeitsanforderungen sind persönlichkeitseigen: Unter Einwirkungen der Arbeitswelt auf den Menschen verändern sich auch dessen Subjektivitätsstrukturen in Abhängigkeit seiner habituellen Eigenschaften und seiner Leistungsdisposition. Arbeitsanforderungen können sowohl persönlichkeitsförderlich als auch -widrig wirken.

Die Anforderungskonsequenzen sind jeweils im Kontext der individuellen Vita und des biologischen Lebensalters zu sehen [53]. Ebenso unterliegen die physischen, geistigen, moralischen und sozialen Merkmale / Eigenschaften der Arbeitspersonen Umgebungseinflüssen aus dem Lebensraum: „den Lebensanforderungen“. Letztere wirken latent in unterschiedlichen Zeithorizonten und Dimensionen. Sie beeinflussen mit ihrer Vielfältigkeit neben dem physischen Leistungsvermögen von Piloten auch deren unterschiedliche Leistungsbefähigungen und Leistungshaltungen und dementsprechend ihr Verhaltensspektrum [54], was sich sicherheitsrelevant auf den Arbeitsprozess auswirken kann [55]. Anmerkung A2.7 geht hierauf näher ein. Daraus wird abgeleitet, dass Arbeitsanforderungen stets im Existenzkontext des Lebensraums zu bewerten sind. Generell gilt, dass die Anforderungen, die an den Menschen gestellt werden, die Inanspruchnahme individueller Ressourcen bewirkt. Dieses Abrufen bzw. die Nutzung systemeigener Qualitäten veranlasst eine Substanzdegradierung des Subsystems Mensch, die sich im weitgehend reversiblen Fall eines Arbeits- / Erholungszyklus phänomenologisch äußert in Ermüdung / Arbeitsermüdung und im irreversiblen Fall ausdrückt in der Form von Alterung als innerer Zeitverlauf [59]. Diesen Effekten lastet eine hohe Sicherheitsrelevanz an. Auch positiv belegte Emotionen wie z. B. „Freude“ u. v. a. m. werden trotz ihrer z. T. kurzfristigen „motivierend bejahenden“ verschiebenden Wirkung auf das Leistungsvermögen hier letztlich als „Ressourcen nutzend“ eingestuft. Aus Arbeitsanforderungen erwachsen im Kontext gestellter Aufgaben Arbeitsbelastungen[21], die sich u. a. hinsichtlich ihrer Kenngrößen Typus, Relevanz, Ausrichtung sowie Ausprägung und Auftretenshäufigkeit im Arbeitsprozess strukturieren lassen (siehe Tabelle 3.2). Sie ermöglichen Zugänge zu Arbeitsplatzbewertungen, die als Grundlage für die Herausarbeitung von Belastungsprofilen dienen [60].

2.6 Sicherheit als Reflexionskontinuum schadfrei wirkender Cockpitarbeit

Ausgehend vom Fehlen einer allgemein gültigen und akzeptierten Definition des Begriffs *Sicherheit* [61] soll im folgenden Abschnitt ein grober Verständnisrahmen für den Umgang mit dem Ausdruck aufgespannt werden. Der Begriff *Sicherheit* verbindet sowohl normative

[21] nach EN ISO 10075 / DIN 33400 „…die Gesamtheit aller Einflüsse, die im Arbeitssystem auf den Menschen einwirken.“

als auch deskriptive Aspekte zur Sorgenfreiheit von Umständen mit deren zeitgerichteten Dynamik. Zum einen impliziert der Wortgebrauch Selbst- und Weltbezüge sozialer Existenzen, zum anderen die Akzeptanz einschränkender Notwendigkeiten zur Wahrung von Erhaltenswertem. Der Begriff *Sicherheit* ergibt sich aus Verknüpfungen raumzeitlicher Perspektiven auf Sachlagen, deren Inhalte über Urteilsformen bestimmbar werden und damit u. a. auch kategorialen Charakter besitzen.

2.6.1 Zum Begriff Sicherheit aus probabilistischer Perspektive

Im Kontext des Gebrauchs technischer Anlagen definiert man Sicherheit meist über Wahrscheinlichkeitsaussagen über Absenz von Gefahr einer möglichen Schädigung (Unheil) auf der Basis gesellschaftlichen Akzeptanzmaßen [62]: dem so genannten Grenzrisiko. Eine Übersicht von diesem vorwiegend technologisch determinierten Verständnis des Sicherheitsbegriffs bzw. dem Umgang mit Ungewissheit kann der Richtlinien- und Normenaufstellung in [63] entnommen werden. Abbildung 2.10 veranschaulicht die darin enthaltene normative Risikoperspektive, die eher als „…Versicherung inmitten abstrakter Risiken…“ interpretiert werden kann, als „…ein Schutz vor konkreten Gefahren…“ [64]. Eine kritische Anmerkung zu Abb. 2.10 ist unter A2.8 dem Anhang zu entnehmen.

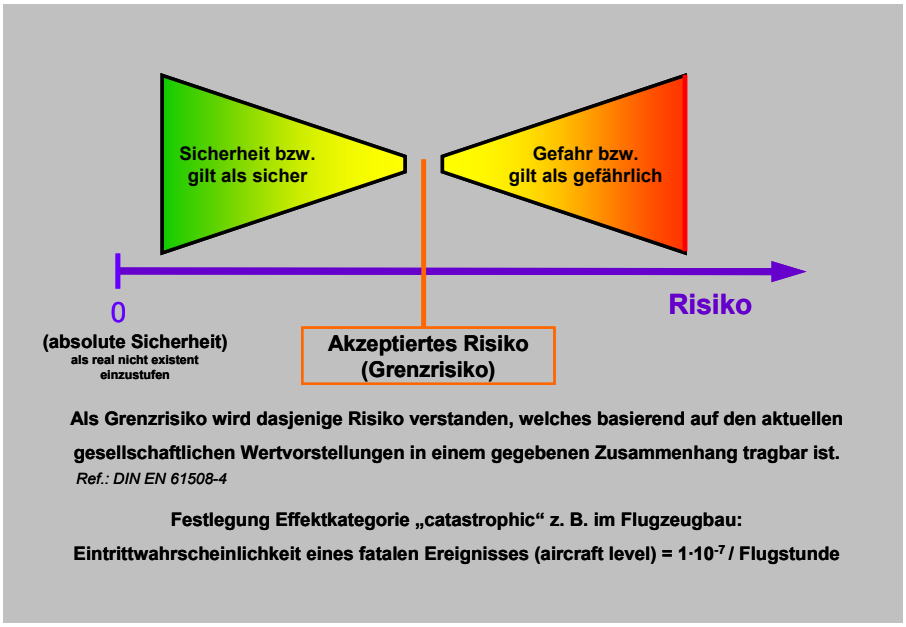


Abb. 2.10: Zur Definition von Sicherheit und Gefahr aus probabilistischer Perspektive

2.6.2 Sicherheit als objekt- und subjektivierendes Mehrebenenkonstrukt

Das Verständnis zum Sicherheitsbegriff[22] umfasst zum einen eine objektivierende Betrachtungsart, in deren Fokus ein real existierendes Schutzgebilde gegen Gefahren deklariert wird. Zum anderen enthält es ein subjektivierendes Moment von Überzeugungen als Resultat vorwiegend psychischer Prozesse, deren Substanz im Wesentlichen dem Existenzbedürfnis von *Leben* entspringt. Hier wird Sicherheit wahrgenommen als ein Empfindungstypus von Vertrauen in das schädigungslose Wirken spezifischer Gegebenheiten / Konstellationen, denen sich ein Individuum bzw. eine soziale Gruppe aussetzt. Dabei entspringt das Vertrauensmaß dem emotional bestimmten Kalkül des jeweiligen Subjekts aus seinem individuellen Kenntnis-, Wissens-, Erfahrungs- und Vorstellungsbereich: *Sicherheit* also als ein bewusstseinsfähiges „…Gefühl der Freiheit von Sorge…“ [64a]. Dieses Empfinden impliziert, vor und während der Aufgabenbearbeitung, das Vorhandensein von Obhut bzw. einer Art von Fürsorge, die wiederum gebunden ist / sind an das Gewissen[23] [20a] derjenigen Arbeitspersonen[24], die Präventionen in Form von Maßnahmen und Voraussetzungen u. a. zum Schutz vor Gefahren bereitstellen und wirken lassen. Einerseits schließt sich hier der Kreis zur vorwiegend materiell bestimmten Sicherheitsverobjektivierung. Andererseits wird hier jedoch die Verknüpfung zum Charakter[25]- und Leistungsmerkmal im Sinne der Begriffsdefinition *Menschliche Zuverlässigkeit* in der weit reichenden Position von *BARTSCH* [6] deutlich - in der Relevanz des Einflusses einer positiv ausgebildeten Moral- und Ethikkompetenz auf das Geschehen im Flugbetrieb.

Damit wird offensichtlich, dass sich das Wirkungsgeflecht der beiden objektiv und subjektiv koexistierenden und interagierenden Aspekte zum Begriff *Sicherheit* allenfalls durch Mehrebenenkonstrukte reflektieren lässt. Diese wären dann beschreibbar durch Existenzbesonderheiten einander zugeordneter Systeme sowie deren Untergruppen unter Eigenschafts-, Zustands- und Prozessperspektiven in der Verbindung mit zeitinhärenten Relevanzen (Wichtigkeiten und Dringlichkeiten) von Szenarien. Abbildung 2.11 zeigt dazu vereinfacht die wechselseitige Konjunktion von Systemkategorien und Betrachtungsebenen.

---

[22] in Anlehnung an [19a] „…Zustand des Unbedrohtseins, der sich objektiv im Vorhandensein von Schutz (-einrichtungen) bzw. im Fehlen von Gefahr (-enquellen) darstellt und subjektiv als Gewissheit von Individuen oder sozialen Gebilden über die Zuverlässigkeit von Sicherungs- und Schutzeinrichtungen empfunden wird…“

[23] Im prozessorientierten Kontext soll hier Gewissen auch als Entscheidungsbasis verstanden werden – siehe auch Anmerkung A2.9 im Anhang.

[24] zur Spezifizierung des Begriffs Arbeitsperson im Kontext Flugbetrieb siehe Anmerkung A2.10 im Anhang

[25] unter Charakter wird hier nach [14] verstanden: „…relativ verfestigtes System stabiler und generalisierbarer Motive – nicht angeboren, sondern primär durch Erziehung und Bildung entwickelt…“

Abb. 2.11: **Zuordnung von Systemkategorien und Betrachtungsebenen zum Begriffsverständnis *Sicherheit***

Die einzelnen Koeffizienten a_{ij} der Zuordnungsmatrix werden jeweils mit einer sicherheitsorientierten Perspektive belegt. Deren Inhalte bilden operationelle Ausführungen, die als Einzelzugänge den Sicherheitsbegriff determinieren. Diese Komponenten induzieren allesamt in der Rückschau Erfahrungen und Sichtweisen, welche dann rückgekoppelt wiederum einen steuernden Einfluss auf die flugbetriebliche Sicherheitsausrichtung bzw. das sicherheitsorientierte Geschehen in den einzelnen Betrachtungsebenen nehmen.

In der **K**ontextebene wird der Substanzaufbau sozialer Grundannahmen und deren Verwobenheit sowie deren Bindung an die aufgeführten Systemkategorien beleuchtet. Dabei handelt es sich einerseits um die Reflexion eines sich entwickelnden gesellschaftlichen Verständnisses im Umgang mit sicherheitsorientierten Frage- und Problemstellungen und andererseits um dessen Auswirkungen auf einen real existierenden Bedürfniskomplex und dessen Befriedigung. Dabei ist die Ausdehnung des jeweiligen Kontextbereichs (Systemabgrenzung) pragmatisch an Aufgabenzuordnungen gebunden. Die Systemdifferenzierung ermöglicht Zuordnungen und Spezifizierungen von Zuständigkeiten bzw. Einflussbereichen. So entspringt dem Lebensraum eine Kokon-hafte Sicherheitskultur mit kollektivem und forderndem Charakter, welche sich überwiegend auf gesellschaftliche Werte und Anschauungen gründet. Diese betrachtet die Subsysteme des Lebensraums, normativ und spezifisch, als Garanten für angemessene Umgangsweisen zur Etablierung genereller Schädigungslosigkeit (siehe dazu z. B. die Ausführungen in [62] bzw. die Definition von *Sicherheitskultur* der Internationalen Atomenergieorganisation IAEO). Das Flugarbeitssystem, in seiner Gesamtheit, operiert entsprechend einzeln vorherrschender Organisations- bzw. Unternehmenskulturen [65]. Transportträgersysteme operieren nach Stilen fachspezifischer Arbeitskulturen, welche auf die Ebene des Arbeitsverhaltens und den damit verbundenen Lebensformen zielen [66]. Der (kontingente) Gehalt aufgezeigter Kulturbegriffe bestimmt sich aus dem Gesamtbezug der Systeme untereinander. Dabei soll davon ausgegangen werden, dass sich alle Termini auf Grundüberzeugungen gründen, denen Akzente der *Moralitätsidee KANT*s zugrunde liegen bzw. liegen sollten [67]. Die Substanzen der Begrifflichkeiten enthalten Wert- und Gestaltungsvorstellungen, die sich im Spannungsfeld verschiedener Interessen und Orientierungen positionieren. Sie unterliegen weiterhin Prozessen des Abgleichs unterschiedlicher Mentalitäten aus korrespondierenden Nachbar- bzw. Subsystemen. Letztere Vorgänge spiegeln sich in multiplen Entgrenzungsphänomenen wider, wie sie in [10a] beschrieben werden.

Der Begriff Sicherheit wird in der **E**igenschafts- / Merkmalsebene betont durch den Qualitätsterminus gemäß DIN EN ISO 8402. Im Sinne einer zu erbringenden Fürsorge umfasst Sicherheit generell im Lebensraum die Beschaffenheit und Umsetzbarkeit rechtlicher Steuerungsmechanismen ebenso wie die Güte, den Umfang, die Eigenschaften und die Disposition der systemeigenen Infrastruktur.

Im relativ offenen Komplex des Flugarbeitssystems stehen drei wesentliche Aspekte im Fokus von Voraussetzungen zur Schaffung sicherer Arbeitsbedingungen (siehe *TOP* – Ansatz):

- die Qualität bereitgestellter Betriebsmittel (beigesteuerte Sicherheitsgüte [23a] von Produktions- und Versorgungsmitteln)
- die Wesensart organisatorischer Strukturen, wie z. B. die Qualität der Flugbetriebsorganisation / Logistik und
- die Eignung eingesetzten Luftfahrtpersonals (Boden- und Bordmitarbeiter)

Im Kompetenzbereich des Transportträger-Arbeitssystems wandeln sich Konstellationen des Lebensraums und des Flugarbeitssystems zu aktuellen Gewährleistungsqualitäten von Lufttüchtigkeit, medizinischer Flugtauglichkeit und fliegerischer Fitness. Hier erfolgt eine Eigenschaftsaktualisierung durch die Berücksichtigung von Zeitaspekten und damit ein Übergang zum tatsächlichen Gütestatus von Flugbetriebsgesichtspunkten. Dieser bestimmt sich insbesondere aus dem Resultat durchgeführter technischer Instandhaltungsmaßnahmen, durch die Ordnungsaktualität von Organisationsstrukturen und durch die Qualität genutzter Erholungsphasen von Arbeitspersonen respektive (negativ belegt) durch deren Grad ihrer Ermüdung.

In der **P**rozessebene werden Dynamiken / Aktivitäten einzelner Systeme erfasst und deren Wirkungen auf den Komplex Sicherheit betrachtet. Nahezu alle wesentlichen Systemeinheiten des kommerziellen Luftverkehrs stehen unter der Aufsicht und der Kontrolle des Lebensraums. Kraft seiner übergeordneten Befugnis / Macht kann er Restriktionen zum Zwecke der Disziplinierung für die Aufrechterhaltung vereinbarter Standards aussprechen und entsprechende Konsequenzen durchsetzen. Das Maß der Kuratel ist i. d. R. von den Ressourcen, von der Kompetenz beauftragter Organisationen und von gesellschaftlichen Interessenslagen und Bekenntnissen abhängig.

Für die permanenten Bemühungen zum Herstellen von Schädigungslosigkeit und Besorgnisfreiheit im Flugbetrieb hat *MATUSCHEK* den Begriff *Securogenese* eingeführt und diskutiert [68]. *Securogenese* will er als sozial gestalteten Prozess verstanden wissen, dessen Antrieb und Ausrichtung im Wesentlichen aus Auseinandersetzungen sozialer Gruppen mit unterschiedlichen Interessenslagen resultiert. *Securogenese* lässt sich vorteilhaft den Flugarbeitssystemen zuordnen, wobei sich sein subjektbezogener Gehalt aus mehrdimensionalen Einflüssen der Systemperipherie und unterschiedlichen Handlungs- / Betrachtungsebenen bildet.

Der prozessorientierte Sicherheitsbegriff trägt mit Bezug auf Transportträger-Arbeitssysteme eine vorwiegend „existenz-relevante“ Akzentuierung. Er zielt vorrangig auf die Qualität von Cockpitarbeit, bei der neben dem Dienstleistungsaspekt - der Erfüllung des Arbeitsauftrages (u. a. als Ergebnis) - besonders die Weise des Arbeitsvollzugs in den Vordergrund tritt. Dieser wird, im Vorgriff auf die Erläuterungen des Abschnitts 2.6.3, als Fürsorge verstanden, deren Substanz eine zielgerichtete Regulierung von Aktivitäten der Arbeitspersonen darstellt, um Gefahren zu vermeiden und abzuwehren (siehe auch Abschnitt 3.6.2). Diese Regulationen dienen primär dem Schutz des Reisekollektivs und kreieren den augenblicklichen Sicherheitsstatus des Systems jeweils in einer Momentaufnahme. Damit wird der Gehalt des Sicherheitsbegriffs sowohl „operationell“ als auch „modal“ ausgerichtet und als Zustandsverlauf interpretierbar, der sich abgrenzend und unmittelbar auf die aktuelle Situationsfolge in der Flugdurchführung bezieht. Dieser prozessorientierten Perspektive vom Standpunkt des Transportträger-Arbeitssystems aus liegt der Verortung dieses Beitrags zu Grunde.

Um eine semantische Abgrenzung des Sicherheitsbegriffs zu erleichtern wird der Ausdruck *Sicherheit* dem Aktivitätsbereich des Lebensraumes zugeordnet. *Flugsicherheit* soll auf das Flugarbeitssystem bezogen werden. Die Verwendung des Begriffs *Betriebssicherheit* wird sich im Folgenden auf den Kompetenzbereich des Transportträgerarbeitssystems beziehen.

2.6.3 Zum Aufbau einer situationsspezifischen Perspektive auf den Flugbetrieb

Die Ausführungen des vorliegenden Abschnitts sollen dem Leser nur als Hintergrundinformationen dienen, um der Argumentation in den beiden folgenden Textteilen gelassener begegnen zu können: Hier soll ein situationsspezifisches Verständnis zur Abfolge von Geschehnissen aufgebaut werden, die sich phänomenologisch kennzeichnen lassen als Konsequenz aus umgebungsbezogenen selbstständigen Systementwicklungen zusammen mit Wirkungen gezielt eingebrachter Bedingungsmanipulationen durch im augenblicklichen Szenario eingebundene Arbeitspersonen. Die Betrachtung erfolgt dabei aus einer exogenen Position heraus. Das Substrat der Flugdurchführung kann in der Kontingenz seiner inhärenten Situationsfolge gesehen werden. Der Prozess bildet sich aus der Zeitlichkeit[26] bzw. dem irreversiblen Verstreichen von Situationen, deren jeweilige Substanz sich als Konstrukt bildet aus: Faktizitäten der Vergangenheit, dem Komplex des spezifischen Welt- und Selbstbezugs der Gegenwart sowie den Intentionen / der Entschlossenheit aufgrund seiner zukünftigen Existenzialität. Die jeweilige raumzeitliche Situationsgesamtheit kann allgemein erscheinen als Sachlage / Gegebenheit, als Stellung und / oder in der Form von Zuständen [70]. Diese bilden sich u. a. aus Tätigkeitsinitiativen, Änderungsdichten der Umgebung, Handlungsdichten, Informationsdichten und Energiedichten etc. (siehe auch Anmerkung A2.11 im Anhang).

Diskurs:

Ein ideeller Zugang zum Wesen von Flugbetriebssituationen kann mit Hilfe von *HEGEL*s Dialektik erfolgen. Dazu sollen Situationen jeweils als raumzeitliche Konglomerate von Vorhandenem betrachtet werden, die der Zeitlichkeit ihrer eigenen Substanz unterliegen. Das spezifische Aussehen dieser wabernden, auf Fakten (der Vergangenheit) aufbauenden Umstandsfolge ist interpretierbar als Modalität der Veränderbarkeit ihrer Inhärenz. Diese bestimmt die Situation und stellt deren Notwendigkeit dar [71], wobei die Form dieses *unhintergehbaren Grunds* durch die Freiheit des Existenzgefüges erhalten wird [72]. Wie in Abschnitt 2.6.4 eingehender ausgeführt, reflektiert sich Freiheit[27] hier im doppelten Sinne: Einerseits als *positive Freiheit* [74] entsprechend einer *tatsächlich genutzten Möglichkeit* bzw. durch eine Instanz gesetzte *selbst bestimmte dynamische Existenz* (also z. B. auch als „Einsicht in die Notwendigkeit“ einer Regelbefolgung zur Schaffung von Sicherheit) und andererseits als *negative Freiheit*, die sich als Unabhängigkeit von einem äußeren Zwang darstellt - also zwei Gesichtspunkten, die gemeinsam zur Generierung von Tatsachen beitragen bzw. sie bestimmen. Wie im Folgenden gezeigt wird, ist Betriebssicherheit ein Aspekt von Notwendigkeit.

[26] im Sinne zeitlicher bzw. *offener* Prozesse, die durch eine ins Futur orientierte Vorzugsrichtung gekennzeichnet sind [70]

[27] nach *BERLIN* [73]

2.6.4 Betriebssicherheit durch geordnete Organisationsformen aktueller Situationen

Wie in Abschnitt 2.6.3 dargelegt, resultiert das Vorhandensein flugbetrieblicher Situationen im Wesentlichen aus zwei Aktionsarten mit jeweils unterschiedlichen dynamischen Tendenzen:

- Zum einen sind dies Entwicklungsverläufe von materiell determinierten Gegebenheiten, die sich u. a. aus kosmologisch begründbaren Naturprozessen ergeben (können).
- Zum anderen sind es Aktivitäten belebter Systeme, die aufgrund ihres Vermögens beeinflussend auf Sachlagen wirken (können).

Beiden Aspekten ist die Zeitlichkeit gemeinsam, die „…a priori und als objektive Eigenschaft des Naturgeschehens vorausgesetzt werden muss…“ [69a] und damit auch Prozesskonstellationen aus beiden Dynamikaspekten irreversibel werden lässt. Sofern sie unter gleicher raumzeitlicher Realität existieren, bestimmen letztere die Modalität der Substanz von Situationen. Im Folgendem werden beide Aspekte zunächst getrennt voneinander kurz betrachtet, wobei ihr Konglomerat an sich im Existenzbereich des Lebensraums verortet wird:

Die natürliche Eigendynamik von sich selbst überlassenen Systemen in der materiellen Welt wurde mit wachsendem Stellenwert der Thermodynamik im industriellen Zeitalter ab Mitte des 19. Jahrhunderts wissenschaftlich eingehender diskutiert. Das als Phänomen beobachtbare Resultat von Zustandsänderungen wurde mit einem universellen Attribut versehen [75] und spiegelt sich implizit in den Aussagen des „2. Hauptsatzes“ wider: Dabei handelt es sich um die wissenschaftliche Erkenntnis, dass physikalische Geschehnisse innerhalb eines Systems auf einen Ausgleich von Potentialunterschieden hin ausgerichtet sind und generell einem Gleichgewichtszustand zustreben, um das System, wie auch seine Subsysteme / Elemente, in Zustände maximaler Entropie zu führen. Diese Art von Homogenisierung erfolgt allerdings nur unter der Voraussetzung von Systemabgeschlossenheit (eine kurze Gültigkeitsbetrachtung gibt Anmerkung A2.12).

Die Zeitlichkeit des natürlich verlaufenden Geschehens spiegelt sich im Entropiestatus des Systems (hier u. a. der Lebensraum) wider. Es kann davon ausgegangen werden, dass vormals existierende Zustände einen geringeren Entropiegehalt besitzen als nachfolgende. Eine wesentliche Verbindung zu Ordnungsaussagen wurde im Jahr 1877 von *BOLTZMANN* [76] in probabilistischer Weise postuliert, indem er die Zunahme an Entropie als fortschreitende Desorganisation eines geschlossenen Systems interpretiert. Den jeweiligen Endbetrag an Entropie deklariert[28] er als Maß für die Irreversibilität von spezifischen faktischen Zustandsänderungen bzw. zieht er als Maß für die daraus resultierende makroskopische Unordnung (als Zustandsmerkmal) heran. Dabei soll hier das Strukturattribut *Unordnung* mit den Beurteilungsaspekten *Freiheit* bzw. *Unsicherheit* belegt werden, die eine geringe Situationsdeterminiertheit implizieren.

Das thermodynamisch belegte *BOLTZMANN-Postulat* ist auf andere Naturerscheinungen durchaus übertragbar[29]. In Analogie zu seinen Erkenntnissen kann abgeleitet werden, dass

---

[28] Dabei sieht er letztere proportional zum natürlichen Logarithmus der Anzahl gleich wahrscheinlicher Realisierungsmöglichkeiten von zugehörigen Mikrozuständen.

[29] …wie z. B. die Definition der *Informationsentropie* nach *SHANNON* und *WEAVER* [77]

sich eine sich selbst überlassene Situationsentwicklung, im vorliegenden Fall des Flugbetriebs, früher oder später[30] zu einem Zustand mit ungeordneten und damit fatalem Charakter ausbildet. Diese Interpretation entspricht der allgemeinen und damit objektivierbaren Erfahrung. Darüber hinaus stellt sie aus Sicht der Betriebssicherheit einen elementaren Ansatz dar, der - wie in Abschnitt 2.6.3 angedeutet - zukünftig Möglichkeiten erschließen könnte, objektive Aussagen zum Existenzstatus von Systemelementen unmittelbar im Arbeitsprozesses zu treffen. Dies kann z. Zt. nur subjektiv erfolgen aufgrund der Bewertungsurteile von Beobachtern.

Fazit: Mit Bezug auf Abschnitt 2.6.3 kann somit das selbstständige Bestreben einer betrachteten Situationssubstanz, ihre Freiheit weiter auszubauen, als Ausnutzung bzw. Erweiterung ihrer Freiheitsgrade interpretiert werden.

Dieser natürlichen Entwicklungseigenständigkeit steht im Arbeitsprozess die Tätigkeit von Arbeitspersonen entgegen. Im vorliegenden Kontext umfasst der Tätigkeitsbegriff zweckgerichtete Maßnahmen, die Veränderungen von Situationen bewirken, die Situationen kontrollieren und schließlich zu gewünschten Faktizitäten überführen. Für die Initiierung und Durchführung von Maßnahmen vorwiegend im Flugzeug steht der Ausdruck Cockpitarbeit. Maßnahmen sollen den Einsatz von Inventaren multipler Regulationsaktivitäten bezeichnen. Dabei grenzt sich „Regulieren“ deutlich vom technisch belegten Ausdruck „regeln“ in sofern ab, als hier ein wesentlich größerer Kompetenzrahmen erfasst wird, der im Vorgriff auf Abschnitt 3.5.4, Planung, Steuerung, Einsatz zielgerichteter Strategien, Flexibilität und besonders Verantwortung umfasst. Hingegen steht *regeln* vorwiegend für die Befolgung kompensatorischer Konzepte nach festen vorgegebenen Algorithmen[31] unter eingeschränkten Komplexitätsbedingungen, ohne Einbeziehung von ethischen / moralischen und emotionalen Aspekten.

Abb. 2.12: Ordnung als Organisationsform von Situationssubstanz

Cockpitarbeit drückt sich durch offensive Veränderungen von Pa-

[30] in Abhängigkeit der Anfangs- und Randbedingungen resultierender Entwicklungsgrade als zeitliche Ableitung des Situationspotentials

[31] …der höchste derzeitige Entwicklungsstand reflektiert sich in der Auslegung so genannter „smarter“ Technologie, die eine eingeschränkte Adaptivität von elektronischen Regelkomponenten realisiert.

rametersätzen bzw. von Freiheitsgraden aus, die jeweils Systemstrukturen, Zustände und / oder die Modalität von Situationen manipulieren können. Eine Parameterbeeinflussung bedeutet somit eine Veränderung von jeweils Gegebenem. So kann Cockpitarbeit in der Prozessebene verstanden werden als raumzeitlich gezielt einschränkende Gesamtheit von Zweck tragenden Maßnahmen zur „Manipulation von Freiheitsgraden", um eine Verbesserung der jeweils aktuellen Situationsbestimmtheit und damit des Maßes an Notwendigkeit zu bewirken. Dabei ist Ordnung das Abbild / die angelegte Form von Notwendigkeit und somit kann der Grad des *Geordnetseins* als ein Maß für die Ausprägung von Betriebssicherheit gelten.

Diese Perspektive deckt sich mit Anschauungen über die Zusammenführung von Grundsätzen zur Schaffung von Ordnung, die vereinfacht auf aristotelischen Formprinzipien [78] in Verbindung mit teleologischen Leitsätzen beruhen (siehe Abbildung 2.12). Dabei kann Ordnung als Organisationsform einer heterogenen Ganzheit aufgefasst werden, deren „…Einheit gewahrt bleibt durch die Vorherrschaft eines seiner Teile…" [79]. Im vorliegenden Fall ist die Situationssubstanz als heterogene Ganzheit zu verstehen, deren zweckmäßige Form durch den Gestaltungsprozess von Cockpitarbeit hervorgerufen wird. Im Sinne der Terminologie *HAKEN*s *versklaven* Nichtgleichgewichts-Ordnungsparameter (hier: die Piloten) durch ihre Eigenaktivität (hier: Arbeitshandlungen) die Situationssubstanzen der *materiell determinierten Welt* zu geordneten Dynamikgebilden von Geschehnissen. Der Ausprägung einer individuellen Disposition, das Maß an Freiheitsgraden erheblich zu reduzieren, kommt hier größte Bedeutung zu. Ein Versagen des Versklavungsprinzips führt allgemein zu Destabilisierungseffekten, die neue Modi ermöglichen bzw. Geschehnisse zur Ungeordnetheit bzw. zur Strukturlosigkeit hin divergieren lassen [80a]. Das Schaffen von angemessenen Ordnungsstrukturen im Arbeitsprozess durch Maßnahmen aus Cockpitarbeit soll hier somit verstanden werden als sicherheitsorientierte Art der Fürsorge.

2.6.5 Zum Kausalitätsgefüge von Produkt- und Sicherheitsaspekten im Flugbetrieb

Cockpitarbeit wird von einer inneren Zweckmäßigkeit geleitet, die sich im Wesentlichen kennzeichnet durch (siehe auch Abschnitt 2.5)

- das Bestreben, Arbeitsaufträge / Aufgaben hinsichtlich einer zu erzielenden ökonomischen Wirksamkeit zu erfüllen

und

- das Bewahren kollektiven und subjektiven menschlichen Daseins sowie das Erhalten materieller Existenzen nach vorwiegend ethischen und moralischen Maßstäben als unabdingbares Bedürfnis sozialer Gruppen und Individuen.

Der Vollzug von Cockpitarbeit ist situationsgebunden. Cockpitarbeit durch die Flugzeugbesatzung konstituiert sich aus der aktuellen Verfügbarkeit von Leistungsvoraussetzungen sowie deren Disposition und determiniert sich durch Handlungen bzw. Maßnahmen zur Bewältigung von Arbeitsanforderungen. In Flugbetriebssituationen bilden letztere die belastende Substanz reaktionsfordernder Gegebenheiten (siehe Abschnitt 2.5.2) aus der Finalität des Arbeitsprozesses und den aktuellen äußeren Bedingungen. Wie in Abbildung 2.13 gezeigt[32]

[32] Darstellung wesentlicher Aspekte der Anforderungsbewältigung

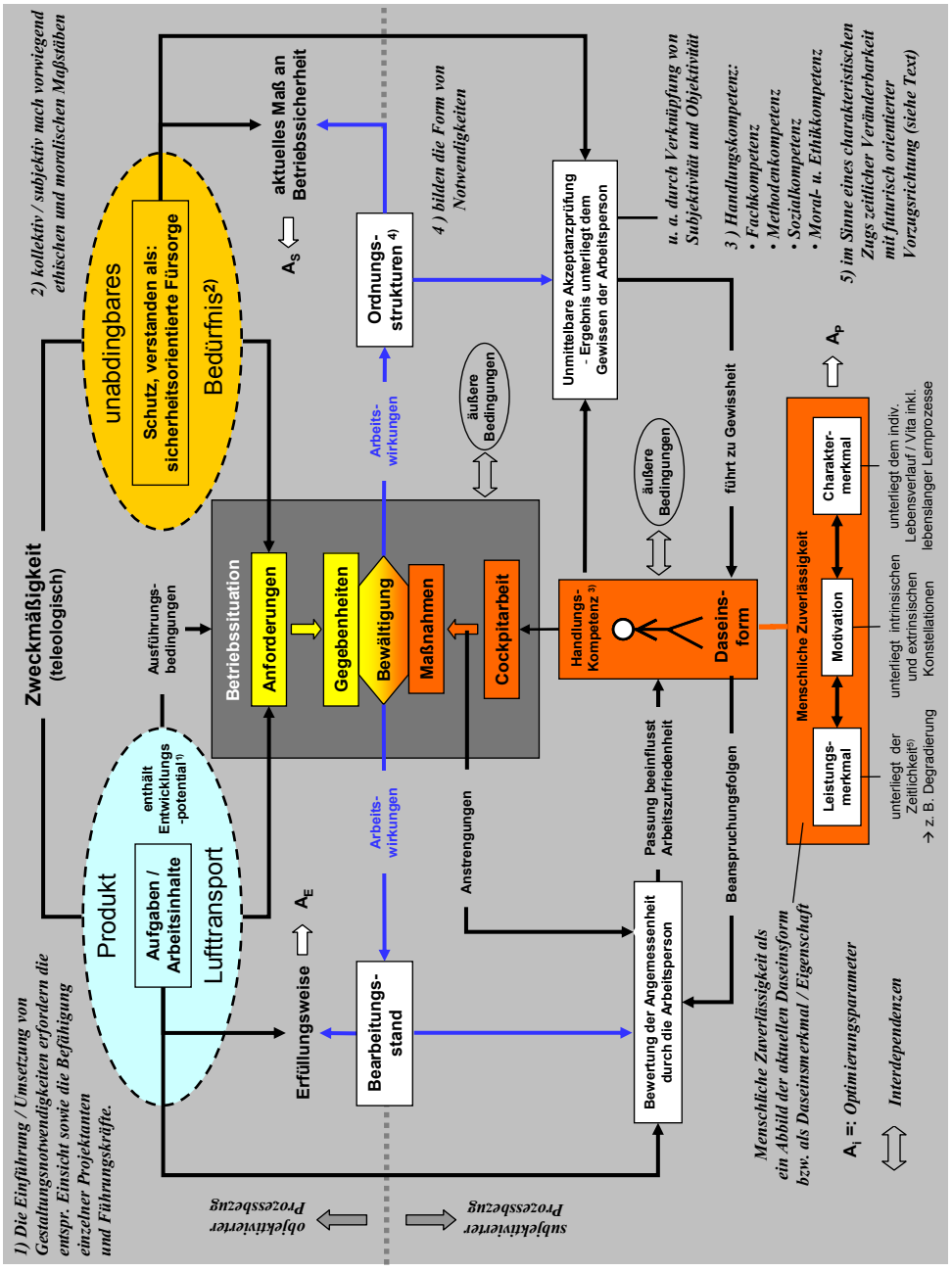


Abb. 2.13: **Zur Dynamik des Kausalitätsgefüges von Auftrag / Aufgabe und Sicherheit während des Flugbetriebs**

interagieren dabei im Zeitverlauf die beiden oben genannten Zweck tragenden Einzelaspekte miteinander. Anstehende Arbeitsanforderungen werden bewältigt, indem Flugbetriebssituationen (eben durch den Willen) der Arbeitspersonen beeinflusst werden. Daraus resultieren Arbeitswirkungen, die einerseits den aktuellen Bearbeitungsstand der Aufgabe bestimmen und damit Rückschlüsse auf die Erfüllungsweise des Auftrags ermöglichen. Andererseits bilden diese Arbeitswirkungen Prozessstrukturen, deren Ordnungsgrad im Vergleich zu allgemein anerkannten Standards, ein objektives Schutzmaß gegen Betriebsgefährdungen darstellt.

Diese geordneten Prozessstrukturen werden subjektiv auf der Bewusstseinsebene des jeweiligen Flugzeugführers einer unmittelbaren sicherheitsorientierten Akzeptanzprüfung unterzogen. Ihre Qualität ist von der Handlungskompetenz der Arbeitsperson abhängig. Das Ergebnis spiegelt sich in der Gewissheit und damit als subjektive Sicherheit einer sittlich geschuldeten Notwendigkeit (Gewissen) der Fürsorge gegenüber Individuen und zu bewahrenden Werten wider, die mittelbar oder unmittelbar dem Situationsgeschehen ausgesetzt sind. Dabei wird das Gewissen festgelegt durch die Präsenz von aufgetragener und übernommener Verantwortung.

Der Verknüpfungsstatus dieses subjektiven-objektiven Prozessbezugs (**D→C** - Koppelung in Abb. 2.14) beeinflusst die augenblickliche Daseinsform des Arbeitssubjekts - also auch dessen innere Organisationsstruktur und damit sein Vermögen zur Selbst- und exogenen Regulation von aktuellen Begebenheiten.

Neben den eher langfristig angelegten Urteilen über die Physis und Vitalität der Arbeitsperson verbergen sich in deren aktueller Befindlichkeit und dem Attribut *Menschliche Zuverlässigkeit* weitere Abbilder der momentanen Daseinsform des Subjekts - besonders auch hinsichtlich seines Bezugs zur aktuellen Arbeitsausführung. Dabei umfasst *Menschliche Zuverlässigkeit* als Konstrukt zugleich Leistungsaspekte wie auch relativ verfestigte Wesenszüge der jeweils involvierten Arbeitsperson. Diese stehen zusammen als Eigenschaft / Merkmal über die *MZ* in Relation zur Flugdurchführung und beeinflussen den Stil des Arbeitsprozesses. Zur weiteren Einordnung des *MZ*-Konstrukts in den vorliegenden Beitrag wird auf Anmerkung A2.13 verwiesen.

Aus dem sachdienlichen Bezug der Cockpitbesatzung zur Aufgabenerfüllung (Kriterien u. a. aus der Verknüpfung von Bearbeitungsstand / Anstrengungen / Belastungsfolgen) erwächst über subjektive Bewertungen der Angemessenheit zu leistender Arbeit (Passung) das Niveau an Arbeitszufriedenheit[33]. Deren Einfluss auf das körperliche und seelische Wohlbefinden sowie auf das Verhalten des Individuums tritt in den Fokus arbeitsorientierter Motivationsforschung. Im vorliegenden Kontext bieten sich prozessbezogene Theorien an [83], um den Ablauf des Arbeitsgeschehens im Verhältnis zu Verhaltenskonsequenzen von Arbeitspersonen zu analysieren. Dabei liegt die gestalterische Zielstellung hier deutlich in der Herstellung / Festigung der Persönlichkeit (u. a. zum Erwirken von subjektiver Identität der Arbeitsperson) z. B. durch mehrdimensional ausgerichtete Formen von Anerkennung und Wertschätzung ihrer Arbeit durch das Unternehmen [84]. Dieser Aspekt impliziert über die

[33] Der Begriff ist zu verstehen als „…Gradmesser für die humane Qualität von Arbeitsbedingungen…" [40b]. Weiter differenziert als Ergebnis eines Ist- / Sollwert – Vergleichs der wahrgenommenen Situation zum subjektiven Anspruchsniveaus im Arbeitnehmerkonfliktverhalten → als Richtgröße für weitere Entwicklung von Bedürfnissen, Erwartungen und Einstellungen im Arbeitsverhalten [82].

MZ, aus einer subjektiv unmittelbaren Wirksamkeitsperspektive heraus, ein Prädikat hinsichtlich der Beständigkeit des subjektiven Vorhalts von Leistungsvoraussetzungen. Damit steht der Sicherheitsaspekt unmittelbar im funktionalen Bezug zur Bearbeitungswirtschaftlichkeit des Auftrags und mittelbar in Relation zum Auftragsvolumen (siehe Verknüpfung **D↔B** in Abb. 2.14).

Wie in Abbildung 2.14 dargestellt, stützt sich die Verknüpfung **B→A** zwischen dem subjektiven Bezug der Produkterstellung und der firmeninternen kollektiven Perspektive zum Arbeitsprozess, die dem Einfluss eines betrieblichen Ökonomieziels unterliegt, jeweils individuelle Ausprägungen von Pflichtgefühl (vornehmlich aufgrund ökonomisch geleiteter Motive) der Besatzung gegenüber dem Arbeitgeber. Die Koppelstelle wird akzentuiert durch die Anzeigeverpflichtung von operationellen Unregelmäßigkeiten mittels eines Vergabesystem von Codes, die über Ursachen von Verspätungen Auskunft geben [85] und somit auch einen Charakter von Rechtfertigung besitzen. Die kollektive-subjektive Ausrichtung der Koppelung **A→B** (Unternehmen / Besatzung) erschließt sich im Vertrauen[34] des Arbeitgebers in das Wirken / Verhalten seiner Angestellten zum (hauptsächlich wirtschaftlichen) Wohle des Unternehmens. Hier wird auch die gleichzeitige Zugehörigkeit der Mitglieder einer Flugzeugbesatzung in zwei Schicksalsgemeinschaften deutlich: Erstens als eine unmittelbar und aktiv wirkende sowie Sorgetragende Instanz im Reisekollektiv und zweitens als Individuum in einer mittelbarer wirkenden Existenz- und Disziplinarabhängigkeit vom Luftfahrtunternehmen.

Die Verknüpfung des unabdingbaren Schutzbedürfnisses im objektiven Bezug der Allgemeinheit zur Flugdurchführung und dem kollektiven Bezug des Luftfahrtunternehmens zum Arbeitsprozess (**C→A**) erschließt sich durch Erwartungen, die an die Dienstleistung *Lufttransport* nach einem allgemein als gut empfundenen Sittenkodex gestellt werden. Umgekehrt besteht die Koppelung (**A→C**) in der Motivation einzelner Wirtschaftssubjekte zum Erbringen einer sittlich geschuldeten schädigungslosen Dienstleistung für die Nutzer der Transportmöglichkeit: Dies unterliegt also generell dem Gewissen jeden einzelnen Mitarbeiters.

Durch Interiorisation (siehe Abschnitt 3) der aktuellen Sachlage generieren die Besatzungsmitglieder jeweils ein individuelles Maß an subjektiver Gewissheit (siehe Abbildung 4.6) bzw. eine Zunahme an empfundener Geborgenheit, die dann unmittelbar dem fürsorglichen Daseinserhalt des Reisekollektivs dient: Aus der Prozessperspektive betrachtet erwächst aus dem Maß an Gewissheit, welche die Flugzeugführer erlangen, der Schutz des Transportträger-Arbeitssystems. Dabei erfolgt die Koppelung des subjektiven zum objektiven Prozessbezug (**D→C**) letztlich über das (subjektive) Gewissen des Kapitäns. Über die kontinuierliche Hoffnungsbestätigung des Reisekollektivs im Flugverlauf (**C→D→C**) determiniert sich zunehmend die Empfindung über dessen aktuellen Sicherheitsstatus, der sich dann in der Rückschau zu einer Tatsache verfestigt: Das Empfinden der Nutzer nährt sich aus dem Fürsorgevollzug durch die Flugzeugbesatzung.

---

[34] „…Vertrauen wird durch Glaubwürdigkeit, Verlässlichkeit und Authentizität begründet, wirkt sich in der Gegenwart aus, ist aber auf künftige Ereignisse gerichtet…". Vertrauen impliziert im Gegensatz zu Hoffnung die Existenz von Handlungsalternativen. Dabei soll Hoffnung die Verbindung einer zuversichtlichen innere Orientierung mit einer positiven Erwartungshaltung beschreiben, die sich auf den zukünftigen Eintritt eines erwünschten Ereignisses / Zustands richtet, ohne eine wirkliche Gewissheit darüber zu besitzen [86].

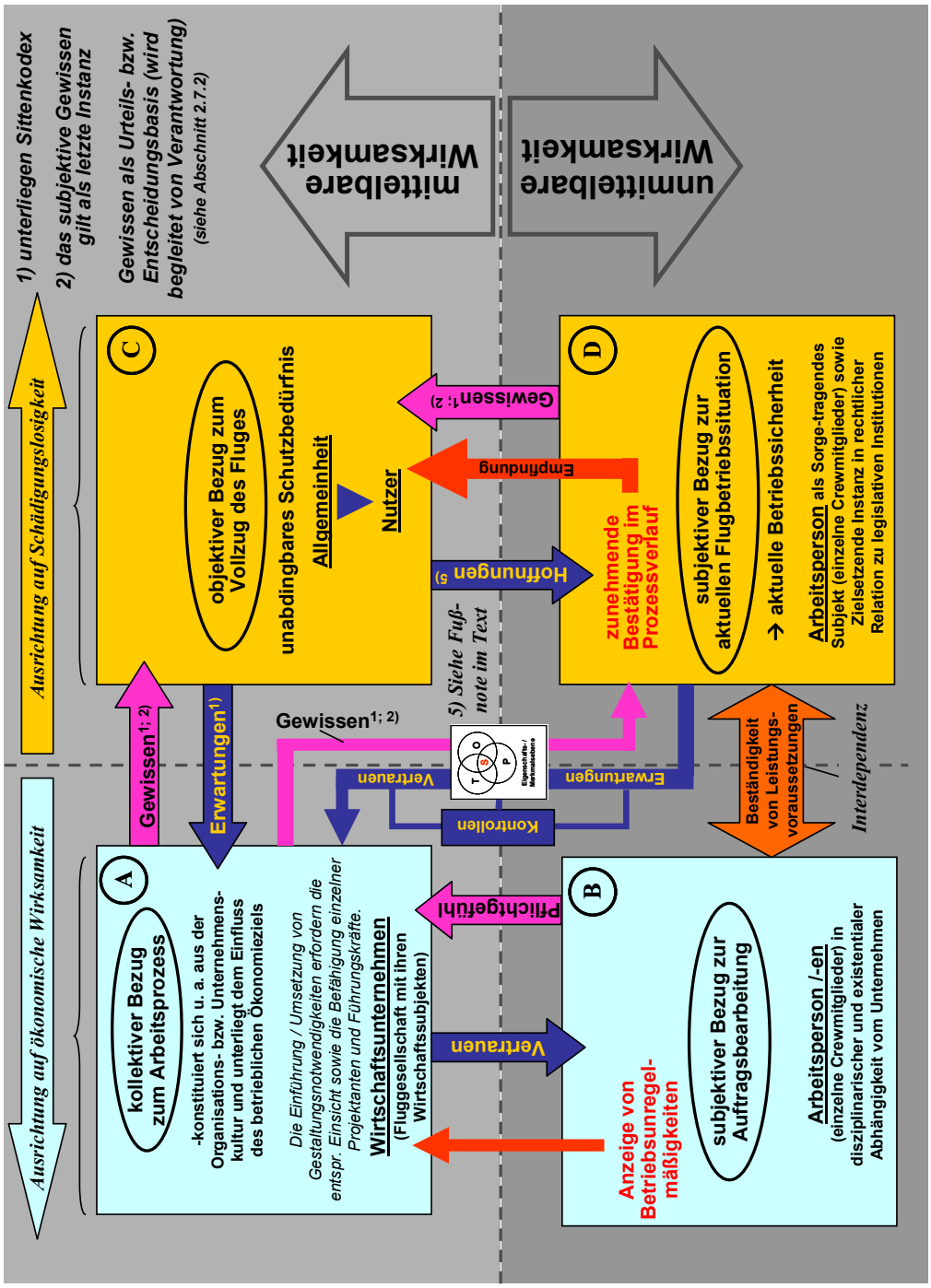


Abb. 2.14: **Zum Einfluss verknüpfter Wirksamkeitsbezüge als Notwendigkeit für die Erstellung von Betriebssicherheit**

Die Gestaltung der Ausführungsbedingungen von Flügen obliegt i. d. R. den Projektanten bzw. den Wirtschaftssubjekten einer Fluggesellschaft nach legislativen Grundsätzen. Dies gilt ebenso für die Einführung / Umsetzung von Gestaltungsnotwendigkeiten. Die Etablierung von Prozessabläufen und deren Organisation, die Bereitstellung qualitativ und quantitativ angemessener Produktionsmittel, wie Betriebsmittel und notwendige Informationen, setzen somit Einsichten wie auch spezifische Befähigungen einzelner Individuen voraus. Diese Mitarbeiter unterliegen einerseits dem „Diktat" von Unternehmenszielen und behördlichen Anforderungen und andererseits ihrem Gewissen hinsichtlich der Achtsamkeit ihres *Tuns* gegenüber den ausführenden Mitarbeitern im Flugdienst und damit letztlich auch den Nutzern des Transportmittels im unmittelbaren Bezug zu jeder Flugdurchführung. Diese Koppelstelle (**A**→**D**) wird hinreichend passend durch das *TOP*-Konzept der Eigenschafts- / Merkmalsebene repräsentiert. Rückgekoppelt bildet sich eine Bezugsverknüpfung der Flugzeugbesatzung zum Unternehmen bzw. der flugbetriebsspezifischen Logistik (**D**→**A**): Diese gründet sich auf ein durch Kontrollen zu bildendes Vertrauen auf die Sicherheitssubstanz der vom Unternehmen erstellten und operationell wirkenden Vorsorge für Schutz gegen Gefährdungen, welche sich durch die Qualität von entstandenen Bereitstellungsfaktizitäten im Flugbetriebsablauf messen lassen muss. Hier sind besonders zu nennen die kollektive Wirkung der jeweils beigesteuerten Sicherheitsgüte [23a] von Produktions- und Versorgungsmitteln sowie der zeitgerecht zur Verfügung gestellten flugbetriebsrelevanten Informationen (siehe Abb. 2.5).

Fazit: Cockpitarbeit, genauer, die Regulationsaktivität von Arbeitspersonen steht der Eigendynamik von sich selbst überlassenen Situationsentwicklungen entgegen. Sie erfolgt nach rationalen Gesichtspunkten unter Einbeziehung menschlicher Stärken, ist entsprechend zweckorientiert und von initiierendem Charakter. Sie wirkt Umgebung regulierend und Gewissheit bildend. In den Arbeitspersonen entstehen Überzeugungsgebilde, denen Schutzaspekte gegen Gefährdungen des Reisekollektivs innewohnen und die sich im Laufe des Fluges zu Empfindungen von Engagement und Integrität entfalten. Aus der Nutzerperspektive erscheinen diese Aspekte mit tugendhaftem Charakter als eine Art von Fürsorge, die von den Passagieren als Absicherung empfunden wird und sich in der Situationsrückschau zu einem Status von Sicherheit verfestigt. Gewissenhaft ausgeführte Cockpitarbeit steht somit als ein wesentlicher Garant im Fokus von Bemühungen zur Abwehr von Betriebsgefährdungen.

2.7 Cockpitarbeit im trilateralen Spannungsfeld von ökonomischer Wirksamkeit, ergonomischer Arbeitsgestaltung und geschuldeter Betriebssicherheit

Gesellschaftliche Anforderungen an einen sicheren, effektiven und effizienten Luftverkehr erfordern von den Fluggesellschaften im Zuge ihres wirtschaftlichen Strebens u. a. die Bereitstellung günstiger Transportraten für die Nutzer des angebotenen Mobilitätsproduktes. Diese Angebote werden i. d. R. realisiert durch hoch komprimierte Prozessabläufe im Flugbetrieb. Dabei stehen die Wirtschaftsunternehmungen in der Zwangslage, ihr Geschäftsinteresse einerseits mit Märkten abzugleichen und andererseits in Einklang zu bringen mit Gestaltungsmaßnahmen von Arbeitsaufgaben und –bedingungen hinsichtlich einer adäquaten Anpassung an menschengerechte Leistungsvoraussetzungen. Dabei gilt es ein hohes Maß an Schädigungslosigkeit für Personen und Sachen im Aktionsrahmen der Wirtschaftseinheit mit seinen Produkten zu erreichen, da neben der ethisch determinierten Verpflichtung des Unternehmens gegenüber der Öffentlichkeit u. a. rückgekoppelt seine sicherheitsorientierte Reputation Einfluss auf die ökonomische Zielerreichung besitzt.

Der Gewinn an Sicherheit im kommerziellen Luftverkehr gleicht seit dessen Etablierung einer Erfolgsgeschichte. Die Verbesserungen lassen sich zurückführen auf die Anwendung technischer und technologischer Neuerungen, auf eine Professionalisierung der Aus- und Weiterbildung von Flugzeugbesatzungen unter konsequenter Nutzung von Trainingseinheiten, auf die Standardisierung von Betriebsverfahren sowie die rechtlich durchgesetzten Regulationen zur Strukturierung von Flugbetrieben. Der Progress dieser Entwicklung stagniert allerdings seit einer Zeitdekade. So werden z. Zt. von der US FAA, NTSB und FSF vermehrt Gründe einer defizitären Grundhaltung zur Berufsausübung / mangelnder Disziplin für sicherheitsrelevante Verfehlungen von Arbeitspersonen im Flugbetrieb gesehen. Weitere Mängel werden in Anmerkung A2.14 genannt.

2.7.1 Zur Dominanz wirtschaftlicher Hintergründe bei der Arbeitsprozessgestaltung

Der momentan vorherrschende Stil im Lebensraum wird von einer neoliberalen Dominanz geprägt, die sich innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte einer staatlichen Stützung sicher sein konnte und im Wesentlichen den politischen Willen zu einem beschleunigten konjunkturellen Wachstum verkörpert. Die Protagonisten dieses Trends maßen dem Wettbewerb, als der angeblich kompetenten Instanz, die Regulierung gesellschaftlicher Bedürfnisbefriedigung zu. Die sich daraus entsponnenen Phänomene in täglichen Arbeitsabläufen lassen sich somit vorwiegend durch das weit umspannende Zugrundelegen von ökonomisch ausgerichteten Ansätzen erklären. So konnte *HERTER* in seinem kritischen Beitrag [88] wesentliche Merkmale einer bestimmten Form des Wirtschaftens benennen, deren Facetten bereits weltweit Lebensbereiche in Besitz genommen haben und in ihrer Verdichtung einem *Glaubensdiktat* ähneln. Dabei wird eine Aktivitätsausrichtung in der vorherrschenden Wirtschaftsordnung bemängelt, die auf einem stark ausgeprägten *erwerbswirtschaftlichen Grundsatz* beruht. Dessen unterschiedliche Formen lassen sich hauptsächlich in dem Streben nach Gewinn

bzw. Rentabilität[35] ausdrücken, um zum eigenen Nutzen eines Unternehmens der Bedürfnisbefriedigung von Eigen- und Fremdkapitalgebern nachkommen zu können [91]. Dieses Unterfangen geschieht i. d. R. durch die Kombination von Aspekten aus dem Handlungskriterium *Gewinnmaximierung* und dem *Wirtschaftlichkeitsprinzip*. Dazu haben sich in Konzernstrukturen zunehmend strategische Verhaltensmuster von Wirtschaftssubjekten entwickelt, die sich an entsprechend ausgerichteten Formalzielinhalten und betriebsspezifischen Formalzielvorschriften orientieren. Diese verkörpern in ihrer Gesamtheit ein ökonomisches *Gewinnmaximierungsprinzip* [92], welches allerdings auch in der fachspezifischen Literatur durchaus kritisch betrachtet wird [12a] (siehe auch Anmerkung A2.15).

Aufgrund der hohen finanziellen Leistungen zum Kauf und Unterhalt von Flugzeugen, den aufzubringenden Betriebsstoff-, Logistik- und Personalkosten, sind Luftfahrtunternehmen auf die Beschaffung von Fremdkapital angewiesen. Dieses Kapital beschaffen sich Unternehmen i. d. R. auf Finanzmärkten. Die dafür zu zahlenden Kapitalpreise richten sich nach den z. T. rechtlich vorgeschriebenen und vertraglich vereinbarten Bedingungen zu Tilgungsmodalitäten in Abhängigkeit von Marktkonditionen und aufgrund von Unternehmensbewertungen[36]. Dabei erfolgt die Bewertung von börsennotierten Kapitalgesellschaften aufgrund ihrer Situationsdarlegungen und richtet sich hauptsächlich nach der Höhe des jeweiligen Aktienkurses. Dieser beeinflusst maßgeblich die Meinung von Fremdkapitalgebern über die Kreditwürdigkeit des Nachfragenden (siehe Anmerkung A2.16).

Es wird an dieser Stelle deutlich, dass nach den derzeitig realisierten Konzepten zur Etablierung von Luftverkehr durch Kapitalgesellschaften die Außenfinanzierung und damit der Abgleich mit Finanzmärkten einen hohen Stellenwert bei Strategieplanungen besitzt. Außenfinanzierungen schränken jedoch grundsätzlich die unternehmerische Gestaltungsfreiheit von Zielsystemen ein. Dies führt in aller Regel zum Aufbau von Spannungsfeldern zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Interessen.

Unternehmen werden i. A. aufgrund von Situationsdarlegungen und intendierten Erfolgsaussichten bewertet. Die Ergebnisse steuern die Attraktivität des Unternehmens für Finanzinvestoren besonders hinsichtlich einer angestrebten Fremdkapitalbeschaffung. Dies führt generell zur Ausbildung von ökonomischen Attraktoren im Unternehmen, wie z. B. das Gestaltungsziel *Lean-Production*. Der Auftritt von Unternehmen auf den Finanzmärkten ist u. a. durch innerbetriebliche Effekte mit kybernetischem Charakter geprägt: Diese Tatsache erfordert Strategieentwicklungen und Einsatz entsprechender Maßnahmen zur Synchronisation des inneren dynamischen Unternehmenssystems mit dem Verhalten von Finanzmärkten (Gefahr des Mentalitätsabgleichs). Hier ist es ratsam Ansätze, welche die Verträglichkeit des Unternehmensverhaltens mit gesellschaftlichen Normen und Werten prüfen können, zu etablieren,

---

[35] *WEBER* versteht unter Rentabilität (genauer: Gesamtrentabilität) einer Unternehmung: Die Relation aus der Summe von Gewinnen und Zinsen zu der Summe aus Eigenkapital und Fremdkapital [89]. *GUTENBERG* versteht unter Rentabilität „... stets das Verhältnis des Erfolges zum Kapital eines Unternehmens…“ [39a]. In Abgrenzung zum Wirtschaftlichkeitsbegriff wird die Rentabilität als Ziel betriebswirtschaftlicher Bestrebungen bzw. als Ziel der Betriebsdisposition bezeichnet [90].

[36] Ein Kriterium zur wirtschaftlichen Unternehmensbewertung bildet neben Aussagen qualitativer Unternehmensdaten der Gesamtwert einer Unternehmung. Er setzt sich aus der Summe des Eigenkapitalmarktwertes (z.B. Stückzahl der Aktien multipliziert mit dem täglich notierten Börsenkurs) und dem Marktwert des Fremdkapitals zusammen.

um langfristig einen Substanzverlust an Unternehmensressourcen zu verhindern (siehe hierzu auch Anmerkung A2.17).

2.7.2 Problemsituation: Entwicklungen im Tätigkeitsfeld von Piloten

Drei wesentliche Aspekte wirken sich derzeit spürbar auf Neustrukturierungen von ökonomischen Zielsystemen im Arbeitsbereich Lufttransport aus:

- Der Einzug von Privatisierungs- und Fusionierungsbestrebungen im kommerziellen Luftverkehr,
- das wachsende Mobilitätsbedürfnis in der Gesellschaft bei einer guten Konjunkturlage und
- die zeitgleiche Einführung leistungsstarker EDV-Systeme und der damit möglich gewordenen technischen Vernetzung von Informationsquellen.

Wie in Abschnitt 1.2 dargelegt führten die rasanten Entwicklungsverläufe dieser Einflüsse zu einer schnell wachsenden Branche, die von einem zunehmenden gesellschaftlichen Verlangen nach preisgünstigen Angeboten begleitet wird. Die steigende Nachfrage führt allerdings auch zu einem verstärkten Wettbewerbsdruck zwischen den einzelnen Anbietern von Transportkapazitäten.

Formalzielorientierte Entscheidungen von Geschäftsführungen und deren Projektanten sind im operationell tätigen Unternehmensbereich (Flugbetrieb) hauptsächlich durch Maßnahmen zur Erreichung produktionswirtschaftlicher Teilziele erkennbar. In Anlehnung an *BLOECH* und *LÜCKE* [94] können in der Luftfahrtbranche zunehmend Bestrebungen beobachtet werden, die augenscheinlich zur Minimierung von Produktionskosten, zur Verbesserung der Gesamtproduktivität und zu einer Steigerung der Ausbringungsmenge (Anzahl durchgeführter Transportflüge in einer Zeitperiode) führen sollen. Rationalisierungstendenzen machen sich besonders in der Menge von abzuleistenden Arbeitsaufträgen bemerkbar. So lag das jährlich zu bewältigende Flugstundenaufkommen eines Flugzeugführers zur Mitte der 1990er Jahre noch bei ca. 500-600. Heute ist es hingegen keine Seltenheit mehr, dass bereits im 10. / 11. Monat eines Jahresarbeitszyklus das Maximum der gesetzlich zulässigen Flugzeitkontingente pro Arbeitsperson ausgeschöpft sind. Diese Erhöhung der Einsatzdichte erfordert von den Protagonisten im Cockpit Anpassungen an straffere Zeitvorgaben für die Bewältigung tätigkeitsrelevanter Arbeitsanforderungen. Zeit für kurze Ruhepausen zur geistigen und körperlichen Regenerierung während des Flugdienstes, besonders im Regional- und Mittelstreckenverkehr, gehören der Vergangenheit an. So schrumpften die projektierten Bodenzeiten (turnaround-times) innerhalb einer (Zeit)-Dekade von vormals 50 Minuten Dauer (1998) auf 40 Minuten (2008) für Flugzeugmuster mit einer Sitzplatzkapazität von über 70 im innereuropäischen Luftverkehr. Für den Regionalflugbetrieb im nahezu gleichen geografischen Einsatzgebiet bei Flugzeugen mit einer Sitzplatzkapazität von kleiner / gleich 70 beträgt die projektierte Bodenzeitdauer auf dem Vorfeld nur noch 25 Minuten. Dabei sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Cockpitarbeit für Flugnach- und -vorbereitungen für beide Flugzeugkategorien nahezu den gleichen Umfang besitzen. Die Zeitdifferenz von 15 Minuten kann in erster Näherung durch die Flugzeuggröße und den damit verbundenen höheren Zeitbedarf für Ent- und Beladungsvorgänge erklärt werden.

Das entsprechende Arbeitspensum erhöhte sich zudem durch die, von der Cockpitcrew zunehmend als notwendig erachtete, Kontrolle von Serviceleistungen durch Dritte sowie die Koordination von Bodenabläufen unter notwendiger Einhaltung von zeitlichen Aktionsfenstern (*SLOTS*) durch Flugverkehrskontrollstellen [1]. Dies gilt inhaltsbezogen auch für die Flugvor- und Nachbereitung unter Arbeitsbedingungen, die sich dahingehend verändert haben, dass die Qualität der Bereitstellung von flugrelevanten Informationen einem von außen verursachten Erosionsphänomen unterliegt. Es kann beobachtet werden, dass zunehmend vormals gut ausgebildetes und erfahrenes Abfertigungspersonal der Airlines ersetzt wird durch angelernte Mitarbeiter (oftmals im Status einer Hilfskraft) von vertraglich gebundenen Fremdunternehmen [95]. Diese Outsourcing-Maßnahmen zu kostengünstigeren Anbietern werden u. a. mit der Begründung gerechtfertigt, dass Cockpitbesatzungen mit einem dienstlich zu nutzenden Mobiltelefon (*IGCC*) und die Flugzeuge mit modernen Kommunikationseinrichtungen, wie z. B. *ACARS*, ausgestattet sind. Die Crews sind damit in die Lage versetzt worden, jederzeit aktiv in das Geschehen koordinatorisch einzuwirken. Im Rückschluss bedeutet dies jedoch eine zusätzliche Beaufschlagung der Cockpitmitarbeiter mit organisatorischen Arbeitsaufgaben und den daraus resultierenden Arbeitsanforderungen, die bisher nicht originär in ihr Tätigkeitsbereich fielen [96]. Die Situation erhält eine besondere Brisanz durch die Notwendigkeit, dass Präparationen für die intendierte Flugdurchführung untereinander koordiniert und zu bestimmten Zeitpunkten vor der *Off-Blockzeit* abgeschlossen sein müssen, damit alle Voraussetzungen für den kommenden Flug gegeben sind. Das bedarf besonders unter so genannten *SLOT*- Bedingungen eine wohl ausgebildete und zeitkoordinierte Abfertigungsprozedur, an die sich alle Akteure und Institutionen penibel anzugleichen haben, um einen pünktlichen Abflug garantieren zu können. Dies gestaltet sich besonders unter personeller sowie betriebsmittelbezogener Knappheit (aufgrund bodenseitiger Optimierungsbestrebungen) und in Hinblick auf kaum noch eingeplante Zeitpuffer durch die Luftfahrtunternehmen zunehmend schwierig, besonders bei ungünstigen Wetterphänomenen. Damit erhält die zu erbringende Qualität der Serviceleistungen von Bodendiensten, wie z. B. technischer Instandhaltungsmaßnahmen (nach EASA 145) einen hohen Stellenwert. Entsprechend des *TOP*-Ansatzes ist die logistische Zuarbeit im hohen Maße sicherheitsrelevant. Sie muss von der Cockpitbesatzung kontrolliert werden, um aus einer sicherheitsorientierten Perspektive heraus deren Qualität nach Akzeptanzmaßstäben bewerten zu können und um im Falle von Unregelmäßigkeiten / Defiziten gezielt kontextbezogene Korrekturen ansetzen zu können: Dies alles geschieht in stark reduzierten Zeitbudgets. Im Hinblick auf eine sicherheitsorientierte und ergonomisch ausgewogene Arbeitsgestaltung muss diese Entwicklung bedenklich erscheinen, da die menschliche Fehlerwahrscheinlichkeit[37] in Abhängigkeit vom Zeitdruck steigt (siehe Abbildung 2.15) - besonders im Kontext vorhandener Komplexität aufgrund von vermindertem Informationsauflösungsvermögen [99].

[37] Fehler im Sinne bzw. Umfang verschiedener Kategorien nach [97]

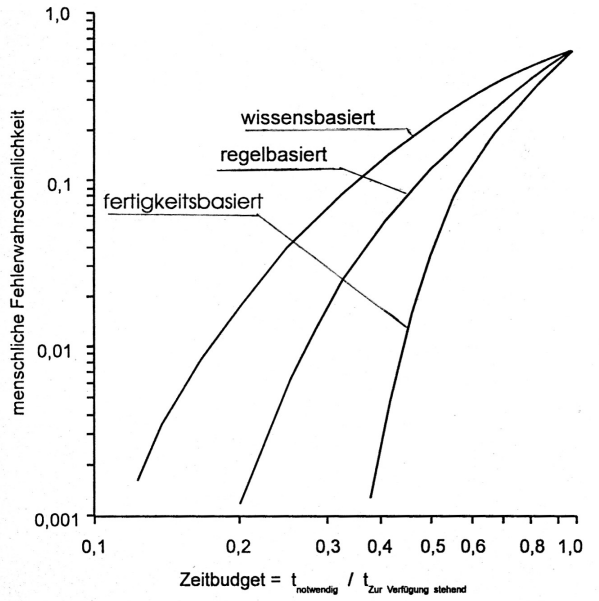


Abb. 2.15: **Fehlerwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Zeitbudgets u. des Übungsniveaus aus [98]**

Weiterhin ist hier von einer verstärkten emotionalen Selbstbeanspruchung der Cockpitcrew auszugehen, da diese sich ein hohes Maß an Arbeitsqualität abverlangen muss. Der Kapitän trägt zudem hinsichtlich der Schuldung eines schädigungslosen Flugverlaufs rechtlich die Verantwortung für die korrekten Vorbereitungen des Fluges in ihrer Gesamtheit die alleinige Verantwortung. Dieses gilt neuerdings z. B. auch dafür, dass die Passagierkabine frei ist von Dingen, von denen eine potentielle Gefährdung des Reisekollektivs durch Dritte ausgehen könnte (Prävention vor terroristischen Anschlägen). Es wird deutlich, dass die Cockpitbesatzung letztlich auch für die sicherheitsbezogenen Auswirkungen auf den Flugverlauf durch fremdbestimmtes bzw. – verursachtes Geschehen Rechenschaft ablegen muss, in rechtlicher und ethischer Hinsicht. Dies gilt besonders für die Flugabfertigungsphase. Diese arbeitsorganisatorischen Subjektivierungstendenzen sind in sofern pikant, als die Arbeitsbelastung der Crew abhängig ist von der Modalität der zu erbringenden Fremddienstleistungen, ohne eine direkte Möglichkeit disziplinarischer Handhabungen zu besitzen. Erschwerend kommt hinzu, dass dieses Konzept Verantwortungsdiffusion impliziert: Parteien bzw. Individuen, die nicht dem Transportträger-Arbeitssystem angehören, können für ihr Tun rechtlich und moralisch nur schwerlich zur Rechenschaft gezogen werden.

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung gestellten Zeitintervalle für die Bewältigung eines wachsenden Arbeitspensums, der steigenden Anzahl der Arbeitsaufträge und der zunehmenden Einwirkungen von berufsspezifischen Randbedingungen auf das soziale Leben von Piloten [100] scheint es besonders aus sozial- und individualethischen Gesichtspunkten fraglich, ob das derzeitige Vorgehen bei der Gestaltung von Arbeitsbedingungen durch Projektanten der Luftfahrtunternehmen gegenüber ihren Crews zumutbar ist. Wie die Abbildung der Titelseite eines als seriös einzustufenden englischen Luftfahrtmagazins zeigt (Abbildung 2.16), zieht sich dieser Trend der Einführung von Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung im Flugbetrieb durch weite operationelle Bereiche der Luftfahrtbranche [101]. Nicht nur bei den unmittelbar beteiligten Arbeitspersonen rufen entsprechende Veränderungen der Tätigkeitsstrukturen Skepsis hervor hinsichtlich der Verträglichkeit mit den überwiegend empirisch gewonnenen Erkenntnissen über menschliches Leistungsvermögen aus z. T. schmerzlich

verlaufenden Ereignissen der Fliegerei im Kontext des geschuldeten Sicherheitsniveaus gegenüber den Reisekollektiven bzw. der Öffentlichkeit des Lebensraums. So wurde im oben genannten Artikel bezeichnender Weise der *CEO* von *EASYJET*[38] mit den Worten zitiert: „… If you are pushing your asset to the extreme of what you can get them to do, what you want to know is: where's the boundary?..."

Darüber hinaus wächst bei den Crews der Argwohn hinsichtlich der Notwendigkeit eines verstärkten Einsatzes ihrer Handlungskompetenz zur Bereinigung von Unzulänglichkeiten bei Produktionsvorbereitungen. Gepaart mit subjektiven Identifikationsdefiziten aufgrund mangelnder Anerkennung ihrer Arbeitsleistung durch geringe Führungsqualität / defizitäre Unternehmenskultur führt dies schließlich zu Demotivierungszuständen [95]. Diese Aspekte besitzen aber offensichtlich (negative) Einflüsse auf Bilanzierungen / Ausrichtungen der *Menschlichen Zuverlässigkeit*, die wiederum im Fokus von Kausalgefügen zu Vor- und Unfällen auch im kommerziellen Luftverkehr steht. Dabei ist zu beachten, dass die Ausprägung menschlicher Leistungsvoraussetzungen generell der Zeit und der Zeitlichkeit unterliegt und somit eine wesentliche Variable bei der Konzipierung von sicherheitsorientierten Arbeitsbedingungen darstellt [102]. Diesen Aspekt näher zu bestimmen gestaltet sich allerdings aufgrund der immensen Komplexität des Sachverhalts als anspruchsvoll (siehe Anmerkung A2.18).

Abb. 2.16: **Zur Sorge über Entwicklungen der Arbeitsbedingungen von Piloten**

In der beruflichen Praxis behelfen sich Projektanten von Arbeitsprozessabläufen bisher durch Bewertungen von Faktizitäten in der Rückschau flugbetrieblicher Aktivitäten. Dabei stehen sie vor dem Dilemma, dass sich projektierte Veränderungen betrieblicher Vorgaben für die Zukunft formallogisch nicht aus positiven Erfahrungen der Vergangenheit ableiten lassen. Daher basieren z. Zt. praktizierte Strategien zur Komposition von Arbeitsbedingungen auf *Trial and Error*- Methoden, die allerdings analytisch durch ein von der ICAO empfohlenes

[38] Eigenname einer britischen Luftfahrtgesellschaft im so genannten „Low - Budgetbereich"

Trendmonitoring von Flugbetriebsdaten (*FDA* bzw. *FOQA* gemäß ICAO Annex 6) sowie durch Piloten-Reportingsysteme kontrolliert bzw. unterstützt werden. Dieses Vorgehen hat eine hohe Brisanz, da Bewertungsalgorithmen über die Sicherheitsrelevanz von Maßnahmen zur Produktivitätssteigerungen im Flugbetrieb bisher unzureichend etabliert wurden und in ihrer Gesamtheit wissenschaftlich nicht belastbar sind (s. o.).

Weiterhin muss eine Analyse der äußerst erfreulichen Entwicklung der Sicherheitsstatistik bis ca. zum Jahr 2000 differenziert erfolgen. Sie wird von positiven Aspekten dominiert, die sich aus der zunehmenden Einführung sicherheitsrelevanter technischer Assistenzsysteme und Verfahrensstrukturen zur Unterstützung von Cockpitarbeit resultieren (EGPWS mit Modes zur Überwachung / Warnung von / vor Windscherungen sowie integrierten Algorithmen zur entsprechenden Bewältigungsassistenz und CRM- und MCC- Konzepte).

Die vermutete Stagnation dieses positiv zu bewertenden Entwicklungsverlaufs bedarf jedoch einer erhöhten Aufmerksamkeit, besonders unter Berücksichtigung scheinbarer Trends von Anpassungsverhalten eingebundener Arbeitspersonen. Beobachtungen fliegerärztlicher Untersuchungsstellen vermelden eine signifikante Zunahme von Anträgen zu Kuraufenthalten ebenso wie eine vermehrte Nutzung von Teilzeitangeboten [104]. Verhandelt mit Organen der Interessensvertretungen der Pilotenschaft, werden diese Teilzeit-Angebote zunehmend von den Luftfahrtgesellschaften bereitgestellt. Es kann vermutet werden, dass deren Annahme eine Art von Anpassungsverhalten der Flugzeugführer ist bzw. eine mittelbare Art der Selbstregulation darstellt, um den Erhalt von Lebensqualität und Leistungsvoraussetzungen über die Berufstätigkeitsphase hinweg in ihrem Leben zu sichern (siehe Anmerkung A2.19).

Erste Auswertungen zu einem arbeitssoziologisch orientierten DFG-Projekt, *ALU – Multiple Entgrenzung der Arbeit des fliegenden Personals im kommerziellen Luftverkehr* [105], bestätigen deutlich einen betriebswirtschaftlich dominanten Kurs in der Luftfahrtbranche. Dieser führt dazu, dass der zunehmende ökonomische Druck von Fluggesellschaften und die mehrschichtigen Aspekte komplexer Restrukturierungsprozesse in weiten Luftfahrtbereichen über betriebliche Vorgaben zur Arbeitsorganisation bzw. als Arbeitsgesamtsituation auch auf die Besatzungsmitglieder weitergegeben werden bzw. einwirken. Die Problemsituation kann mit Bezug auf Abbildung 2.14 verortet bzw. hauptsächlich auf die Ausbildung der Relationen und gegenseitigen Abhängigkeiten der Blöcke **A→D** und **D→A** thematisch eingegrenzt werden, die durch die *TOP*-Koppelstelle akzentuiert sind.

Zusätzlich zum unmittelbaren Tätigkeitsbezug impliziert der Pilotenberuf durch seinen multilokalen Charakter facettenreiche Autoritäten, welche die persönlichen Lebensumstände bzw. deren Gestaltung bestimmen, woraus Rückkoppelungen auf die berufliche Tätigkeit eingebundener Arbeitspersonen resultieren. Darüber hinaus bilden aktuelle multiple Entgrenzungserscheinungen im Lebensraum (siehe Abschnitt 2.6.2) spürbare Interdependenzen zum Arbeitsalltag, die auch ihrerseits wiederum als Lebensanforderungen auf die Arbeitspersonen einwirken. Dabei besteht noch Unklarheit über die Modalität der Verschränkung von Einzelphänomenen zu diesem dominanten Zeitstil. Auch Antworten auf grundlegende Fragestellungen zur gesellschaftlich geforderten Mobilität [10] in Verbindung mit den Möglichkeiten zu deren schädigungsfreier Realisierung durch einen hoch technisierten Industriezweig stehen aus. Konzeptionen zur Optimierung von Arbeit in risikobehafteten Umgebungen müssen daher generell eine hohe gesellschaftliche Relevanz zugemessen wer-

den, um die Zufriedenheit von Kunden und Betreibern zu sichern und damit die Attraktivität des Transportmittels Flugzeug zu erhalten.

Vor dem Hintergrund der oben geschilderten diffusen Ausgangslage und den Ergebnissen signifikanter Untersuchungen (siehe Übersicht in [106]) hinsichtlich der Fehlbarkeit menschlichen Handelns[39], die Störungen und Unsicherheiten hervorrufen können, wird ein großer Bedarf darin gesehen, Erkenntnisse in Theorie und Praxis für den kommerziellen Luftverkehr zu gewinnen. Dies gilt besonders für den Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitpersonal auf die Betriebs- bzw. Flugsicherheit, dem sich aufgrund des hohen Grades an Komplexität und Interdisziplinarität des Themenfeldes als Gesamtkomplex bisher nur unzureichend zugewendet wurde.

2.7.3 Problempräzisierung: Zur Optimierung von Arbeitsprozessen

In der zunehmenden Ausprägung eines Spannungsfelds zwischen technisch-ökonomischer Rationalität, gesellschaftlicher Akzeptanz und humanorientierter Weltanschauung muss der prospektiven und konzeptiven Gestaltung der Arbeitswelt eine hohe Aufmerksamkeit zugemessen werden.

Wie in Abbildung 2.17 dargestellt richtet sich diese besonders auf die Optimierung von Arbeitsprozessen. Das Erreichen günstigster Wirksamkeiten des Einsatzes von Produktionsfaktoren beruht im vorliegenden Fall auf verschiedenartigen Zielbeziehungen, die vom Wesen her ungleiche Variablen enthalten und sich damit auch auf unterschiedliche Auslegungskriterien stützen. Mit Bezug auf Abbildung 2.13 und 2.14 wird hier deutlich, dass Cockpitbesatzungen im Brennpunkt von zeitdeterminierter Auftragserfüllung, von Sicherheitsrelevanz und von Bedingungen aus wirtschaftlichen Stabilitätskriterien der Unternehmungen stehen.

Dabei stellt der Arbeitsprozess die Verbindung zu diesen drei wesentlichen Gesichtspunkten dar. Dessen Modalität richtet sich nach betrieblichen Vorgaben, die als Steuervariablen zweier wesentlicher Optimierungszirkel auftreten. Dies sind zum einen die Iteration hinsichtlich optimierter ökonomischer Wirksamkeit und zum anderen der Kreislauf zur Etablierung menschengerechter Arbeitsbedingungen. Letzterer stützt sich auf das jeweilige, von der sozialen Gemeinschaft (als soziale Komponente des *Lebensraums*) in Ansatz gebrachte Menschenbild. Der betriebswirtschaftliche Zirkel unterliegt spezifischen Erwartungen aus Zielsystemen des Luftfahrtunternehmens. Beide Optimierungsprozesse werden durch Veränderungen von Gestaltungsnotwendigkeiten befeuert, die ihrerseits wiederum jeweils auf Verträglichkeit zu Strategieansätzen des Unternehmens zu prüfen sind. Beide Optimierungsergebnisse werden indirekt über den *TOP*-Zugang als Voraussetzung zur Schaffung von Betriebssicherheit einer übergeordneten gesellschaftlichen Akzeptanzbewertung (als Instanz) zugeführt. Dabei werden allerdings Gegebenheiten dahin gehend verwischt, als sich Defizite in humanorientierten Gestaltungsweisen von Arbeitsbedingungen nicht nur unmittelbar (bei Vor- und Unfällen) bemerkbar machen, sondern auch erst langfristig sichtbar werden können (Verlust der Flugtauglichkeit und damit verbundenem Verlust der Arbeitsperson). Damit wird eine einseitig auf ökonomische Wirksamkeit ausgelegte Zielstellung nicht nur aus sozialethischer Sicht, sondern auch individualethisch unakzeptabel (siehe Anmerkung A2.20).

[39] verursacht u. a. durch Fehlbelastungen und ungünstig verlaufende Interiorisation (siehe Kapitel 4)

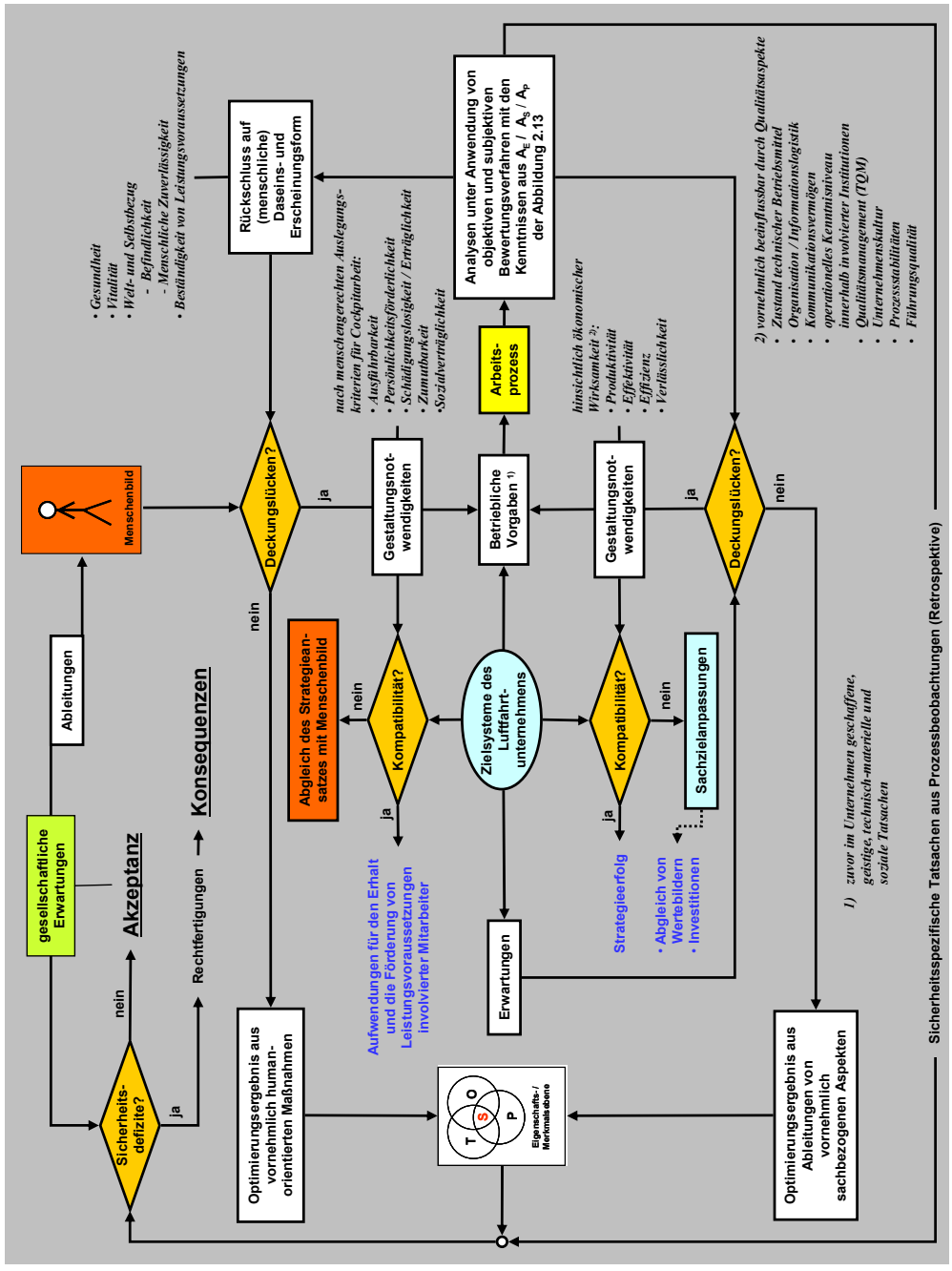


Abb. 2.17: **Der Arbeitsprozess als zentrale Aktionsinstanz im trilateralen Spannungsfeld der Aufgabenerfüllung**

Im Zuge einer Optimierung der Mensch-Technik-Umgebungs-Interaktion von Arbeitssystemen zeigt sich jedoch, dass sich im humanorientierten Optimierungszirkel der Abbildung 2.17 die Wahl eines geeigneten Bezugsniveaus[40] (Arbeitsbelastung versus Arbeitsbeanspruchung) schwierig gestaltet, um daraus Arbeitsgestaltungsmaßnahmen abzuleiten. Der Grund liegt hier im Wesentlichen im Vorhandensein von individuell bestimmten Leistungskonstitutionen bzw. –dispositionen und ihrer Veränderlichkeit. Aus einer sicherheitsorientierten Perspektive heraus tritt daher das Konstrukt *Menschliche Zuverlässigkeit* als notwendig zu erhaltende Voraussetzung und wichtige Bedingung in den Fokus der Betrachtung: Das Konstrukt erlangt neben technischen und organisatorischen Konsistenzaspekten den Status eines Kriteriums für die Auslegung der Verlässlichkeit des Gesamtsystems und determiniert darüber hinaus dessen Existenzgrundlage. Als problematisch erweist sich jedoch, dass zurzeit hinsichtlich der Möglichkeit seiner Quantifizierbarkeit ein Wissensmangel herrscht.

Abb. 2.18: **Wesentliche Einflussfaktoren auf die Menschliche Zuverlässigkeit nach *BARTSCH* [6] (aktualisiert)**

Das Attribut *Menschliche Zuverlässigkeit* stellt die Konsequenz aus dem Wirksamkeitsgefüge von sich verändernden Verlaufsinitiativen aus dem Arbeitsprozess und der mittelbaren und unmittelbaren Umgebung des Individuums sowie dessen augenblicklich existierenden Formen seiner Daseinsstruktur dar. In Abbildung 2.18 sind die Interdependenzen wesentlicher Einflussfaktoren auf das *MZ*-Konstrukt aufgezeigt [6].

Die Grafik beleuchtet noch einmal zusammenfassend die Relevanz menschengerechter Auslegung von Arbeitsvoraussetzungen und Arbeitsbedingungen zum Erreichen eines Ziels von bester gemeinsamer Wirksamkeit des Arbeitsprozesses. Dabei implizieren die Ausprägungen einzelner Gegebenheiten bzw. Faktizitäten in ihrer integrativen Gesamtheit besonders auch emotionale Zustände und Befindlichkeiten, die sich in Bewältigungsstrategien zeigen

[40] *BARTSCH* führt dieses Dilemma in seinem Beitrag weiter aus [84]

(siehe Kapitel 5) und rückgekoppelt die Verfügbarkeit von Leistungsvoraussetzungen beeinflussen.

2.7.4 Problemfixierung: Zur Begrenzung von menschlichem Leistungsvermögen

Der arbeitende Mensch stellt ein wesentliches Regulationselement in soziotechnischen Systemen dar. In einer anscheinend zunehmenden Entgrenzung des politischen, gesellschaftlichen, ökonomischen und technischen Weltgefüges (siehe Abschnitt 2.6.2) muss er einerseits seine Adaptionsfähigkeit beweisen. Andererseits steht er aufgrund seiner eingeschränkten Ressourcen bzw. mit seinem begrenzten Vermögen, diese abrufen zu können, auch als limitierende Komponente im Gestaltungskontext von Maßnahmen zur Steigerung der Arbeitsproduktivität. Letzterer kommt industrieweit im Rahmen etablierter Optimierungsprogrammen von Arbeitsprozessen eine immer größere Bedeutung zu.

Arbeitssysteme besitzen vom Wesen her unterschiedliche Arten bzw. Formen von Betriebsbegrenzungen. Im Gegensatz zu eindeutig bekannten funktionalen Limits technischer Betriebsmittel sind besonders mentale Beanspruchungsgrenzen von Arbeitspersonen abhängig von ihren momentan verfügbaren psychophysischen Leistungsvoraussetzungen in Kombination mit der individuell verschiedenen Modalität des Einflusses von Arbeitsanforderungen auf das Subjekt. Die augenscheinliche Existenz von Begrenztheit kann allgemein als bekannt angesehen werden. Sie beeinflusst generell vorzunehmende Handlungsregulationen in den Tätigkeitsbereichen von Arbeitspersonen und wird vornehmlich Akteuren bewusst, die risikoreichen Arbeitsumgebungen ausgesetzt sind. Neben Fragestellungen zur gesellschaftlichen Akzeptanz, die an dieser Stelle ausgeblendet werden sollen, herrscht weitgehend Unklarheit über die Gestalt und die Verortung von menschlichen Leistungsbegrenzungen im vielfältigen Spektrum des Zusammenspiels der Persönlichkeitsstruktur der Arbeitsperson mit Arbeitsanforderungen und Gegebenheiten aus tätigkeits- sowie lebensrelevanten Umgebungsbedingungen. Vor dem Hintergrund, der in Abschnitt 2.7.3 dargestellten komplexen Sachlage reflektiert sich hiermit ein wesentlicher Probleminhalt. Die Entscheidung einer wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dessen Gehalt soll wie folgt untermauert werden:

Neben der Güte von organisatorischen Relationen im Flugbetrieb, der Eignung bereitgestellten Luftfahrtpersonals und dem Wert technischer Beschaffenheit von Betriebsmitteln (Sicherheitsgüte [23a]) bildet die jeweilige Interaktionsart der Arbeitssystemelemente, innerhalb ihrer spezifisch verschiedenen Betriebsbeschränkungen bzw. „Betriebsenveloppen“, wesentliche Voraussetzungen zur Schaffung von Betriebssicherheit der Luftfahrzeuge. Daraus lässt sich u. a. die übergeordnete Frage ableiten, inwieweit das Maß und die Art der Arbeitsbelastungen von Cockpitbesatzungen vereinbar sind mit dem hohen gesellschaftlichen Anspruch an einen sicheren Betrieb von Verkehrsflugzeugen, um Gefährdungen des Transportträger-Arbeitssystems zu minimieren. Somit kann der Klärung von Grenzen menschlichen Leistungsvermögens der im Flugbetrieb eingebundenen Arbeitspersonen eine hohe gesellschaftliche Relevanz unterstellt werden. Wäre dieses Vorhaben erfolgreich, so bestünde die Aussicht aus den dann wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen Grundlagen zur Optimierung von Arbeitsgestaltungsoptionen ableitet zu können (siehe dazu Anmerkung A2.21). Diese Aspekte könnten zur Erhöhung der Flugsicherheit beitragen, die wiederum u. a. zu einer höheren Effektivität von Flugarbeitssystemen und ihrer Subsysteme führen und damit gleichzeitig die Betreiber- und Kundenzufriedenheit anheben.

Dazu ergänzend die folgende Illustration: Ein Gebiet von reduzierter bzw. verloren gegangener Betriebssicherheit wird anschaulich in der von *HAAKONSON* beispielhaft schematisierten Lagedarstellung der Abbildung 2.19 gezeigt. Hier sind jeweils vereinfacht die Zeitverläufe[41] dargestellt von subjektiver *performance ability* und des vorherrschenden situationsrelevanten *performance demand* der aktuellen Anforderungsbewältigung einer fiktiven Flugdurchführungssequenz. Dabei wird die Differenz zwischen *ability* und *demand* pragmatisch interpretiert (allerdings hier noch mit hypothetischem Charakter) als verfügbare Sicherheitsmarge bzw. als aktuelles Maß an Sicherheit im Produktionsverlauf. In der rot umrandeten Zone ist diese reduziert bzw. nicht mehr gegeben [107].

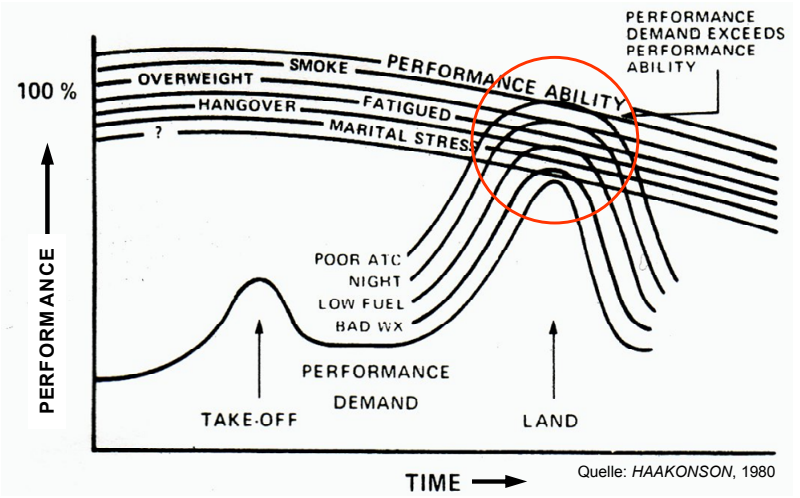


Abb. 2.19: **The „accident zone" – *performance demand* überschreitet die augenblicklich vorhandene *performance ability***

Im Sinne der vorgestellten Problemfixierung gilt es einen Ansatz zu entwickeln, mit dem es aussichtsreich erscheint, das Vorhandensein der in Abbildung 2.19 benannten potentiellen Problemzonen zu erkennen, um prospektiv geeignete Gegenmaßnahmen zum Schutz von Menschen und Sachen einleiten zu können. Dies gilt für Passagiere und Transportgut ebenso wie für Arbeitspersonen im Hinblick auf Schädigungsfreiheit von Leben, auf den Erhalt ihrer Gesundheit, der Persönlichkeitsförderlichkeit und der Verträglichkeit mit sozialen Bedürfnissen.

2.7.5 Problemstellung: Ausgangspunkt des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns

Die Grundzielstellung des Autors richtet sich auf die Auflösung wesentlicher Widersprüche aus Abschnitt 2.7.3. Wie in Abschnitt 2.7.4 des vorliegenden Beitrags weiter eingegrenzt umfasst die folgende Untersuchung das Aufspüren von *internalen Konstellationen* einer Arbeitsperson im Arbeitsprozess, die aufgrund aktueller Anordnungen menschlicher Leistungsbegrenzungen zielorientiertes Agieren bzw. regulative Systemmanipulationen zur Anforde-

[41] Zur Vermeidung semantischer Undeutlichkeit werden hier die englischen Ausdrücke verwendet.

rungs- bzw. Situationsbewältigung erschweren bzw. verhindern. Dabei gilt das Interesse zunächst hauptsächlich dem Erkennen solcher Zustände und deren Indikation.

Der Problemgegenstand erschließt sich zum einen aus dem z. Zt. weitgehenden Unvermögen arbeitsprozessrelevante Organisations- bzw. Daseinsformen eingebundener Arbeitspersonen für die hier vorliegenden hochkomplexen Flugbetriebsbedingungen und Konstellationen zu erfassen, zu bestimmen, einzuordnen und in Relation zum Wirkungsgefüge aktueller Situationsabläufe zu bringen. Zum anderen besteht Unkenntnis über eine Herangehensweise, welche eine Möglichkeit eröffnen würde, Übergänge von Regulationsmodalitäten bzw. Änderungen benannter Organisations- und Daseinsform in Richtung auf ein nicht mehr zu akzeptierendes Regulationsvermögen hin zu registrieren und in geeigneter Form reproduzierbar zu machen, um eine quantitative Abgrenzung von Indikatoren eines kritischen Regimeübergangs beleuchten zu können.

Der Aufbau wesentlicher Problembedingungen ergibt sich einerseits aus dem Grad menschlicher Systemkomplexität und andererseits aus der Mannigfaltigkeit der objektiven Realität sowie aus deren Wandlung zur subjektiven Wirklichkeit durch die Persönlichkeit der Arbeitsperson. Die Problembedingungen tragen unterschiedliche dynamische Charaktere. Sie sind eingebunden in kausale Verknüpfungen von Aspekten aus Flugbetriebsanforderungen, aus den Zeitstrukturen menschlichen Leistungsvermögens und aus den Relationen Zwecktragender Komponenten von zu schaffender Betriebssicherheit und Auftragserfüllung.

Mit Bezug auf eine prozessorientierte Situationsbewältigung soll die Problemstruktur anhand einer Ableitung des in Abschnitt 2.3.4 wiedergegebenen Menschenbilds von *TOMASZEWSKI* verdeutlicht werden. Danach lässt sich als übergeordnetes Hilfsgerüst zur Erstellung eines Aussagenpfads in der Argumentation zur Zielerreichung postulieren, dass *dann kein umfassender Schutz des Arbeitssystems vor Gefährdungen vorhanden sein kann, wenn die jeweilige Daseinsform der Arbeitsperson / -en von Cockpitbesatzungen derart gestaltet ist, dass diese nicht mehr zur Regulierung der eigenen Beziehung mit der Umgebung und zur Selbstregulation fähig ist / sind*[42]. Dabei erschließt sich der Existenzbereich akzeptablen Regulationsvermögens[43] letztlich durch Abwesenheit von Divergenzen zwischen den beiden wesentlichen zeitabhängigen Ereigniselementen, nämlich den Regulationswirkungen und dem Situationsfortschritt. Das Auseinanderstreben dieser Entwicklungspfade kann mit Hinblick auf die Arbeitsperson hervorgerufen werden durch begrenzte Ressourcen (im Sinne von Leistungsvoraussetzungen) bzw. durch deren defizitären Einsatz.

---

[42] Diese Ausführung benennt einen Fließzustand, der gleichbedeutend wäre mit einem Verlust an *Menschlicher Zuverlässigkeit*.

[43] Wie im Folgenden des Kapitels 3 gezeigt wird, stellen dabei ein intakter Selbstbezug und die Sinnerzeugung von individuell produzierter Aktivität aus gefällten Entscheidungen im Rückblick eine konzeptionelle Notwendigkeit für das Vorhandensein von Regulationsvermögen.

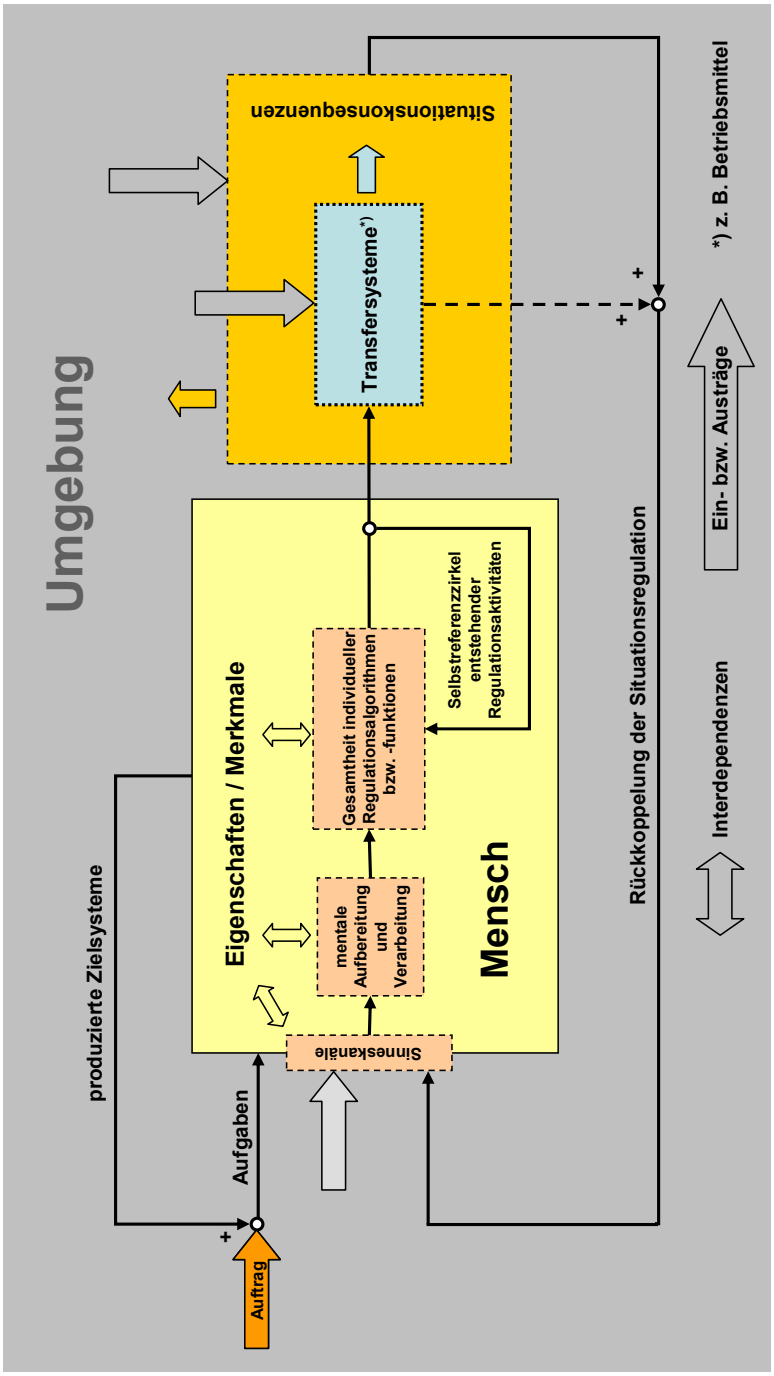


Abb. 2.20: **Wirkungsplan voneinander abhängiger Regulationszirkel zur Situationsbeeinflussung im Arbeitsprozess**

Der wesentliche kybernetische Charakter der Problemstruktur wird aus Abbildung 2.20 offensichtlich. Vereinfacht ergeben sich in der üblichen Darstellungsweise aus der Regelungstechnik[44] mehrere voneinander abhängige Regulationszirkel, die aufeinander abgestimmt die dynamische Ganzheit von Regulationsverlaufszenarien reflektieren. Dies sind im Einzelnen: Der Selbstreferenzzirkel zur Handlungsentstehung, die Rückkoppelungen aus Situationskonsequenzen und der Eigenheit von Transfersystemen (regelungstechnisch: Regelstrecken wie z. B. Transportträger) sowie der Produktionszirkel von Aufgaben, die an Aufträge gebunden sind. Dabei wird das Problematische projiziert auf die zentrale Instanz der Willensbildung und –ausführung in der augenblicklichen Daseinsform des Menschen (siehe hierzu einen Diskurs als Anmerkung A2.22)

2.7.6 Zur Problemtypologie und propagierten Lösungsmethodik

Nach der Aufschlüsselung der primären Problemstellung hinsichtlich ihrer Struktur und ihrer Elemente sollen die erkannten Widersprüche im Vorgriff auf eine intendierte Zielrealisierung mit Hilfe von Einteilungsgesichtspunkten geordnet werden, um den Prozess des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns ausrichten zu können. Aufgrund des hohen Komplexitätsgrads der Problembedingungen bleibt noch undeutlich, ob vorhandene fundierte wissenschaftliche Teilerkenntnisse ausreichend sind das Grundproblem zu lösen, welchen Wissenschaftsdisziplinen sie ggf. zu entnehmen sind und ob u. a. Mittel und Methoden ausreichend bzw. geeignet sind einen Realisierungsalgorithmus zu bestimmen [109]. Das bedeutet, dass sich theoretische und praktische Aspekte bei der Typisierung des Grundproblems verknüpfen. Weiterhin zeichnet sich ab, dass eine Zerlegung des universell erscheinenden Widerspruchs in Teilprobleme nur mit Hilfe weiterer Analysen der Problemstellung erfolgen kann. Deutlicher dagegen fällt allerdings die Zuordnung von Formen aus, in der sich der Hauptwiderspruch präsentiert. Diese ergeben sich einerseits aus der ungenügenden Kenntnis der verschieden gelagerten Zusammenhänge im Wirkungsgefüge der Regulationszirkel (siehe Abbildung 2.20) und andererseits aus dem Unvermögen die Substanz des Problemgegenstandes objektiv[45] anzuzeigen. Letzteres deutet auf ein Demonstrationsproblem hin, welches eng mit einem Relationsproblem verbunden ist. Die Beschaffenheiten beider Problemtypen induzieren in Kombination ein Erklärungsproblem.

Da ein passender Algorithmus zur Lösung des Grundproblems fehlt, ist es angebracht schrittweise ein Ziel realisierendes Aussagensystem zu erarbeiten. Dies sollte zunächst über ein zu generierendes theoretisches Konstrukt erfolgen, um eine Verletzung der Einheit von Theorie und Praxis zu vermeiden. Diese Hilfskonstruktion ist dann mit Hilfe empirischer Methoden zu validieren, um es danach, in einer nächst höheren Stufe des Erkenntnisgewinns, als Modell bzw. Analysewerkzeug praktisch in Felduntersuchungen einsetzen zu können.

Diese Einzelschrittfolge zum Erkenntnisgewinn scheint aus der derzeitigen Perspektive aussichtsreich, um den Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen auf die Flugsicherheit strukturiert zu identifizieren und bewerten zu können.

---

[44] in Erweiterung zur klassischen Regelungstechnik bezieht die Darstellung in Abb. 2.20 sich nicht nur auf kompensatorische Regulationstätigkeiten

[45] im Sinne einer „…Sicherstellung der Möglichkeit der intersubjektiven Überprüfbarkeit der Vorgehensweise und der damit gewonnenen Ergebnisse“ [110]

Mittels der propagierten Lösungsmethodik, deren Kern die Modellierung des problematischen Sachverhalts darstellt, können Teil- bzw. Nebenprobleme deutlicher erkannt, deren Elemente exakter erfasst und in weiteren Einzeletappen bearbeitet, gelöst und zur Komplimentierung des Realisierungsalgorithmus integriert werden[109]. Dahin gehend stellt das theoretische Konstrukt einen ersten wesentlichen Basisbaustein zur Zielrealisierung dar.

An die Konstruktentwicklung muss die Anforderung gestellt werden, dass sie in der Lage ist wissenschaftlich fundierte Einzelerkenntnisse, bewährte Konzepte, Methoden und Mittel zusammen zu führen bzw. zu integrieren, um diese dann vor dem Hintergrund berufsspezifischer Erfahrungen vernetzen zu können. Dieser Ansatz verfolgt das primäre Ziel eine Grundlage zu schaffen, die sich eignet Übergänge von akzeptablem zu nicht mehr tolerierbarem menschlichem Regulationsvermögen im Arbeitsprozess aufzuspüren und anzuzeigen.

Um die Erstellung des Konstrukts zielorientiert auszurichten wird das folgende theoretische Aussagensystem als Arbeitshypothese bzw. Grundhypothese entworfen:

Es wird angenommen, dass mit Hilfe arithmetischer Beschreibungsprinzipien dynamische Systemexistenzen bzw. Daseinsformen von Arbeitspersonen u. a. aus Modalitätsindikatoren der Handlungsentstehung abgeleitet und derart kategorisierbar sind, dass sicherheitsrelevante Grenzen ihres vornehmlich mentalen Leistungsvermögens hierüber identifiziert werden könnten.

Die komprimierte Formulierung weist schon auf implizite und explizite Verflechtungen von Konditionalbeziehungen in der *„wenn A, dann B“*- Form hin, die sich auf Kybernetikelemente des zu untersuchenden Sachverhalts gründen, wie sie Abbildung 2.20 gezeigt werden. Abbildung 2.21 verdeutlicht dies.

Aufgrund des hohen Komplexitätsgrads von Umgebungs- und inhärenten Systembedingungen scheint es sinnvoll einen intendierten theoretischen Ansatz in integrativer[46] Form auszuführen. Durch das weite Subjektivitätsspektrum individueller Eigenartigkeiten des Menschen empfiehlt es sich weiterhin, sich zunächst auf die Möglichkeit der kategorialen Zuordnung[47] eines Abbilds der augenblicklich präsenten Daseinsform der Arbeitsperson bzw. ihrer aktuellen Daseinsmerkmale, wie z. B. der *Menschlichen Zuverlässigkeit* im Arbeitsprozess zu beschränken. Allein die Kenntnis des aktuell vorhandenen Niveaus[48] an *Menschlicher Zuverlässigkeit* bildet die notwendige Voraussetzung zur Erlangung von Gewissheit über Abwesenheit bzw. Anwesenheit von Überforderung der Arbeitsperson. Hier wird jedoch die Schwierigkeit einer Quantifizierungsmöglichkeit deutlich, die mit der verfolgten oben dargestellten Zielrealisierung bewältigt werden soll. Als Ausgangspunkt für dieses Vorhaben ist in den folgenden Abschnitten zunächst ein geeignetes theoretisches Konstrukt zu entwickeln. Dieses muss die Tauglichkeit aufweisen, empirisch erkannte und relevante Merkmale bzw.

---

[46] … denn der Ausdifferenzierung einzelner Einflüsse sowie deren Interdependenzen und einer anschließenden Korrelation von situationsspezifischen Konsequenzen wird aufgrund der Vielfalt von Systemeinträgen und der immensen und ungewissen Anzahl von Möglichkeiten raumzeitlicher Existenzen des Systems keine Aussicht auf Erfolg zugestanden.

[47] als Qualitätskriterium hinsichtlich einer sicherheitsorientierten Akzeptanzbetrachtung

[48] Dies wäre im Verlauf des Beitrags noch hinsichtlich der Attribute akzeptabel / unakzeptabel fest zu legen. Damit wäre sich auch einer Abgrenzung der Begrifflichkeit selbst nach der Kategorienlehre *KANT*s weiter genähert.

Eigenschaften „menschspezifischer“ Aspekte zur Regulation von Cockpitarbeit in geeigneter Weise zu extrahieren, abzubilden und zum Zweck ihrer Reproduzierbarkeit und Interpretierbarkeit in eine mathematische Form zu bringen.

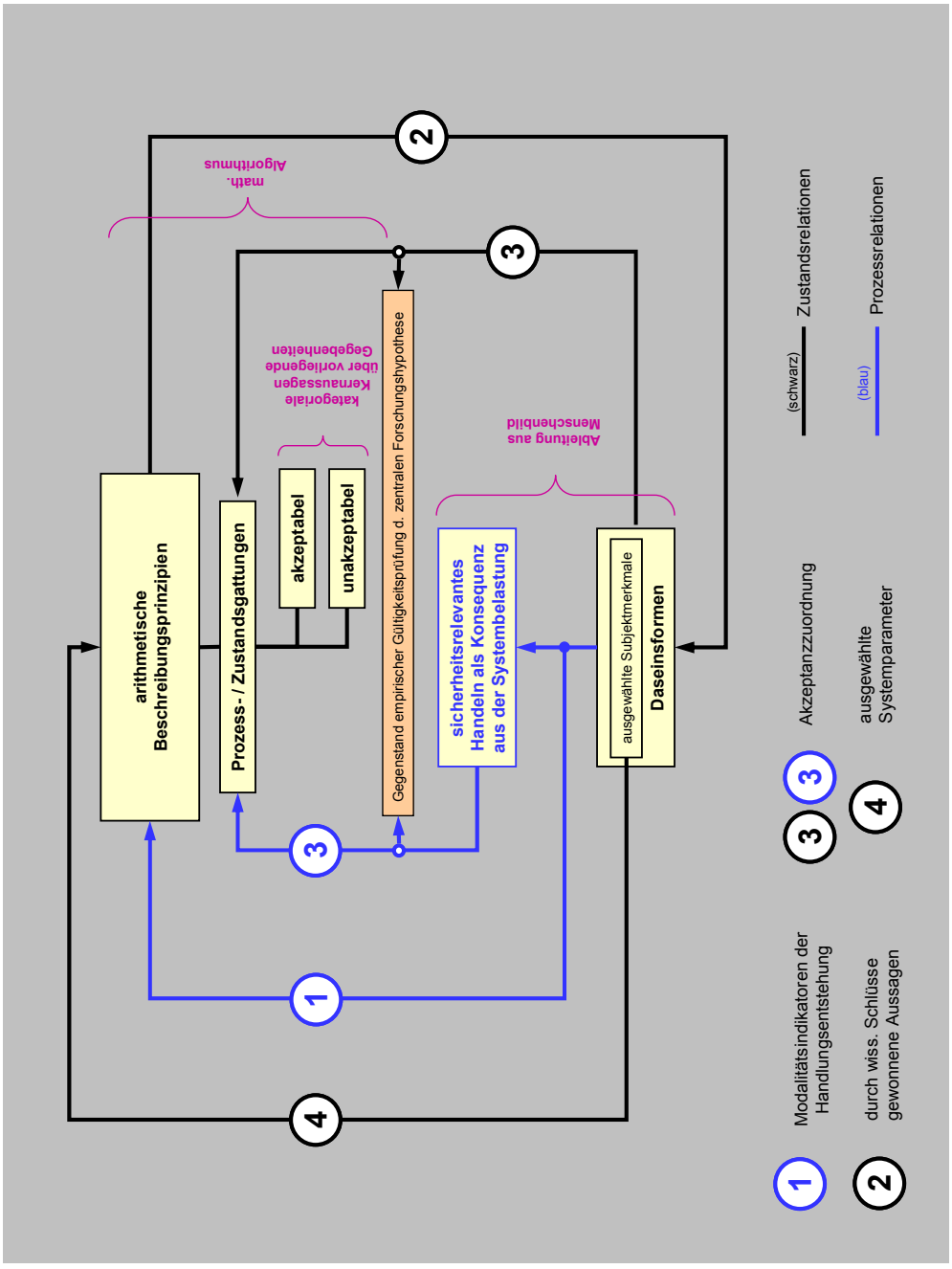


Abb. 2.21: **Zum Aussagesystem der Konstruktentwicklung**

Kapitel 3

Anschauungskonstrukt des Arbeitsregulationsprozesses

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Erstellung eines Anschauungskonstrukts, um wesentliche Abläufe von Arbeitsregulationsprozessen zu erfassen. Das Konstrukt bildet die Grundlage dafür, eine mathematische Abbildung regulationsspezifischer Aspekte aus einer „generalisierten Perspektive der Arbeitsperson“ zu modellieren. Mit Bezug auf fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse unterschiedlicher Fachrichtungen werden dabei im Kontext der Arbeitstätigkeit berufsspezifische Erfahrungen von Verkehrsflugzeugführern ausgewählt, extrahiert, miteinander ins Verhältnis gesetzt und in ihrer Ablauffolge ereignisbezogen platziert. Es handelt sich also hierbei um eine prozessorientierte Abstrahierung vorwiegend mentaler Abläufe zur Situationsregulation während der Ausübung von Cockpitarbeit. Diese trägt sowohl einen „sammelnden“ als auch einen „sortierenden“ Charakter. Die entsprechenden Inhalte und deren Relationen bestimmen dabei die als gedankliche Hilfskonstruktion aufgestellte Prozessarchitektur. Deren Struktur basiert wiederum auf arbeitswissenschaftlichen Konzepten, naturwissenschaftlichen Denkmustern und praxisrelevanten Begründungen aus der Arbeitspsychologie zur Metapher *Leben*. Dabei handelt es sich vornehmlich um die folgenden subjektbezogenen Gesichtspunkte:

- Paradigma der Selbstorganisation von Systemen
- einer gewählten Belastungs-Beanspruchungskonzeption
- psychischen Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit

Die vorliegende Konstruktentwicklung ist systemisch orientiert. Illustrationen sind an den in der Flugbetriebstechnik verwendeten Darstellungsstil angepasst.

Der Kern des eingegrenzten Arbeitssystems nach Abschnitt 2.3.4 ist der arbeitende Mensch. In Anlehnung an das Menschenbild von *TOMASZEWSKI* und grundlegende biophysikalische Erkenntnisse zur Interpretation von natürlichen Regulationsprozessen, wird er als „offenes und sich selbst organisierendes Subsystem“ definiert. Damit soll in Analogie zu Erkenntnissen aus der Nichtgleichgewichtsthermodynamik der Zugang zu einer vorerst theoretischen Parameterbestimmung hergestellt werden. Der Charme in diesem Vorhaben wird in dem Ausblick gesehen, einen Operanden aufspüren und mathematisch formulieren zu können, über den es letztlich möglich erscheint, Rückschlüsse auf Grenzen des menschlichen Leistungsvermögens zu ziehen. Der bislang mangelnde Erkenntnisstand zwingt allerdings dazu vorerst hypothetische Annahmen für die Modellierung einer entsprechenden Konstruktion treffen zu müssen.

Der Inhalt des zu entwickelnden Konstrukts sind „Systemgrenzen überschreitende“ Entwicklungsgänge bzw. Konvertierungen: von multiplen situationsinhärenten Reizmusterausprägungen hin zu beobachtbaren Handlungsmusterabfolgen. Die Dynamik dieser rückkoppelnden Reaktionen reflektiert das Wesen aktueller Daseinsformen des Subsystems Mensch. Das Maß an Korrelation zwischen seinem momentan wirkenden System-schützenden Aktivitätsgehalt und dem gesellschaftlich geprägten Sicherheitserwartungen soll als Indikator für das Niveau seines aktuellen individuellen Leistungsvermögens verstanden werden.

Auf einer abstrakten Ebene kann das betrachtete Subsystem als ein natürliches, Ressourcen nutzendes bzw. wandelndes und diese u. a. in energetisch vielfältiger Form an die Umwelt abgebendes, also *dissipatives* System betrachtet werden [59a]. Zur globalen Stabilisierung seiner Existenz kommuniziert es mit seiner Umgebung und steht so mit dieser im ständigen Austausch von natürlichen Größen, wobei sich multiple Relationen zur Systemperipherie entwickeln. Die anhaltende gegenseitige Beeinflussung führt zu relativen Systemanpassungen und zu Kreationen vielfältiger Verhaltensweisen. Das multilaterale Wirkungsfeld des Systems ist durch Rückkoppelungsschleifen geprägt. Diese ermöglichen prozessgebundene Zielbildungen, deren Verwirklichung durch die Abfolge der Gesamtheit von Handlungen zu Arbeitstätigkeiten führen. *HOFKIRCHNER* bezeichnet diese mit ihrer Umgebung kohärenten, evolvierenden und damit sich selbst gestaltungsfähigen komplexen Systeme als *re-kreativ* [111]. Sie nehmen eine Sonderstellung in der Kategorie *autopoiesischer Systeme*[49] ein, die wiederum eine Klasse höherer Entwicklungsstufen von sich selbst organisierenden Systemen darstellen. Wie Beobachtungen zeigen, können *re-kreative* Systeme sowohl geordnetes wie auch chaotisches Verhalten hervorbringen. Die Art und Weise des Zustandekommens von Daseinsformen bzw. dynamischen Existenzen solcher Systeme und ihrer Funktionen sollen hier unter dem Abschnitt 3.1 angesprochen werden - sie sind u. a. eng mit Frage- und wissenschaftlichen Problemstellungen zum Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Metapher *Leben* verbunden. Dabei besteht das Ziel darin, ausgewählte Aspekte und Erkenntnisse aus dem interdisziplinären Forschungsgebiet der „Selbstorganisation lebender Strukturen“ zu nutzen. Dies wird als sinnvoll angesehen, um eine wissenschaftlich gesicherte Grundlage für die Argumentation des vorzustellenden hypothetischen Ansatzes zur Kategorisierung der Daseinsformen „individueller Subsysteme“ bereitstellen zu können.

Darüber hinaus wird als Einführung ein kurzer inhaltlicher Extrakt aus der ausgewählten und als relevant eingestuften Literatur gegeben, der als „naturalistischer“ Pfad durch das umfangreiche Forschungsgebiet mit all seinen Facetten aus unterschiedlichen Disziplinen dienen möge. Eine derartige Orientierungshilfe scheint auch deshalb nötig, weil sich Inhalte und Ansätze aus diesem Themengebiet zunächst in einem hohem Maße miteinander verschränkt darstellen und sich oft mit einem zunächst allzu kryptisch anmutenden Charakter präsentieren. Die sich daraus entwickelnde hohe didaktische Redundanz wird an dieser Stelle bewusst in Kauf genommen.

3.1 Zur Selbstorganisation komplexer Systeme – Ein Diskurs

Unter dem Paradigma Selbstorganisation verstehen *EBELING et al.* „... Prozesse, die weitab vom (thermodynamischen) Gleichgewicht ablaufen und durch systemimmanente Triebkräfte zu komplexeren Ordnungsstrukturen führen…“[113]. Dazu bedarf es Grundbedingungen wie die Fähigkeit zur Kommunikation mit der Umgebung, d. h. die Existenz von relativer *Systemoffenheit*. Im Gegensatz zu isolierten Systemen, die sich auf ihren jeweiligen Gleichge-

[49] Als *Autopoiese* bzw. Selbsterneuerung oder innere Bedingtheit wird die Eigenschaft lebender Systeme bezeichnet, die „…sich ständig selbst zu erneuern und diesen Prozess so zu regeln, dass die Integrität der Struktur gewahrt bleibt…“ [112]. Die selbstreferentielle Eigenschaft des Systems wird durch innere Rückkoppelungsprozesse ermöglicht.

wichtszustand hin entwickeln, stellt überkritische[50] *Gleichgewichtsferne* eine weitere Rahmenbedingung zum Bestehen von Selbstorganisation dar. Aus physiologischer Sicht wird sie bei biologischen Systemen durch einen funktionsfähigen Stoffwechsel aufrechterhalten. Dieser ermöglicht, als Rahmenbedingung, u. a. physische, kognitive und psychische kooperative Abläufe, die in Abschnitt 4.4 mit Hilfe von Aspekten aus der Transportphysik beschrieben und arithmetisiert werden. Weiterhin kann für die im System raumzeitlich platzierten Prozesse in der Regel von zyklischer Organisation ausgegangen werden [112a]. *EIGEN* konnte mit seiner Theorie der molekularen Evolution u. a. zeigen, dass von lokalen Wechselwirkungen z. T. in Kooperationsverbänden (*Hyperzyklen*) durch *autokatalytische Reaktionen* (Selbstverstärkung) Massenwirkungen entstehen, die zu spontaner Bildung von Strukturen in der Mikroebene führen können [114]. Die so entstandenen Formationen sind charakteristisch für die Art und Weise, wie das System mit Einträgen aus seiner Umgebung umgeht. Dabei ermöglicht wiederum die Formbarkeit und Flexibilität solcher Strukturen aufgrund dynamischer Relationen die Selbstorganisation durch den eigenen Systembezug (*Autopoiese*) [112b]. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages erscheint es als hinreichend, die Energie verwertenden Zyklen zur Umwandlung von Information tragenden Elementen, unabhängig von ihrer Komplexität, als Selbstorganisationsabfolgen (SO-Sequenzen) zu bezeichnen. Als *Struktur* werden hier in Anlehnung an *JANTSCH* [112c] raumzeitlich sortierte interaktive Elemente von Selbstorganisationsprozessen bezeichnet. Dabei beschreibt der Begriff *Ordnung* als Organisationsform u. a. auch einen aus sich selbst entstehenden inneren Systemstatus, der sich durch eine spezifische Organisationsform auszeichnet. Diese ist das herausgewachsene komplementäre Ergebnis einer inhaltlich-funktionellen Konfiguration bzw. Formgebung von zielgerichteten Prozesskenngrößen, die nach bestimmbaren Prinzipien der *Synergetik* (z. B. Synchronisation durch „Versklavung“) koordiniert und zusammengefügt wurden. Sie sollen durch das Ausprägungsvielfache von Prozessparametern unterschiedlicher Muster beschreibbar sein. Diese *synergetischen* Konzepte werden von *HAKEN* [80] eingehend diskutiert.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt im Selbstorganisationsprozess stellt nach *PRIGOGINE* das Vorhandensein von *Irreversibilität* dar [115]. Als Bruch zeitlicher Symmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft bildet sie die Grundlage für das Vorhandensein von Kausalität. Damit werden als *Prozesse* die Abfolge bzw. zeitgerichtete Änderungen u. a. auch innerer Zustände von Ungleichgewichtssystemen bezeichnet.

Das Maß an irreversiblen Systemveränderungen äußert sich physikalisch in der Zunahme von *Entropie*. Die Intensität von deren Produktion (Produktionsgeschwindigkeit bzw. Produktionsrate) sowie der Entropieumsatz mit der Umgebung könnten sich für die Kennzeichnung globalen Systemverhaltens eignen. Damit ist in erster Linie auch die Frage nach Stabilität[51] der dynamischen Existenz[52] des Systems verbunden. Stabile Strukturen zeichnen sich durch

---

[50] Abgrenzung des autopoiesischen Betriebsbereichs eines Systems vom reinen thermodynamischen determinierten Existenzbereich eines Gleichgewichtssystems

[51] Stabilität: im Sinne von Beständigkeit des Systemvermögens zur Herstellung eigener (geordneter) Integrität

[52] Die dynamische Systemexistenz wird gekennzeichnet durch die Aktivität der Wirkgesamtheit der Strukturen von mikroskopischen und makroskopischen Nichtgleichgewichtsprozessen. Sie wird im Konstrukt mit Ordnungsprädikaten belegt (siehe Kapitel 5).

das Vermögen der Ausbalancierung von Fluktuationen in denjenigen Mechanismen aus, die zu „…Modifikationen des makroskopischen kinetischen Verhaltens…“ führen können [112d]. Ein Nichtgleichgewichtssystem ist bemüht fortwährend *Fließgleichgewichtszustände* zu produzieren. Instabilitäten hingegen ermöglichen Phasenübergänge zu neuen evolutionären, dynamischen Regimes bzw. operationellen Modi veränderter Qualität. Es konnte beobachtet werden, dass Regimewechsel mit einer für das System momentan maximal möglichen Entropieproduktionsrate bei einem gleichzeitigen Zusammenbruch der Kommunikationsaktivität mit seiner Umgebung einhergehen. Ein wesentlicher Schlüssel zu dieser operationellen Eigenheit von sich selbst organisierenden Systemen wird in der *Komplementarität* der Entwicklung ihrer Struktur- und Funktionsverläufe durch entsprechende Fluktuationen von Prozessgrößen gesehen. Die oben beschriebenen Primärbedingungen zum Erhalt der Systemexistenz ermöglichen es, dass lebende Strukturen durch die Möglichkeit interner Selbstverstärkung von zufälligen und / oder durch positive, innere Rückkoppelung entstandenen Fluktuationen bei der Überschreitung eines systemimmanenten Schwellwertes zu anderen Integritäten „evolvieren“ können. Dabei tragen die neu kreierten Ergebnisstrukturen der makroskopischen Systementwicklung einen selbstreferentiellen[53] Charakter.

Wie im Abschnitt 3.2 gezeigt wird, begleiten Fluktuationen von Entropieproduktionsraten des Systems den eigenen mikroskopischen Ordnungsaufbau. Während des Systembetriebs stehen zufällige Fluktuations-verstärkende Reaktionen durch Wandlungen von Einträgen und notwendige Fluktuations-dämpfende Koppelungsaspekte von Subsystemen der Umgebung im Wettbewerb. *NICOLIS* und *PRIGOGINE* [116] zeigten, dass zu Aussagen über Systemstabilitäten dissipativer Strukturen daher Prozessbetrachtungen sowohl auf der mikroskopischen wie auch auf der makroskopischen Ebene notwendig sind.

3.2 Zum Prozess des Ordnungsaufbaus durch System-Selbstorganisation

Der Aufbau von Ordnung durch Selbstorganisation soll unter formalen Gesichtspunkten sowie inhaltlichen Aspekten betrachtet werden. Mit einem hohen Qualitätsprädikat belegt, assoziiert der Ordnungsbegriff in den meisten Kulturen unserer Gesellschaftssysteme u. a. einen mit Wohlbehagen einhergehenden, übersichtlich strukturierten, klar identifizierbaren, präzise berechenbaren und unbedrohlichen Zustand. Dieser steht im gegensätzlichen Verhältnis zu Chaos.

Das Zustandekommen von Ordnung setzt in der Regel Prozesse mit Form gebendem Charakter voraus. Hier soll Ordnung sowohl als beschreibende, als auch als bewertende Größe verstanden werden, welche die Gesamtheit regelmäßiger Beziehungen zwischen Prozesselementen erfasst [117]. Dabei soll zwischen makroskopischer und mikroskopischer Betrachtungsebene unterschieden werden. Die Erzielung observierbaren geordneten Verhaltens setzt makroskopisch die Existenz von willentlich gesteuerten und abschlussorientierten Handlungen voraus. Diesen Grundbestandteilen von Tätigkeiten werden psychophysische / mentale Prozesse der mikroskopischen System-Selbstorganisation vorgeschaltet. Deren Ergebnisse bilden in mikroskopischer Form ein zur Kommunikation mit der Umgebung armiertes, inhaltlich und funktional komplementäres Gefüge psychophysischer Steuergrößen einer intendierten makroskopischen Regulationsaktivität. Diese mikroskopische Formation

[53] selbstreferentiell: hier das Systemgedächtnis betreffend in Bezug auf seine eigene Evolution

wird hier als Aktivitätsmuster bezeichnet. Zusammenfassend bedeutet dies für die weitere Argumentation, dass mikroskopische Ordnung hypothetisch eine notwendige Voraussetzung für makroskopische Ordnung darstellt. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass vergleichend zwischen dem Grad an mikroskopischer und makroskopischer Ordnung durchaus Übergangsverluste existieren können, deren Ursachen u. a. in der aktuellen menschlichen Leistungsdisposition von Arbeitspersonen zu vermuten sind. Wie selbst beobachtet fallen darunter bei Piloten z. B. intendierte aber nicht „herausgebrachte“ *Callouts*[54] aufgrund von Sättigung [118].

Das Maß an emergierter[55] Qualität von mikroskopischer Systemordnung soll in diesem Beitrag für den Grad an *interner Bestimmtheit des Systemzustands* stehen. Dazu ist an dieser Stelle ein asymmetrischer Zeitaspekt einzuführen: Im raumzeitlichen Verlauf der Generierung von Reaktionen auf Situationen besitzen Systeme im Augenblick des Eintrages von Mitteilungen über vormals äußere Sachlagen und deren Relationen eine höhere situationsspezifische *Unbestimmtheit* als nach Abschluss der internen Selbstorganisation. Dieser Systemzustandsbeschreibung kann, wie in Abschnitt 4.5 detaillierter dargestellt, einem Betrachtungsniveau zwischen Mikro- und Makroebene zugeordnet werden. Dabei bedeutet *Bestimmtheit* die Menge an *selbst gesetzten Einschränkungen von Systemfreiheitsgraden* mit ihrem entwicklungs-historischen Bezug.

Für eine abstrakte Einheit von Inhalten mitteilenden Charakters, die vormals vom menschlichen Körper und Geist als wahrnehmbare Reize aufgenommen wurden und den daraus weiter verarbeiteten emergierten, besonders verstandesmäßigen Produkten, wird der Begriff *Information* eingeführt. Es wird hier der terminologischen Systematik[56] von *LYRE* gefolgt, der die Dimensionalität des Informationsbegriffs durch dessen syntaktische, semantische, pragmatische und zeitliche Aspekte beschrieben sieht [119]. Damit stellt *Information* in ihrer höchsten Emergenzstufe eine Bedeutung und Sinn tragende aktuelle Größe für die Unterscheidbarkeit von Veränderungen dar. In dieser Seinsstufe ist sie gehaltvoller als es vormals angesetzte klassische Binarität auszudrücken vermag. Sie stellt in der gewählten raumzeitlichen Anordnung diejenige veränderliche Größe dar, deren Entwicklungsgang den Systemstatus direkt steuert.

Dem Aspekt der ins Futur gerichteten Zeit, der *Zeitlichkeit*, kommt in sofern eine besondere Stellung zu, als sich während des Selbstorganisationsprozesses das System intern selbst sequenziell im Fortgang *in Form* bringt. Dies ist verbunden mit einer zeitdiskreten Kommunikation zwischen Individuum und seiner Umgebung. Zu diesem Prozess haben *FENZEL et.*

---

[54] Als *Callouts* werden sprachliche Mitteilungen prägnanten Charakters verstanden, die im Zuge von Flugbetriebsabläufen besonders der eindeutigen Kommunikation innerhalb der Cockpitbesatzung im Rahmen des jeweils anzuwendenden Crew-Coordination-Concepts dienen. Ihre Inhalte und die Art ihrer Anwendung sind standardisiert. Sie werden in Betriebsvorschriften veröffentlicht. Ihr Gebrauch wird als sicherheitsförderlich eingestuft und ist für operationell tätige Flugzeugbesatzungen nach JAR-OPS 1.1045 bindend.

[55] im Sinne von Selbstorganisation …aus sich selbst empor kommender bzw. selbst entstehender…

[56] „…Der syntaktische Aspekt von Information betrifft das Auftreten von Unterscheidbarkeiten. Der semantische Aspekt betrifft Unterscheidbarkeiten, unter deren Voraussetzung der syntaktische Aspekt erst möglich wird. Der pragmatische Aspekt von Information betrifft neu bewirkte Unterscheidbarkeiten als Folge des semantischen Aspekts früherer Unterscheidbarkeiten…“

al. ein theoretisches, mehrdimensionales Konstrukt aufgestellt [120]. Der anschauliche Vorschlag führt eine Theorie evolutionärer Systeme mit einer *verallgemeinerten* Informationstheorie zusammen. Dabei wird die Aufwertung empfangener Signale zu pragmatischen Strukturen durch eine stufenweise Selbstorganisation dargestellt. Drei hierarchisch aufeinander aufbauende Schichten bilden jeweils Ebenen syntaktischer, semantischer und pragmatischer Aspekte von Information. Der Komplementarität von Informiertheit der Selbstorganisation und Selbstorganisiertheit der Information wird durch Selbstorganisations-Zyklen zwischen den informatorischen Aspektsebenen dargestellt. Auf der syntaktischen Ebene werden *Signale* im ersten Zyklus, der *Wahrnehmung*, zu *Daten* formalen Charakters. Diese gewinnen im nächst höheren Zyklus, der *Interpretation*, an Bedeutung und wandeln sich zu *Symbolen* von Wissen in der semantischen Ebene. Im dritten Zyklus, der *Bewertung*, emergieren sie zu *Zielen* von sachlich intendierten[57] Anwendungen in der pragmatischen Ebene. Dabei wird als Kognition der informatorische Verarbeitungsablauf im zeitgerichteten Aufbau gesehen. Als *interne Kommunikation* wird die gegenseitige Verständigung von Elementen der jeweils gleichen informatorischen Aspektsebene verstanden. Während dieser stufenweise ablaufenden und zyklischen Prozesse werden den mitteilenden Substanzen u. a. Bedeutungen und Sinnperspektiven aus tätigkeitsleitenden Gedächtnisrepräsentationen (individuelle operationelle Abbildungssysteme) beigemessen.

Die Zusammensetzung pragmatischer Informationsaspekte durch ihre sich gegenseitig ergänzenden Elemente *Erstmaligkeit* und *Bestätigung* werden in einem Denkansatz von *E.* und *CH. VON WEIZSÄCKER* diskutiert [121]. In dem vorliegenden Beitrag wird das genannte Konstellationsgefüge des Erkenntnisgewinns als aktuelle Information bezeichnet. Es wirkt Empfänger verändernd, konstituiert *Vergangenes* und kann als *Gewissheit über das Maß an Ungeklärtem* interpretiert werden. Damit soll eine Verbindung zu einem von *JANTSCH* eingeführten Erklärungsschema über Prozesse zur Bewältigung von Systemeinträgen mit deren Anforderungen erfolgen. Er weißt auf die oszillierende Dynamik autopoiesischer Systeme in ihrem Existenzbereich nahe dem Maximum der zum Austausch mit der Umgebung intendierten *pragmatischen Information* hin [112e]. Durch die dynamische Balance zwischen ständiger Bewältigung von *Erstmaligkeit* aus Einträgen und ihrer Umwandlung in *Bestätigung* wird ein Aufbau geringerer interner Unbestimmtheit, d. h. höherer mikroskopischer Qualität von Ordnung, des Systems bewirkt. Unter Ansatz eines noch näher zu bestimmenden Parallelismus in Kapitel 4, geht Emergenz von Information bzw. Strukturaufbau des Systems mit der Produktion von Entropie einher. Die oben angegebene Literatur spricht hierbei vom Entstehen mikroskopischer *Ordnung* eines Systems *durch Fluktuationen* in der Entropieproduktion. Im Vorgriff auf Kapitel 4 wird sich dabei auf das *Subsystem Mensch* bezogen. Die Gesamtheit der in den einzelnen SO-Sequenzen produzierten Entropiearten soll angesehen werden als Maß geistigen Aufwands und den damit u. a. verbundenen physiologischen Investitionen zur Aufrechterhaltung individueller Körperfunktionen (siehe dazu auch Anmerkung A3.1).

[57] Aus Gründen der Vereinbarkeit mit einer, in Abschnitt 3.4 einzuführenden, Belastungs- Beanspruchungskonzeption unterstreicht das Wort *intendiert* einen, in der nahen Zukunft raumzeitlich zu verortenden *Ablauf von Regulationsaktivitäten mit Absichtscharakter*.

3.3 Systemselbstbezug: Ein subjektiv bestimmter Aspekt von *Leben*

An dieser Stelle scheint es sinnvoll zu sein, ohne sich zu tief in philosophische Fragestellungen und Diskussionen zu verlieren, das *Leben* als *beseeltes, tätiges Sein* zu verstehen. Damit wird einer knappen vitalistisch geprägten Beschreibung von *PREUSS* gefolgt, der die Seele als einen Aufbau von *Bewusstsein* und *Wille* beschreibt, ohne die der Selbstbezug des Individuums nicht möglich sein kann [122]. Wie im Abschnitt 3.1 beschrieben, stellt der Selbstbezug eine notwendige Voraussetzung dar, um Lebewesen als *autopoiesische Systeme* über die Stufen der Selbstorganisation zur Tätigkeit bzw. Kommunikation mit ihrer Umgebung zu geleiteten. Damit sind Situationswahrnehmungen und deren Interpretationen nicht nur zweck-rational den Emergenzstufen der reinen Syntaktik, Semantik und Pragmatik zuzuordnen, sondern vielmehr auch als ein von Empfindung beladenes Erlebnis (z. B. *Not* oder *Wonne*) zu betrachten. Dieses Ereignis wird durch das Bewusstsein einen gefühlsbelegten Antwortwillen hervorrufen. Dieser entspricht wiederum der vormaligen Eindrucksmeldung und führt schließlich mikroskopische Reaktionen über Handlungen zu Tätigkeiten. An dieser Stelle seien die folgenden Begriffsbezüge zu vereinbaren: *Empfindung* und *Gefühl* sollen hier Bestandteile der *seelischen Befindlichkeit* eines Individuums darstellen. Dabei sind Empfindungen als wahrnehmungsbezogen und Gefühle als antwortbezogen zu betrachten.

Das *Erleben* sieht *LEONTJEW* als emotionale Komponente in der Wechselbeziehung zwischen *„Sein und Sollen“* mit einer höheren zeithierarchischen Ausbildung als Bewertungsprozess rationalen Charakters [123]. Das *Erleben* kann demnach als motivational determiniert angesehen werden. Es ist hier noch hypothetisch zu betrachten als synergetisches *Synchronelement* zwischen dem Konstrukt kognitiver Umsetzungsprozesse von *Erstmaligkeit* in *Bestätigung* und dem komplementären Qualitätscharakter der System-Selbstorganisation. Es liegt somit nahe, seine Beschaffenheit und Ausprägung als Merkmal zur Beschreibung von Gütekriterien des Arbeitsvollzugs zu nutzen. Damit ist es denkbar, einen erweiterten Verständniszugang zur Verwobenheit von Leistungs- und Charakterbezogenen Attributen des Gebildes *Menschliche Zuverlässigkeit* nach *BARTSCH* zu erhalten [14].

Die seelische Befindlichkeit bildet neben der körperlichen Befindlichkeit ein zeitabhängiges Element des Selbstbezugs. Sie weist habituelle und der jeweils situationsbezogenen psychischen Disposition des Individuums zurechenbare Muster auf. Diese Muster unterliegen u. a. dem relativ prägenden Einfluss von kulturellen und sozialen Normen. Sie bilden das individuelle Inventar an ethischen Werten. Als motivationale Empfangs- und Sendebestandteile des Schaffens stellen sie Inhalte von Bewertungsfunktionen eines arbeitenden Individuums dar [23]. Schematisiert sind sie in dem vorgelegten Anschauungskonstrukt als relativ verfestigte tätigkeitsleitende Gedächtnisrepräsentationen im operationellen Abbildungssystem (OAS) des lebenden Systems verankert. Dies bedeutet, dass Systemeinträge in der Regel auch in Bezug auf ihren moralischen und ethischen Inhalt hin zu bewerten sind, um die Arbeitsumgebung systemgerecht, d. h. *menschengerecht* gestalten zu können. Vom Individuum wahrgenommene Differenzen zu individuellen Einstellungen können sich u. a. über Rückkoppelungen als Beanspruchungsfolgen in emotionalen Dissonanzen und zeitversetzt, wie in Eigenbeobachtungen erkannt, (nicht nur) in physischer Ermüdung äußern. Diese Eigenerkenntnisse decken sich auch mit den Ausführungen von *WIELAND-ECKELMANN* und *BAGGEN* [124], die der Fähigkeit zur internalen Emotionsregulation einen engen funktionalen Zusammenhang zwischen individuellen dispositionellen Bewältigungsstilen und der Inan-

spruchnahme *palliativer* und damit auch energetischer Ressourcen zuschreiben (vgl. Abschnitt 3.5.2). Danach muss also dem Erhalt, der Ausrichtung und der Stabilisierung der System-Selbstreferenz ein ständiger Betrag psychophysischen Aufwands in Abhängigkeit von Systemeinträgen beigemessen werden (siehe Anmerkung A3.2).

Der habituellen Konstitution hinsichtlich des Selbstreferenzvermögens, den daraus z. T. erlernbaren Fähigkeiten zur Handlungsregulation und den diesbezüglich gemachten Selbsterfahrungen ist ein wesentlicher Stellenwert für den Vollzug von Arbeitstätigkeiten beizumessen. Das Vermögen der aufgabengerechten Anpassung und Aufrechterhaltung des Systemselbstbezugs trägt, entsprechend dem Niveau an nutzbaren Ressourcen, Zuverlässigkeitscharakter. Dabei wird hier unter Anpassung der Aufbau an dynamischer Balance zwischen Empfindung und Gefühl in Abhängigkeit der Aufgabenbewältigung verstanden. Wie in Kapitel 4 gezeigt wird, sind besonders zwei Selbstreferenzsignale hervorzuheben: Zum einen ist das die Rückmeldung über das Maß an Handlungsgelingen und zum anderen die Forderung nach Systemeinschränkungen aufgrund des zur Verfügung stehenden Ressourcenniveaus. Beide Signalstränge sind in Abbildung 4.8 aufgetragen.

Die Ausgewogenheit zwischen Empfindung und Gefühl soll u. a. auch in Anlehnung an *BAUER et al.* mit Arbeitsgespür bezeichnet werden [125]. Es spiegelt, z. T. verdeckt, eine Komponente der Handlungskompetenz des Individuums als *implizites Wissen* wieder. Facetten von erfahrungsgeleitetem - subjektivierendem Arbeitshandeln werden speziell für den Bereich der Führung von Verkehrsflugzeugen aufgezeigt [46]. Anmerkung A3.3 unterstreicht die Relevanz eines gut entwickelten Arbeitsgespürs für die Regulation von Prozessabläufen in hoch komplexen Tätigkeitsfeldern.

Zusammenfassend soll damit ein *sicherheitsorientiertes Gestaltungskriterium* für Arbeitstätigkeiten abgeleitet werden, das die Bedeutsamkeit der Wahrung eines intakten Systemselbstbezugs herausstellt:

Die Voraussetzungen zur Schaffung von Sicherheit im Flugbetrieb gemäß des TOP-Ansatzes sind so zu kreieren bzw. sollen derart beschaffen sein, dass das individuelle Vermögen zur Wahrung eines persönlichkeitsförderlichen Systemselbstbezugs während aufgabenorientierter Bewältigungsprozesse von Arbeitsanforderungen ohne Gesundheitseinbußen auf Dauer erhalten werden kann.

3.4 Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption

Im Gegensatz zu *workload*-Konzepten, die vorwiegend bei der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA entwickelt wurden, finden im deutschsprachigen Raum hauptsächlich Belastungs-Beanspruchungs-Programme Anwendung. *Workload* stellt ein hypothetisches Konstrukt dar, das in Form eines ***T**ask **L**oad Inde**x*** ausgedrückt wird. Diese Messziffer wird als Aufwand bezogenes Prozessmerkmal der Aufgabenbewältigung gesehen [127] und für eng begrenzte bzw. stereotype, aufgabenspezifische Mensch-Maschine-Interaktions-Analysen genutzt. Hingegen besitzen Belastungs-Beanspruchungs-Konzepte eher einen generellen Charakter. Sie werden vorwiegend für die strukturelle Unterstützung zur Beschreibung und zur Auslegung u. a. von Gestaltungsmaßnahmen betroffener Arbeitstätigkeiten und / oder Arbeitsstätten herangezogen.

Mit Bezug auf ein *Effort*-Konstrukt zur Handlungsregulation bzw. –Steuerung vergleicht *BULD* beide Entwurfsarten und zeigt Orientierungen bzw. Schwerpunkte der Konzepte aus

arbeitspsychologischer Sicht auf [60]. Danach wird eine Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption eher der mentalen Ebene zur Handlungsvorbereitung zugeordnet und das hypothetische *workload*-Konstrukt der Ausführungsebene. Diese Betrachtungsweise lässt aber den ganzheitlichen Charakter des vorhandenen natürlichen Regulationsgefüges von Arbeitstätigkeiten verblassen.

Dem *workload*-Ansatz wird trotz der verlockenden Aussicht auf eine einfache Quantifizierbarkeit von Einzeltätigkeiten nicht gefolgt. Neben einer unbefriedigenden Abgrenzung von Begriffen (z. T. aus linguistischen Übertragungsproblemen) sprechen gegen eine Anwendung besonders die eingeschränkte Möglichkeit zur Einarbeitung zeitspezifischer und kybernetischer Aspekte in das in sich geschlossene Konzept. Weiterentwicklungen sind damit Grenzen gesetzt. Mit Hilfe einer Belastung-Beanspruchungs-Konzeption lassen sich dagegen raumzeitliche Entwicklungsverläufe darstellen. Weiterhin ist die Grobstruktur des übersichtlichen Basisansatzes in sich verträglich gegenüber unterschiedlichen Graden vorhandener Systemkomplexität. Weiterhin kann auf Begriffsvereinbarungen[58] zurückgegriffen werden, die eine gezielte Einarbeitung wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse aus unterschiedlichen Disziplinen in strukturierter Form erleichtert.

Mit dem hier vorzustellenden Konzept soll die Entwicklung von „detektierenden Verfahren“ unterstützt werden. Darunter sind Methoden zu verstehen, die geeignet sein könnten Tendenzen zu erkennen, ob Umgebungssituationen und den Arbeitsprozess begleitende Wirkungen zu Einschränkungen von individuellem Systemregulationsvermögen führen. Im Rückschluss sollen aus den gewonnenen Erkenntnissen Möglichkeiten entstehen Gestaltungsmaßnahmen zum sicheren Betrieb von Transportträgen abzuleiten.

Das Konstrukt baut auf einer ursprünglich von *ROHMERT* [128] formulierte Ursachen – Wirkungsbeziehung auf, deren kausale Eigenschaften und die Grenzen ihrer Anwendbarkeit einer kritischen Würdigung unterzogen wurden [129]. *BARTSCH* [23b] hat in den Ansätzen ein Prozesselement der *Interiorisation* integriert, das u. a. den Vorgang des Entstehens von Belastungsfolgen prägnanter heraus hebt. Zur Fassung vornehmlich handlungsregulativer Arbeitsprozesse stellt die in Abbildung 3.1 aufgeführte Konzeption eine Ergänzung zu rein leistungsbezogenen-, organisatorischen-, und empfindungsbezogenen Entwürfen dar. Der Vorschlag trägt einen einhüllenden und mehrdimensionalen kybernetischen Charakter (siehe auch [16a]).

[58] Begriffsvereinbarungen nach EN ISO 10075-1 / DIN 33405

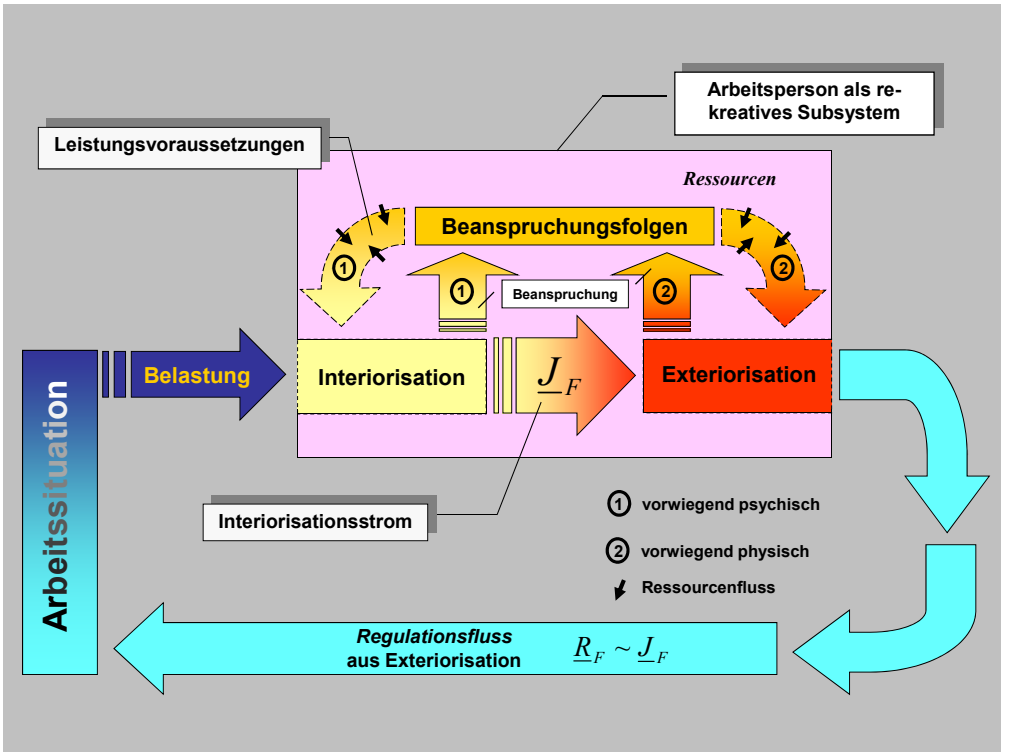


Abb. 3.1: **Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption**

Das herausgearbeitete Belastungs-Beanspruchungs-Konzept besteht aus zwei über die Elementkette *Interiorisation- Interiorisationsstrom- Exteriorisation* verbundenen mehrzelligen Kreisprozessen zur Regulation[59] von Arbeitstätigkeiten. Die irreversiblen Vorgänge verlaufend im Wesentlichen in einer mikroskopischen Ebene und basieren auf hochkomplexen Selbstorganisationsprozessen des *lebenden* Systems zur Regulation von Arbeits- und Umgebungssituationen. Dabei wird die Arbeitsperson als ein offenes, re-kreatives System betrachtet. In einem Hauptkreislauf wird während der Verinnerlichung von vormals äußeren Sachlagen und Aspekten des Arbeitsgespürs ein inhaltlich und funktionell geordneter mikroskopischer Steuerstrom kreiert. Er wird als *Interiorisationsstrom* bezeichnet. Dieser trägt und armiert die für die Regulation von Arbeitstätigkeiten und Arbeitsabläufen notwendigen, strukturierten Voraussetzungen in Form von zeitlichen Aktivitätsmusterverläufen. Diese werden dann im Exteriorisationsprozess als makroskopisches Gefüge von multiplen Handlungen freigesetzt und als Regulationsstrom den zu beeinflussenden Situationen zugeführt. Der *Interiorisations-* und *Exteriorisationsprozess* erfolgt in Abhängigkeit von momentan vorhan-

[59] im Sinne einer rückgekoppelten und willentlichen Einflussnahme zur Ausformung und Stabilisierung von internalen dynamischen Nichtgleichgewichtsstrukturen, die external über Aktionsprogramme wirksam werden, um im Zuge einer Aufgabenbearbeitung gezielt Veränderungen von Situation- bzw. Systemzuständen, Gestaltungen von multiplen Prozessen und / oder Modifikationen eines intendierten Verhaltens hervorzurufen

denen Leistungsvoraussetzungen, die wiederum durch subjektive konstitutionelle, dispositionelle, qualifikatorische und Anpassungsmerkmale determiniert sind. Vor diesem Hintergrund soll in zwei internalen Kreisläufen der Einfluss von Arbeitsbelastungen hauptsächlich auf das menschliche Leistungsvermögen erfasst werden. Diese regulativen Zyklen werden als *Beanspruchungszirkel* bezeichnet.

Mit Bezug auf wissenschaftlich erkannte Prinzipien der Selbstorganisation von Systemen [130] soll die Konzeption helfen die kooperierenden, lokalen, mikroskopischen Wechselwirkungen mit den daraus entstandenen makroskopischen Phänomenen in Relation zu arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen zu setzen. Dabei wird zunächst von proportionalen Beziehungen zwischen den Systemeinträgen, den mikroskopischen Verlaufstrukturen und den auf die Betriebssituation rückgekoppelten Reaktionen des Systems ausgegangen.

Um spätere Praxisprüfungen der formulierten Ansätze zu erleichtern, scheint es hier sinnvoll, geeignete Algorithmen zur Beseitigung von Wissensdefiziten im makroskopischen Bereich des Regulationsprozesses zu installieren. Dazu soll das Konzeptionselement *Exteriorisation* mit einem geeigneten mathematischen Ansatz zur Beschreibung von generellen Verhaltenseigenschaften des Subsystems Arbeitsperson ausgestattet werden. Die Grundlagen[60] zu den entsprechend zu formulierenden *Regulationsfunktionen* bilden u. a. Eigenbeobachtungen und Erfahrungen des Autors als Verkehrsflugzeugführer. Die Relationen zu anderen Elementen der Konzeption werden durch Zu- und Ablaufgrößen abgebildet. Sie werden zusammen mit arithmetisierten Systemgrößen des zu kreierenden mathematischen Konstrukts in Kapitel 5 beschrieben (siehe auch Anmerkung A3.4).

3.5 Interiorisation und Exteriorisation als Regulationssequenzabschnitte

Als Regulationssequenzen werden hier bezeichnet: Die zeitdiskrete Abfolge von mikroskopischen und makroskopischen Aktivitäten des arbeitenden Menschen zum Zweck seiner eigenen Existenzsicherung (Selbsterhalt) und zur Befriedigung seiner Bedürfnisse im Rahmen der Gestaltung seiner Umgebung. Der Begriff *Interiorisation*, zunächst vereinfacht als *Verinnerlichung* und *Exteriorisation* als *Veräußerlichung* bezeichnet, steht jeweils für die wechselseitigen Übergänge von äußeren Sachlagen in innere Konstellationen und umgekehrt, welche möglich werden durch psychophysische Prozesse und die daraus resultierenden Reaktionen. Dabei sollen die, vorwiegend in der russischen Literatur zur Handlungspsychologie verwendeten Ausdrücke, auch um mikroskopische Prozessaspekte erweitert gesehen werden, die sich ganz oder teilweise dem menschlichen Bewusstsein entziehen.

3.5.1 Zum Begriff *Interiorisation*

Die Art und Weise der Verinnerlichung von äußeren Sachlagen und Situationen bilden den Gegenstand von Diskussionen zu Wechselbeziehungen zwischen Tätigkeiten und menschlichem Verhalten im Arbeitsprozess. Über die Erkenntnisse aus der psychologischen Forschung, dass äußere und innere Tätigkeiten eine Gemeinsamkeit ihrer Struktur aufweisen, setzt sich *LEONTJEW* mit der Herausbildung geistiger Prozesse zur Regulation von äußeren Einträgen und den damit verflochtenen Reaktionen auseinander [123a]. Dabei weist er u. a.

[60] damit trägt der vorliegende Forschungsprozess eindeutig praxisorientierte Aspekte, wie sie von *HÖRING* gefordert werden [109a]

auf die von *WYGOTSKI* [132] untersuchten gesellschaftlichen Einflüsse auf die Ausformung von Bewusstseinsstrukturen eines Individuums hin. Es wird unterstrichen, dass die Interaktion des Menschen mit seiner Umgebung den Stil der Bewältigung von Belastungen mit prägt. *BARTSCH* versieht den Begriff der Interiorisation mit einem arbeitswissenschaftlichen Aspekt, indem er die Auswirkungen des gleichnamigen Prozesses auf das Individuum in die Formulierung mit einbezieht [84]. Dabei soll hier seine Verlaufsbeschreibung[61] als die wirkungsgerichtete Zerlegung (analog zur Dispersion eines Lichtstrahls durch ein Glasprisma) der aufgenommenen Einträge in ihre immanenten Elemente informatorischen, psychischen und physischen Gehalts interpretiert werden. Weiterhin wird entsprechend Abschnitt 3.4 vorgeschlagen, in den Begriff *Interiorisation* den mikroskopischen Prozess einer zielgerichteten Bewältigung von Aufgaben mit zu implementieren. So liegt es nahe, die Ausführungen von *PIAGET* zur spezifischen Wandlung von Einträgen aus der „…sensorischen Ebene zum Gedanken…“ mit aktuellen arbeitspsychologischen Aspekten sowie Erkenntnissen aus der Selbstorganisation komplexer Systeme zu verknüpfen [135] (siehe Anmerkung A3.5 u. A3.6). Der Vollständigkeit halber sei damit der Vorschlag einer weiteren Belegung des Begriffs *Interiorisation* angeführt. Neben den generell eingängigeren und in Kapitel 2 aufgeführten Definitionen soll damit der komplizierte Charakter des *Entwicklungsgangs* herausgestellt werden. Letztlich bestimmt sich der Vorgang aus ineinander verschränkten Einzelprozessen.

Interiorisation ist ein irreversibler, hinsichtlich seiner Modalität relativ unscharf abgegrenzter und auf Erkenntnisgewinn hin ausgerichteter mikroskopischer Prozess, der die Überführung von durch den Menschen aufgenommener Realität über subjektive Erscheinungen von ursprünglich äußeren Sachlagen bzw. Umständen in mental bestimmte und physische Funktionen beschreibt. Diese Verinnerlichung kann verstanden werden als Gesamtheit der Abfolgekonstellationen von aufeinander aufbauenden Selbstorganisationszyklen eines re-kreativen Systems in Abhängigkeit seiner momentanen Fähigkeit und Bereitschaft zur Sicherung der eigenen Existenz und zur Lösung gestellter Aufgaben.

3.5.2 Zur Prozessarchitektur der Interiorisation - eine systemische Darstellung

In einem ersten Schritt wird qualitativ der abstrakte Aufbau des Interiorisation- Wirkungsgefüges mit seinen Elemente beschrieben. Dabei werden z. T. Symbole aus der operationellen Luftfahrttechnik verwendet, um die didaktische Qualität der Abbildung für die betroffene potentielle Nutzergruppe zu erhöhen. Eine Betrachtung von funktionalen Aspekten schließt sich an.

Wie in Abbildung 3.2 gezeigt, umschließt eine Bilanzgrenze den Selbstorganisationskern des re-kreativen Empfangs- und Sendesystems. Dieser stellt u. a. ein gigantisches neuronales Netzwerk dar, das in der Abbildung als farblich hellgelb hinterlegte (innere) Oberfläche gekennzeichnet ist. Er wird zum Zweck der anschließenden Funktionsbeschreibung durch fünf Subsysteme unterschiedlicher Symbolik schematisiert.

[61] „…inneren Brechen der äußeren Belastungsfaktoren entsprechend der individuellen Leistungsvoraussetzungen (physisch/ psychisch/ qualifikatorisch) des Menschen zu Beanspruchungsfolgen…“ [84]

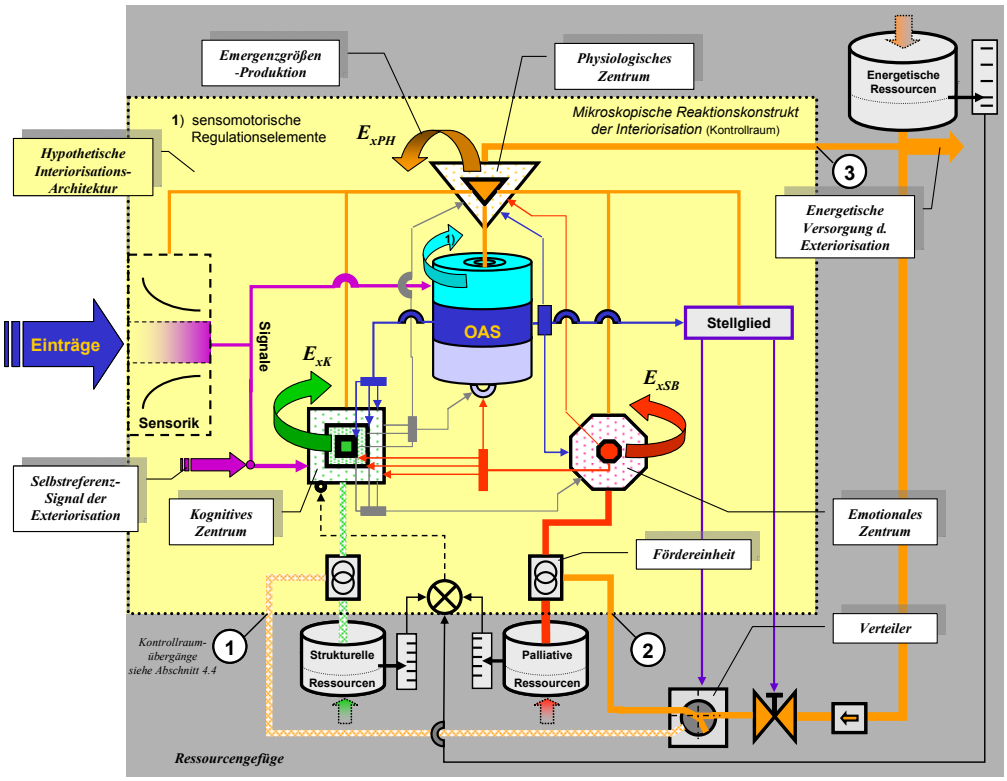


Abb. 3.2: **Schematisierte Interiorisationsarchitektur (Relationen zur *Exteriorisation* wurden nicht dargestellt)**

Diese Elemente stellen jeweils spezifische Umformer bzw. Verarbeitungssysteme dar, deren konzentrischer Aufbau von außen nach innen die Zeitfolge zwischen dem individuellen Empfang von Erstmaligkeit und der Antwort als Bestätigung darstellen soll. Der als veränderlich zu betrachtende Abstand zwischen den in sich geschlossenen Linienführungen symbolisiert dabei den spezifischen Verarbeitungsaufwand in Elementarprozessen des jeweiligen Moduls. Als einzelne Zentren werden aufgeführt: die *Sensorik* als „Eingang“ zum Interiorisationsprozesses, das *dreistufige kognitive Zentrum* vornehmlich zur Informationsverarbeitung, das *emotionale Zentrum* zur Bereitstellung von Mitteilungen der Systemselbstreferenz, das *physiologische Zentrum* zur Verteilung von internen, bioenergetischen Ressourcen und das *Operationelle Abbildungssystem (OAS)* als Träger von tätigkeitsleitenden, multiplen Gedächtnisrepräsentationen.

Die Relationen zwischen den Aufnahme- bzw. den Verarbeitungseinheiten werden durch Pfeile angedeutet. Dabei ist die Übertragung von Informationsgehalten ***grau*** gekennzeichnet. Der Wirkungsweg der System- Selbstreferenz (Selbstbezug) ***rot*** und die Abrufstrecke von Tätigkeitsleitenden Gedächtnisrepräsentationen ***blau***. Am Ende dieses Abschnitts werden die einzelnen Systemkomponenten, ihre Relationen und Kenngrößen der schematisierten Interiorisationsarchitektur detailliert in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Modul	Input	Interner Output	Emergenzgrößen	Versorgung	Vorgang	Menschliches Organ
Sensorik	Situations- und Umgebungseintrag physischen, psychischen und informatorischen Gehalts in Form von externen Reizen	Signale aus multimodalem Sinneskontakt (Regulationsgrundlage)	keine	Energetische Ressourcen [124]	Reizaufnahme Detektion-ROC* [27b]	Sinnesorgane mit Sensorien (Gebiete der Großhirnrinde)
Kognitives Zentrum • Bestimmungsfunktionen *** [23]	• Signale • Selbstbezug u. a. Dispositionelle Bewältigungsstile* [124] • OAS- Signalinventar	• (kohärente) Daten • Symbole • Ziele	Pragmatische Aspekte von Information	• Strukturelle Ressourcen [124] • Energetische Ressourcen	• Perzeptive* Operationen • Mittelbare, intellektuelle Erkenntnisprozesse[27b]	Gehirn
Emotionales Zentrum • Beziehungsfunktionen [23] ○ Bedürfnisse ○ Interessen ○ Ideale	• Daten • Symbole • Ziele • Bewertungsfunktionen (OAS) • Momentane Disposition des Individuums* [136]	*Selbstreferenz*: u. a. • Optimierung d. Reizaufnahme u. Verarbeitung • Erregungsmodulation • Emotionsspezifisches, physiologisches Reaktionsmuster* [137]	Intendierte Handlungsstützende (Intensität), motivationale u. kommunikative (/Ausdruck) Funktionen [138]	• Palliative* Ressourcen [124] • Energetische Ressourcen	*Erleben* als unmittelbar- sinnliche Widerspiegelung der Beziehung zw. Bedürfnissen u. deren Realisierungsmöglichkeiten; (ztl. vor rationaler Bewertung erfolgend) [123]	Seele, grundsätzlich z. Zt. keinem Organ zuzuweisen
Physiologisches Zentrum	• Daten • Symbole • Ziele • Selbstbezug • OAS- kinästhetische Abbilder	Reaktionsgrößen zur energetischen Regulation des vegetativen / biol. Körpersystems	Steuergrößen zur intendierten, energ. Versorgung von adaptiven Verhaltensweisen [136]	Energetische Ressourcen	Regulationen zur energetischen Versorgung von mikroskopischen Operationen	Ganzkörper-System lokalisierbar
Tätigkeitsleitende, multiple Gedächtnisrepräsentationen (OAS) [27b] • Antizipationen • Prädiktionen • erinnertes Wissen • Bewertungsfunktionen** [23] • kinästhetische Abbilder	• Daten • Symbole • Ziele • Selbstbezug • Signale	• Situationsmuster • Relationsmuster • Funktionsmuster • Handlungsmuster • Zielvorgaben • Stellgrößen zur Koordination des Ressourcenflusses	Internalisierung von: • OAS- Updates • Lerninhalten • Trainingsinhalten	Energetische Ressourcen Erfahrungen (Kompetenz schaffende Rückkoppelung)	• OAS- interne Selbstrückkoppelungen → Regulation von Ressourcen- Zuweisungen	Muster unterschiedlicher synaptischer Schwellen werden als Grundlage von Gedächtnisfunktionen gesehen [139]

ROC = Receiver Operating Characteristic *) Enge, funktionale Zusammenhänge **) Meinungen, Überzeugungen, Einstellungen ***) Vorsatz, Absicht, Intention

Tab. 3.1: **Zur schematisierten Darstellung der Interiorisation von Systemeinträgen**

Die inneren, intensiv eingefärbten Flächen der Subsysteme (Module) stellen jeweils eine Quelle von Emergenzgrößen (Interiorisationsgrößen) dar. Sie bilden integrativ ein sich selbst aufbauendes, mikroskopisches Reaktionskollektiv, welches als abstraktes Ergebnis der Interiorisation einer SO-Sequenz angesehen werden soll. Weiterhin beeinflussen sie, nach synergetischen Vorstellungen rückgekoppelt, Elementarereignisse des neuronalen Netzwerkes. Phänomenologisch können sich u. a. diese Reaktionen als ein Beanspruchungssubstrat über *Wirklichkeitskriterien* in Bestätigungsempfinden der Situationswahrnehmung [139] äußern, um sich dann zu Beanspruchungsfolgen zu wandeln.

Außerhalb der Bilanzgrenze wird das neuronale Netzwerk von einem Ressourcensystem (farblich ***grau*** hinterlegt) umgeben, das die Funktionalität der Interiorisation sicherstellen soll. Zur Vereinbarung des Begriffs Ressource(-n) wird den Ausführungen von *WIELAND-ECKELMANN et al.* gefolgt, die dem Menschen im Arbeitsprozess innewohnenden Quellen an natürlichen Produktionsmitteln entsprechend ihrer Art in strukturelle, palliative und energetische Ressourcen einteilen [124]. Danach stellen strukturelle Ressourcen hauptsächlich das Kenntnisniveau bzw. die qualifikatorischen Fähigkeiten des Individuums zur Bewältigung von Anforderungen durch externe Systemeinträge dar. Die Ressourcenabrufbarkeit zu deren Nutzung bzw. Erweiterung ist an das Niveau von energetischen Ressourcen gekoppelt. Diese beziehen sich auf grundlegende Unterstützungsmechanismen bei der Ausführung zielgerichteten Verhaltens, der Wahrnehmung und der Verarbeitung von externen Reizen. Die Fähigkeit zur internalen Emotionsregulierung ist vom Wirken palliativer Ressourcen abhängig. Über einen sowohl engen funktionalen als auch motivationalen, Zusammenhang zu dispositionellen Bewältigungsstilen besitzen diese Einfluss u. a. auf die Leistungsbereitschaft des Individuums und damit auf die Art und Weise des makroskopischen Handlungsablaufs [23c]. Die Einschränkung der Nutzbarkeit struktureller Ressourcen zur Bewältigung von mentalen und aufgabenbezogenen notwendigen Anforderungen durch die Inanspruchnahme von internalen Selbstregulationsfunktionen wird über einen vom OAS gesteuerten Zweiwege-Verteiler schematisiert. Dieser weist dem energetischen Ressourcenfluss die Fördereinheit des jeweils benötigten Ressourcen-Reservoirs zu. Unter der Voraussetzung eines unterstellten gleichgerichteten Zusammenhangs zwischen operationell erforderlicher Ressourcenart und Menge sowie dem dazu notwendigen Bedarf an *psychophysischer Abrufbarkeit*, wird der Fluss an energetischen Ressourcen[62] (hier vereinfacht dargestellt) hauptsächlich entsprechend dem Inventar des OAS reguliert. In der oben gezeigten schematisierten Interiorisationsstruktur beaufschlagt dazu das physiologische Zentrum des Systems die Stelleinheit eines idealisiert dargestellten Schiebeventils. Als originäre Steuergröße wirkt der entsprechende Output des System-Ensembles *Allgemeine Aktivierung* sowie *Effort*, *Affect Arousal* und *Preparatory Activation* nach einem dreidimensionalen Aktivierungskonzept [140].

Mit der vorgestellten hypothetischen Interiorisationsarchitektur sollen die hochkomplexen mikroskopischen Selbstorganisationsvorgänge auf die spezifischen Systemmodule strukturiert, verteilt und schematisiert dargestellt werden. Dies darf jedoch nicht darüber hinwegtäu-

[62] Mit dem Überschreiten der Bilanzgrenze zum *mikroskopischen Reaktionskonstrukt der Interiorisation* bilden die Ressourcenflüsse lebensnotwendige, internale Systemeinträge. Mit ihren, z. T. konstitutionellen und dispositionellen Merkmalen, repräsentieren sie vormals entstandene und gespeicherte, subjektive Leistungsvoraussetzungen des Individuums.

schen, dass sich die, in den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels beschriebenen, realen Prozessen nicht ohne weiteres formal in solch eine Abbildung pressen lassen. Dennoch scheint es hier akzeptabel, sie als Hilfsmittel zu nutzen, um wissenschaftlich gesicherte Kenntnisse unterschiedlicher Disziplinen auf diese Art übersichtlich zusammen zu führen und annähernd zu ordnen. Daher kann die Struktur des Verlaufs bzw. Wandels von externen Reizen zu aufbereiteten Emergenzgrößen nur qualitativ über das Gefüge von einzelnen Zentren und deren Relationen dargestellt werden. Zur Vermeidung von unnötiger didaktischer Redundanz soll hier für die Argumentation unterstützend auf Tabelle 3.1 verwiesen werden. Dort werden die einzelnen Module angegeben als relativ offene Subsysteme mit ihren In- und Outputs, ihrer Versorgung, der Art entstandener Emergenzgrößen, dem jeweiligen spezifischen Prozess und, wenn es möglich erschien, der Zuordnung zu den jeweiligen menschlichen Organen. Eine ausführliche Literaturangabe wurde in die Aufstellung eingearbeitet. Enge funktionale Zusammenhänge zwischen einzelnen Komponenten wurden gemäß Abschnitt 3.3 gekennzeichnet.

3.5.3 Der Interiorisationsstrom als zeitlicher Verlauf mikroskopischer Aktivitätsmuster

Als *Interiorisationsstrom* soll ein abstraktes, dynamisches Gebilde von mikroskopischen Aktivitätsmustern bezeichnet werden. Als Brücke zwischen Erkenntnis und Handlung stellt er die zeitdiskrete Abfolge der durch Emergenzgrößen und deren Relationen repräsentierten Essenz aus der Menge mikroskopischer Flüsse dar. Letztere sind parallel und sequenziell ablaufende elementare Operationen, die im Zuge der Interiorisation die Form des Gesamtverarbeitungsprozesses der Systembelastung bilden. Der Interiorisationsstrom charakterisiert in komplementärer Weise die inhaltliche und funktionelle Bestätigung von *Erstmaligkeit* der (vom Individuum als existent befundenen) Systemeinträge als Ergebnis der Systemselbstorganisation. In der Vorstellung soll seine funktionale Struktur, die zwischen der mikroskopischen und der makroskopischen Ebene des re-kreativen Systems verortet werden kann, seine Ausprägung und sein Gehalt als Abbildung für den Ordnungsgrad des Systemzustandes gesehen werden und damit das Maß an interner Systembestimmtheit anzeigen. Als abstraktes Medium[63] einer armierten, mikroskopischen, vorwiegend psychischen Verlaufsstruktur zur intendierten Regulation von Arbeitstätigkeiten bildet der *Interiorisationsstrom* bzw. seine Änderungen die Ursachenvariablen der Ausbildung makroskopischen Systemverhaltens (Reaktionen / Handlungen). Aus synergetischer Sicht ist es denkbar, dass die Produktion von Emergenzgrößen und deren anschließende Konfiguration zu „reaktiven Kollektiven“ als Konstellationen Ordnerfunktionen enthalten bzw. selbst Ordnungsparameter darstellen (siehe Anmerkung A3.7).

3.5.4 Zum Aufbau des Interiorisationsstroms durch System-Selbstorganisation

Im Wesentlichen kann sich der Substanzaufbau des *Interiorisationsstroms* in Anlehnung an die Ausführungen von *HACKER* vorgestellt werden [27c]. Aus arbeitspsychologischer Sicht

[63] Im Vergleich zur analogen Tontechnik kann der Interiorisationsstrom anschaulich gesehen werden als abgeformte und zeitlich abgespulte Schallplattenrille, deren Formgebung (hier mechanische Struktur) für den Inhalt, die Beschaffenheit und damit für die Dynamik des Speichergutes steht.

wird sich hier mit den Vorgängen der Ausbildung psychischer Strukturen[64] von Arbeitstätigkeiten auseinander gesetzt. Dabei liegt die Betonung besonders unter auf dem Merkmal der Zielgerichtetheit von Arbeitstätigkeiten. Funktionale Zusammenhänge zwischen dem Aufbau psychischer Verlaufsstrukturen bei sich verändernden Aufgabenstellungen sowie der Abhängigkeit von Umgebungsaspekten und den damit verbundenen Randbedingungen werden akzentuiert. Dies unterstreicht auch *DÖRNER*, der die Komplexität von Theorien zur Handlungsregulation deutlich herausstellt und mit dem Charakter einer „neo-ganzheitlichen Richtung“[65] versieht [141]. Dabei richtet er u. a. seine Betrachtungen, mit einer probablen Komponente, auf den pragmatischen Aspekt, also den *Nutzwert* einer Entscheidungsfindung aus.

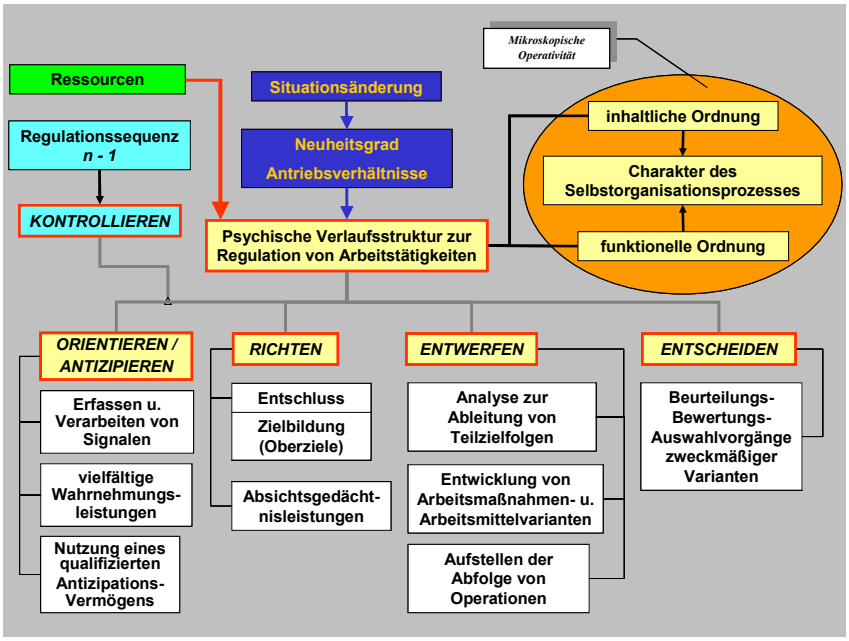


Abb. 3.3: **Zur mikroskopischen Verlaufsstruktur der Interiorisation in Anlehnung an [27c]**

Als Zusammenfassung sind in Abbildung 3.3 wesentliche Komponenten von psychischen Vorgängen gezeigt, die der Begriff *Interiorisation* als Enveloppe u. a. mit einschließt. Es sind diejenigen Prozesse, die den Neuheitsgrad (*Erstmaligkeit*) einer Situationsveränderung, in Abhängigkeit der eigenen Systemantriebsverhältnisse, zu Bekanntem bzw. zu *Geklärtem* wandeln, d. h. zu *Bestätigung*. Als Ergebnis wird eine vornehmlich psychische Verlaufsstruk-

[64] bezogen auf ein relativ offenes System im komplementären Sinne von Struktur und Funktion als Anordnung einer Gesamtheit von Merkmalen (Elemente und deren inneren Relationen nach Zuordnungsregeln (Strukturformationsregeln) und Gewichtung. Versehen mit einem zeitlichen Beobachtungsaspekt nach [27c]: „…Die psychische Struktur von Arbeitstätigkeiten umfasst die regulativ wirksamen psychischen Vorgänge und Repräsentationen in der durch die Regulationsfunktion bedingten Ordnung…“

[65] Integration von Aspekten und Prozessen aus der Motivations-, Emotions-, Wahrnehmungs-, Lern-, Sprach- und Denkpsychologie sowie deren Wechselwirkungen

tur aufgebaut, die den Charakter des Selbstorganisationsprozesses trägt. Deren Eigenschaft wird von *HACKER* als *Operativität* des Systems bezeichnet und mit einem gesellschaftlich orientierten Bewertungskriterium versehen - der *Optimalität*. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Eigenschaften nur um mikroskopische Größen handeln kann, die zwar notwendig aber nicht hinreichend für die Widergabe der Art und Weise des makroskopischen Systemverhaltens ist. Daher wird vorgeschlagen, den Begriff *Verlaufsstruktur* durch den Zusatz *mikroskopisch* zu präzisieren.

Die Argumentation zum Aufbau des *Interiorisationsstroms* soll mit Abbildung 3.4 untermauert werden. Sie bezieht sich auf die in Abschnitt 3.5.2 vorgestellte Interiorisationsarchitektur und zeigt den funktionalen Aspekt des hypothetischen Konstrukts der *Interiorisation* in Ausrichtung des äußeren Zeitverlaufs. Dabei werden, ausgehend von der Emergenzgrößenproduktion, mehrdimensionale Selbststrukturierungsvorgänge betrachtet, die *über eine Art von gegenseitigem Verständnis* [80b] Einzelelemente (bzw. Einzelvorgänge) zur Zusammenarbeit in einer organisierten Einheit leiten.

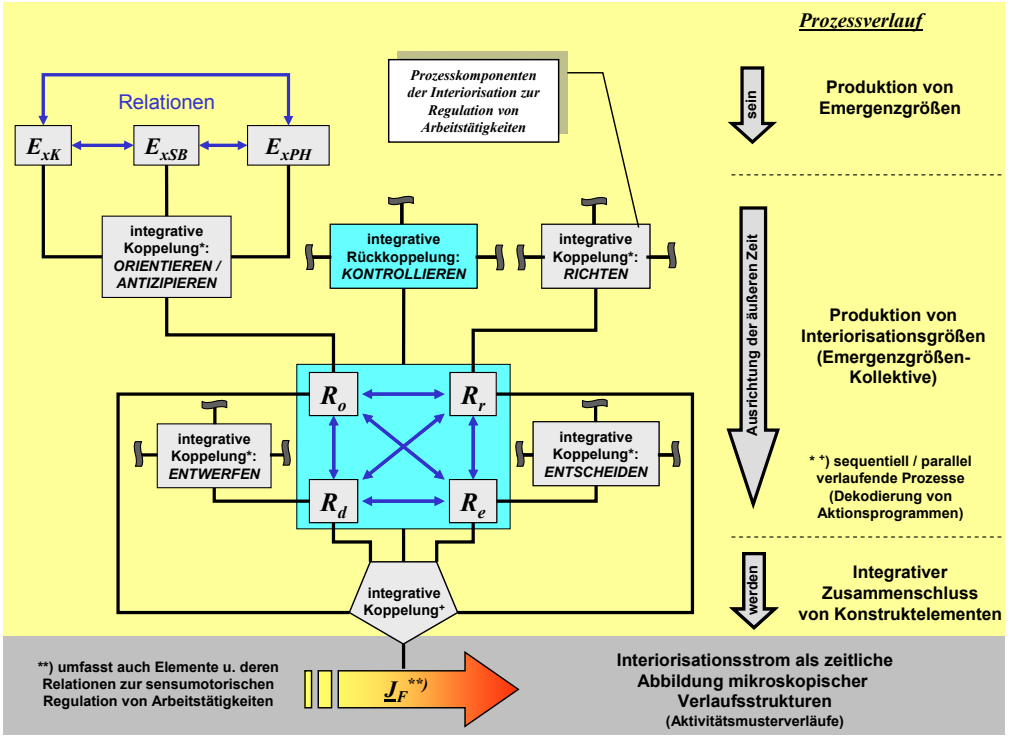


Abb. 3.4: **Tiefenstruktur des Interiorisationsprozesses zum Aufbau des Interiorisationsstroms**

Unter der Regie des operationellen Abbildungssystems werden (hier in drei Funktionseinheiten dargestellt) die Flüsse von Emergenzgrößen E_{xI} mit ihren Relationen zu verwobenen Kollektiven konfiguriert. Dies erfolgt vermutlich durch Dekodierungen von Aktionsprogrammen [27d] mit ausgeprägtem, hierarchischem Charakter [142].

Zunächst stellen die in Abbildung 3.3 gezeigten Komponenten von vornehmlich psychischen, und damit auch entsprechenden induzierten vegetativen Vorgängen, jeweils die integrativen Koppelungen einer ersten Regulationsebene dar (siehe Anmerkung A3.8). Das daraus entstandene abstrakte Zwischenproduktionsergebnis soll die Flüsse von *Interiorisationsgrößen* R_i bezeichnen, die wiederum zueinander in mehrdimensionalen Relationen einer höher geordneten Form stehen. Ihr integrativer Zusammenschluss in einer zweiten Stufe zu dem verwobenen Strom einer dynamischen Gesamtheit kann als Abbildung psychischer mikroskopischer Verlaufsstrukturen zur Regulation von Arbeitstätigkeiten gesehen werden. Bezeichnet als *Interiorisationsstrom* $\underline{J}_F(t)$ umfasst er auch sensumotorische Elemente und deren Relationen.

Der Interiorisationsstrom stellt das Bindeglied zwischen der mikroskopischen Ebene und der makroskopischen Ebene von Systembetrachtungen dar. Seine Struktur bildet sowohl die Armierung als auch den Gehalt intendierter Handlungen für die anstehende Situationsregulierung und determiniert so im Wesentlichen den Systemstatus.

3.5.5 Zum Begriff *Exteriorisation*

Die Art und Weise der „Veräußerlichung“ bzw. des Austrags von Extrakten vormals mentaler Vorgänge lässt sich aus einer externen Perspektive heraus als makroskopisches Systemverhalten beobachten. Dabei handelt es sich hier zunächst um den von *SELG* et. al [146] präzis gefassten Begriff des *offenen Verhaltens*, das *exakt registrierbare Lebensvorgänge* beschreibt.

In Anlehnung an *FETZ* wird im Exteriorisationsprozess die psychische Verlaufsstruktur zur Regulation von Arbeitstätigkeiten „…deduktiv der physischen Realität…“ zugeführt [147]. Dabei soll die pragmatische Komponente dieses Prozesses der Planungsumsetzung als *Handlung*[66] bezeichnet werden, die, wie *LEONTJEW* nachweisen konnte, mit einer spezifischen Intention (aus der Aufgabe abgeleitete Absicht) korreliert und damit auch individuelle Einstellungen des Individuums widerspiegelt [123b]. Daraus soll hier abgeleitet werden, dass Handlungen unter Rationalitätsaspekten nur bei Kenntnis des Ziels als solche beurteilbar sind. Dies setzt allerdings die Kenntnis von objektiven Maßstäben zur Erfassung der Wirksamkeit von Aktionen zwischen Individuum und seiner Umgebung voraus.

Verfahren zur Handlungsverwirklichung (mit der Ausführungsweise als Qualitätskriterium) bezeichnet *LEONTJEW* als *Operationen* und stellt heraus, dass sie neben den zuvor genannten Absichtsaspekten, auch mit den spezifischen Bedingungen korrelieren, unter denen sich Handlungen vollziehen. *Operationen* werden u. a. durch Bewegungskollektive von Effektoren und deren zeitliche Abfolge sichtbar. Über ihre Charakteristika, wie z. B. die Gütekriterien *Intensität* und *Wirksamkeit*, kann damit besonders der Arbeitsvollzug von vorwiegend motorisch gekennzeichneten Arbeiten als beurteilbar gelten [40c]. Schwieriger gestalten sich hingegen Beurteilungen von *Operationen*, die ein hohes mentales Anforderungspotential

[66] „…Handlungen bilden die kleinste psychologische Einheit der willensmäßig gesteuerten Tätigkeiten. Die Abgrenzung dieser Handlungen erfolgt durch das bewusste Ziel, das die mit einer Vornahme verbundene Vorwegnahme des Ergebnisses der Handlung darstellt. Nur kraft ihres Ziels sind Handlungen selbständige, abgrenzbare Grundbestandteile oder Einheiten der Tätigkeit…“ [27e].

enthalten, da den sichtbaren Komponenten des realen Vollzugs i. d. R. semantische Aspekte durch den Beobachter beigemessen werden müssen. In den jüngsten Forschungs- und Gestaltungsanstrengungen zu Teamverhalten in hoch riskanten Arbeitsbereichen werden dazu erste standardisierte Analysemethoden über *Behavioral Marker-Beurteilungssysteme* angegeben [148]. Allerdings bleibt auch hier stets die subjektive Komponente bei der qualitativen Einschätzung des objektiven Systemverhaltens durch eine externe Beobachtung erhalten. Handlungsrealisierungen werden neben ihrem dynamischen Charakter weiterhin auch durch die, sie selbst verursachenden, Veränderungen beobachtbar – eben durch Wandlungen der Systemumgebung bzw. durch ihre Resultate. Dabei könnte sich das Maß der Ablage zwischen dem Ziel der Handlung (zur Erfüllung der Aufgabenstellung) und dem Ergebnis ihres Vollzugs als ein Leistungsprädikat eignen.

Die beiden aufgeführten Beurteilungsaspekte von dynamischen Erscheinungen der Exteriorisation konvergieren mit der von *BARTSCH* eingebrachten Position[67] zum Leistungsbegriff hinsichtlich menschlicher Arbeit [23c].

Zusammenfassend kann die *Exteriorisation* als Reaktionskoppelstelle zwischen dem rekreativen System und seiner Umgebung angesehen werden. Der entsprechende realisierende Ausführungsprozess kann sowohl antwortbezogene als auch fordernde Komponenten zur System-Umgebungskommunikation enthalten. Er wird durch Handlungen existent, die als (hier unterstellte) planvolle Maßnahmen der Situationsregulation[68] zur Wirkung kommen. Diese bildet mit ihren raumzeitlichen *Operationsverläufen* das makroskopische Verhaltenselement[69] der dynamischen Systemexistenz aus vormals mikroskopischen Strukturen unterschiedlicher Regulationsebenen. Die Exteriorisation erfordert als Umsetzungsaktionen einen irreversiblen Realisierungsaufwand durch den vorwiegenden Verbrauch von bioenergetischen Ressourcen. Diese werden *Umgebungs-gestaltend* zusammen mit der offenen Systemaktivität an die Umgebung abgegeben.

Die offene Aktivität[70] des Systems und deren Änderung (Dynamik) soll als Einhüllende herangezogen werden, unter zuvor vereinbarten Randbedingungen bzw. Voraussetzungen, wie z. B. das Niveau an Handlungskompetenz[71], zur Fassung der Gesamtheit von Antworten bzw. Reaktionen auf Umgebungsereignisse. Dabei soll sie verstanden werden als eine zielorientierte Größe *von Unterscheidbarkeiten mit ihrer dazu gehörenden Intensität*. Ihre Veränderlichkeit ist komplementär zu den Systemveränderungen bzw. –Wandlungen.

---

[67] Unter *Leistung* ist „…der Vollzug und das Ergebnis der menschlichen Tätigkeit…“ zu verstehen [23c].

[68] Als Situation wird die Gesamtheit einer subjektiv erlebten raumzeitlichen Mannigfaltigkeit von real existierenden und integrativ wirkenden Einzelzuständen mit ihren spezifischen Inhalten und ihren jeweiligen, in der Vergangenheit gewachsenen, Charakteristika verstanden.

[69] ausgedrückt u. a. durch: Merkmal, Funktion, Funktionalität, Qualität

[70] Der Begriff *Aktivität* wird in Anlehnung an [149] verwendet.

[71] Die vier Ebenen der Handlungskompetenz nach *HEEG* [150] (*Fachkompetenz, Methodenkompetenz, soziale Kompetenz und Mitwirkungskompetenz, Selbstlern- und Selbstreflektionskompetenz*) will *BARTSCH* noch um die Grundbestandteile von *Moral- und Ethikkompetenz* ergänzt wissen [151].

3.6 Schematisierte Prozessdarstellung der Situationsregulation

Zur Vorbereitung einer mathematischen Beschreibung soll der Prozess zur Situationsregulation weiter präzisiert werden. Dies erfolgt mit Hilfe einer schematisierten Darstellung in Form eines Ablaufdiagramms. Abbildung 3.6 zeigt zunächst das aus beobachteten Phänomenen abgeleitete Konstrukt für das (einstellige) Subsystem *Arbeitsperson*. Es stellt die überarbeiteten Beschreibungen aus dem Ansatz von *DORN et al.* dar [17]. Damit könnten z. B. die Verhältnisse für den Flugbetrieb von leichten Transportflugzeugen oder Drehflüglern mit nur einem Cockpitbesatzungsmitglied dargestellt werden. Der zu überarbeitende Vorschlag für ein zweistelliges Subsystem (bestehend aus zwei Arbeitspersonen) für den Betrieb von Verkehrsflugzeugen wäre ggf. [16] zu entnehmen. In den Abbildungen dieses Abschnitts werden stark vereinfacht nur diejenigen Elemente skizziert, die hier für die Aufstellung des mathematischen Konstrukts als wesentlich erscheinen.

3.6.1 Systemeinträge und Systembelastung

Die Arbeitssituationen von Cockpitbesatzungen resultieren im Wesentlichen aus dem ihnen übertragenen Transportauftrag. Dessen Ausführung ist als irreversibler Produktionsprozess zu sehen, der durch die zeitliche Abfolge von einzelnen Flugbetriebsphasen des Luftfahrzeugs darstellbar wird. Entsprechend der Flugbetriebsphasen (siehe Abb. 2.6) ergeben sich unter der Einwirkung von äußeren Rahmenbedingungen[72] im Zeitbezug sowohl physikalische, chemische und andere natürliche Umgebungsumstände als auch Konstellationen von Betriebs- und Systemzuständen des Flugzeugs. Aus ihrem Zusammentreffen resultieren integrativ Flugbetriebssituationen. Diese wirken als Einträge in das Transportträger-Arbeitssystem und erzeugen parallel zu situationsimmanenten Anforderungen auch diejenigen regulativen Bearbeitungsansprüche, die sich permanent aus der notwendigen Aufrechterhaltung des Arbeitsprozesses ergeben. Letztere produzieren über sich selbst im Vorhalt neue Erfordernisse, die aus sich bedingenden Teil- bzw. Unteraufgaben resultieren. Somit stellen die Formen (Erscheinungsarten mit ihren Intensitäten) und die Eigenschaften von Arbeitssituationen den jeweiligen Gehalt von Systemeinträgen dar. Als Ursache bzw. Initiative soll Letztere entsprechend der Begriffsvereinbarung nach DIN EN ISO 10075-1 als zeitabhängige *Belastung*[73] des Subsystems Mensch (als Arbeitsperson) bezeichnet werden. Dabei stellen Aufgaben die notwendigen Voraussetzungen zum Vorhandensein des jeweiligen reaktionsfordernden Gehalts von Einträgen dar. Die zu ihrer Bewältigung entsprechend gekoppelten Anforderungen bedürfen zu ihrer Bewältigung eines qualitativen und quantitativen Maßes an mehrdimensionalem, psychophysischem Aufwand. Durch dessen Einsatz wird die angestrebte Wandlung vom Bestandsmerkmal an ungeklärter Komplexität des Inputs in geordnete Strukturen zur Lösung bzw. Klärung der Aufgabensequenz möglich, - im Sinne von Feststellbarkeit, Stabilität, Zuverlässigkeit, Weitschweifigkeit und Steifigkeit, und führt zu

---

[72] Unter Rahmenbedingungen sind zu verstehen: z. B. die Bereitstellungsgüte von Informationen, von Betriebsmitteln u. Sachen sowie die z. T. latent wirkenden Einflüsse aus Umgebungs- und sozialen Systemen. Wie in Kapitel 2. beschrieben stellen sie wesentliche Voraussetzungen zum Betrieb eines Luftfahrzeugs dar.

[73] „…Gesamtheit aller während der Arbeit auf den Menschen von außen einwirkenden Faktoren…" [23c]

Veränderungen des Empfängers (hier der Arbeitsperson). Die jeweiligen Aufforderungscharaktere der Systemeinträge befehligen im Subsystem Mensch individuell verschiedene psychomentale Funktionsbeanspruchungen und emotionale Selbstbeanspruchungen. Das Zustandekommen von Systemeinträgen aus Aspekten bzw. Konstellationen einer generellen Arbeitsprozessstruktur ist schematisch in Abbildung 3.5 dargestellt.

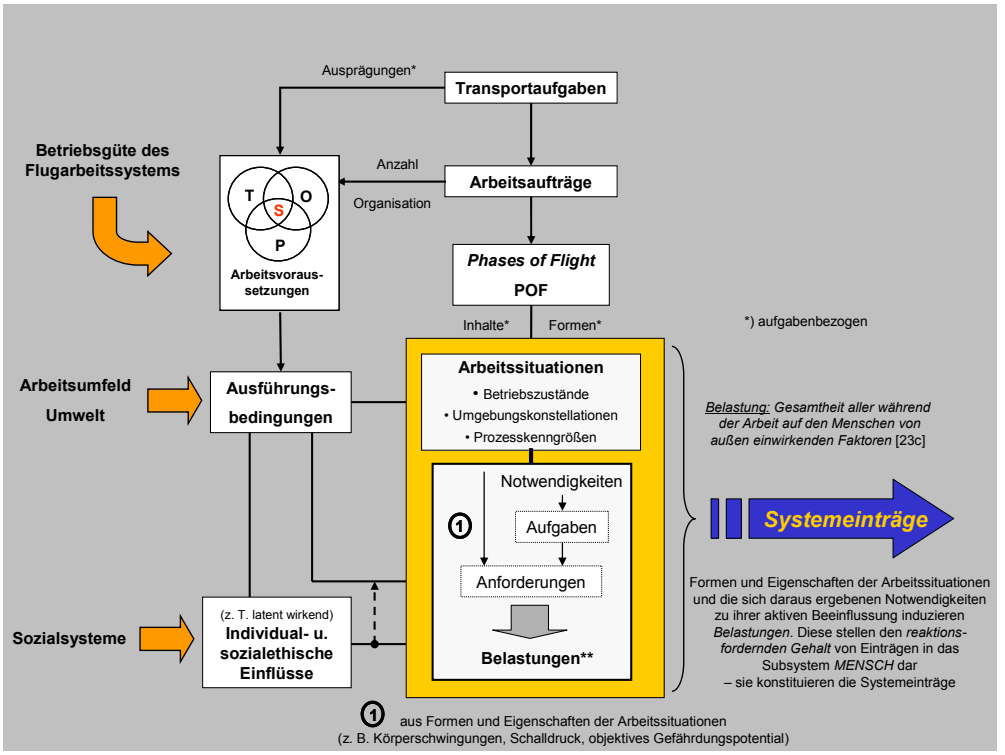


Abb. 3.5: **Einträge in das Subsystem *Mensch* als Arbeitsperson**

In Verbindung mit den Ausführungen aus Abschnitt 3.2 sollen hier Merkmale der Systemeinträge von auftretenden Ereignissen in konstitutiver Weise beschrieben werden mit *situationsbedingter Erstmaligkeit* und den, von vorhandenen Verständnisstrukturen des Empfängers bzw. vom OAS-Inventar der Arbeitsperson abhängigen gegensätzlichen Anteilen an *Anfangsbestätigung*. Letztere soll erst, wiederum in Abhängigkeit des aktuellen Empfängerwahrnehmungsvermögens, den Realitätsbezug des subjektiv erkannten und situationsbedingten Eintrag-Neuheitsgrads ermöglichen. In Abbildung 3.6 wird dieser Vorausprozess mit *Konstitutionszirkel* bezeichnet.

Die jeweiligen Inhalte des vorgestellten Gegensatzpaares und der damit verbundenen gegenseitigen Substitutionen von Unbekanntem zu ähnlich Vertrautem bzw. zu erwarteten OAS-Aspekten werden in Abschnitt 4.2 genutzt für die Arithmetisierung des Gehalts komplexer Input-Konstellationen bzw. deren unscharfen Maßes an *Ungeklärtem*. Darin spiegelt sich qualitativ sowohl der vom Individuum erkannte Charakter von Situationsmustern wider als

auch deren zeitliche Änderung [152]. Sie bilden die Grundlage zur Generierung von Aktivierungssystemen, die als äußerer Antrieb zur Handlungsregulation wirken.

Die Einteilung von Einträgen hinsichtlich ihrer Erscheinungsart soll hier nur kurz skizziert werden. Eine Trennung in Komponenten erfolgt dabei nicht, da die komplexen Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Klassen und deren Dominanz in der sich stets ändernden, situationsbedingten Zusammenstellung mit den Auswirkungen auf das Subsystem *Mensch* z. T. nur fraktal bekannt sind. Wie oben beschrieben, können weiterhin in Abhängigkeit der Empfängerbeschaffenheit Einträge mit unterschiedlichen Charakteristika belegt sein bzw. werden. Dies gilt besonders für psychische Komponenten, die neben informatorischen Komponenten am schwersten zu fassen und hinsichtlich ihres Belastungsmaßes einzuordnen sind (siehe hierzu auch Anmerkung A3.9).

Eine treffende Gliederung von Belastungen für ausgewählte *fliegerische Arbeitsplätze* gibt *BULD* im Zuge der Herleitung von Belastungsdimensionen für militärisch operationell tätiges Luftfahrtpersonal an [60a]. Diese auf bestimmte soziale Gruppen objektivierte Einteilung der Belastungsarten kann ansatzweise auch mit guter Passgenauigkeit auf Cockpitbesatzungen im zivilen Lufttransportverkehr übertragen werden. Eine Aufstellung ist Tabelle 3.2 zu entnehmen.

Kognitiv-mentale Belastung	Energetische Belastung	Emotionale Belastung	Soziale Belastung
▪ Entscheiden müssen ▪ Mehrfachtätigkeiten ausführen ▪ In Zusammenhängen denken ▪ Aufgaben präzise durchführen	▪ Körperlichen Anforderungen standhalten ▪ Durchhalten müssen ▪ Monotonie ertragen	▪ Mit hohem Schadensrisiko handeln ▪ Unsicherheitsbedingungen ertragen • Unplanbarkeit ertragen	▪ Mit anderen Menschen umgehen

Tab. 3.2: Belastungsarten fliegerischer Tätigkeiten; Gruppiert entsprechend ihres Beanspruchungsgehalts nach *BULD*

Eine dazu korrespondierende Aufstellung relevanter Anforderungen aus Cockpitarbeit ist in Tabelle 3.3 aufgeführt. Diese ist in Beziehung mit den Ausführungen in Abbildung 2.9 zu setzen.

Die sich aus dem Produktionsprozess ergebenen Aufgaben an Cockpitbesatzungen sind z. T. sowohl in der technischen Dokumentation des Luftfahrzeugmusters aufgeführt als auch in der operationellen Dokumentation des Luftfahrtunternehmens beschrieben (OM Manuals Part A-D gemäß JAR-Ops1 [156]). Letztere enthalten grundsätzlich auch die entsprechenden länderspezifischen rechtlichen Grundlagen.

Die erforderliche praxisbezogene Basis zur Bewältigung der Aufgaben durch handlungskompetentes Agieren bzw. Reagieren, das vorwiegend auf bewährten Verfahren beruht, wird als *good Airmanship* bezeichnet. Darunter wird ein nahezu objektives, von Flugbetriebs- Fachgemeinden akzeptiertes und für gut befundenes Inventar an Operationellen Abbildungssystemen, Handlungsabläufen und Verhalten verstanden. Dessen Ausrichtungen, Menge bzw. Volumen ist allerdings weder scharf definiert und abgegrenzt noch in allen seinen Facetten als Gesamtheit dokumentiert. Extrakte der Inhalte hingegen schlagen sich hauptsächlich in standardisierten Verfahrensanweisungen für den Flugbetrieb nieder wie z. B. *SOP*s, den Standard Operational Procedures der Flugdurchführung.

Tab. 3.3: Auswahl relevanter Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen

Qualifikation vornehmlich mental / aufgabenspezifisch	**Verantwortung** vornehmlich motivational	**Widerstandsvermögen aus subjektiver Konstitution / Disposition unter Beachtung von individuellen circadianen Mechanismen [154]** ⟷	**Subjektives Anpassungsvermögen an objektive Arbeitsbedingungen** vornehmlich emotional / physiologisch	**Subjektives Anpassungsvermögen an (exogene) Lebensbedingungen bzw. Arbeitserweiterung** vornehmlich sozial → emotional
Kenntnisse / Wissen •Fachkompetenz*	Bereitschaft zur Übernahme von Pflichten aus Rechtssystemen und daraus die Folgen zu tragen	Ausprägung •d. kognitiv-mentalen Agilität** •der aktiven Sinnestätigkeit [125a] •der Stabilität von Bewegungsmustern	Subjektive Bedürfnishierarchie (z. B. gemäß Bedürfnispyramide nach *MASLOW*) [40d] •Motivation- Erwartungen- Zufriedenheit- Arbeitsermüdung	Abgleich von individuellen Lebensbedürfnissen und -bedingungen mit der Dichte von Arbeitsaufträgen •sozial •materiell •organisatorisch •Ereignis bezogen [54]
Fähigkeiten / Fertigkeiten •Methodenkompetenz* •Sozialkompetenz* •Individualkompetenz* •Moral- und Ethikkompetenz* •Ausbildung der Psychomotorik •Sinneskoordination / -Auswertung ○Orientierung ○Bewusstseinsausprägung	Verpflichtung für •humanitäres •soziales •ökonomisches •ökologisches Entscheiden und Handeln einzutreten und hierfür Rechenschaft zu schulden	Ausprägung des energetischen Leistungsvermögens (auch körperlicher Trainingszustand, Ausdauer)	Subjektives Akzeptanzniveau zur Güte von: •objektiven, sozialen Hygienefaktoren [40d] •Arbeitsvoraussetzungen (Zustände, Prozesse besonders sicherheitsrelevante Merkmale gemäß TOP- Voraussetzungen)	Regulationen zu latent wirkenden Einflüssen aus Akzeptanzrückkoppelungen exogener Sozialsysteme hinsichtlich der Raster von Dienst-, Ruhe- und Abwesendheitszeiten sowie deren Planbarkeit
Tacit Skills [125] Operationell orientiertes Gespür / Gefühl für Arbeitssystemkomponenten, -Zustände und -Prozesse u. a. hinsichtlich präventiven Arbeitshandelns	Selbstverpflichtung zum Erhalt des subjektiven Leistungsvermögens zur Erfüllung externer Zielsetzungen	Ausprägung der emotionalen Stabilität (u. a. Maß an Ausgeglichenheit)	Einordnung des aktuellen, subjektiven Leistungsvermögens u. Aufrechterhaltung der •Selbstreferenz •Beziehung zur Umwelt und Empathie	Abgleich von individuellen Einstellungen, Meinungen und Überzeugungen mit gesellschaftlichen `Wertebildern` und deren Wandel
Erfahrungen •Ausbildung von fachspezifischen OAS		Ausprägung der sozialen Stabilität (soziale Festigung, -Wurzeln)	Erhalt operationell orientierter (Zweck)- Rationalität u. Flexibilität	
Bildung [155] •Aktuelles Niveau / Breite •OAS- Umfang		Ausprägung der medizinischen Stabilität besonders hinsichtlich chronobiologischer Aspekte ⟷	Physiologisches Regulationsvermögen hinsichtlich der Einträge aus Umweltbedingungen (Lärm, Hitze…)	
Flexibilität		Ausprägung des Erholungsvermögens	Inventar an individuellen Bewältigungsstrategien •Auflösungsvermögen von Einträgen (qualitativ, quantitativ, selektiv nach Prioritäten) •Effizienz von Bearbeitungsmustern	

*) Elemente der subjektiven Handlungskompetenz [153]

**) Agilität bezeichnet die Dynamik der geistigen, zur Wirkung kommenden Leistungsbereitschaft und Leistungsfähigkeit

3.6.2 Ablaufdarstellung des rückgekoppelten Vollzugs der Inter- und Exteriorisation

Arbeitspersonen nehmen Systemeinträge und deren Änderungen aus den jeweiligen Flugbetriebssituationen hauptsächlich über ihre Sinnesorgane als multiple Reizmusterverläufe und durch ihr Arbeitsgespür auf. Dies geschieht grundsätzlich in Abhängigkeit von ihren jeweiligen individuellen Leistungsdispositionen unter Einfluss habitueller Merkmale der einzelnen Besatzungsmitglieder wie z. B. das Vigilanzverhalten [157]. Letzteres besitzt einen relevanten Einfluss besonders auf die Dauerbeobachtungsleistung von Arbeitspersonen. Da dieser Aspekt im folgenden Ansatz zunächst einen untergeordneten Stellenwert einnimmt, geht dieses Phänomen nur implizit in die Konstruktmodellierung[74] ein.

In einem ersten Kreisprozess erfolgt eine grundlegende Wesenseinordnung des Systeminputs hinsichtlich seines Realitätsbezugs (Konstituierung). Dieser Vorgang soll betrachtet werden als Takt-verschobene *Vorauskomponente* des zeitdiskret verlaufenden Wahrnehmungsprozesses. Er wird in Abbildung 3.6 mit *Konstitutionszirkel* bezeichnet.

Die Wahrnehmungen von Arbeitssituationen werden, neben einer ersten Bearbeitungs- und Aufwandsabschätzung, in kognitiven und psychophysischen Prozessen verarbeitet durch den sicherheitsorientierten Vergleich u. a. des objektiven Betriebsrisikos mit einem diesbezüglichen subjektiven operationellen Abbildungssystem (OAS). Die Gefahr der subjektiven *Wahrnehmungsverzerrung* aufgrund von habituellen Tendenzen zur Senkung des Anspruchsniveaus an die Aufgabenbewältigung [124] bleibt dabei zunächst unberücksichtigt (siehe Anmerkung A3.10).

Das Ergebnis des Wahrnehmungsprozesses führt, besonders über Assoziationsvorgänge und Antizipationsvorgänge, u. a. zu einer subjektiven Einschätzung des aktuellen objektiven Gefährdungspotentials der Flugbetriebssituation für das Arbeitssystem [158]. Ausgehend vom Bewusstheitsgrad der Arbeitsperson wird dabei das Konglomerat an Systemeinträgen entsprechend individueller Absichten und *dispositioneller Bewältigungsstile*[75] mit einer Komponente an Bearbeitungswichtigkeit und –dringlichkeit[76] belegt. Die momentane Leistungsbereitschaft unter der Gewichtung von Persönlichkeitsmerkmalen in der Beziehung von Auftrag, Ziel und Leistung (selbst gesetzte- / übernommene Ziele, Selbstwirksamkeitsüberzeugungen, Verpflichtung) [160] sowie die subjektive Einstellung der arbeitenden Person zum Risiko (mit Bezug zur Ausprägung seines Gefahren- und Sicherheitsbewusstseins) bilden mehrdimensionale, konzeptionelle Aktivierungskomponenten (siehe Abschnitt 4.3). Diese veranlassen bzw. führen zur Mobilisierung der Interiorisation mit entsprechender Intensität / Modalität, welche schließlich als Konsequenz Handlungen generiert, die den äußeren Arbeits- bzw.

---

[74] Der Ansatz richtet sich hier auf Belastungssituationen, die zur Überforderung der Arbeitsperson führen können. Es wird sich auf die Suche nach den „oberen Grenzen“ des Leistungsvermögens begeben. Partielle Überforderung bei allseitiger Unterforderung ist nicht Gegenstand der Untersuchung, wobei Versäumnisse bei der Signalentdeckung durch Vigilanzabnahme bzw. durch Zunahme von Reaktionslatenzen letztlich im Zeitverlauf u. U. zu globaler Überforderung führen können (→ Situationsdivergenz).

[75] personentypische, kognitive Strategien der Belastungsbewältigung [124]

[76] „…Zeitdruck [aufgrund der erwarteten Erledigungszeit eines Motivs] bewirkt das Empfinden von Aktivierung…“ [159]

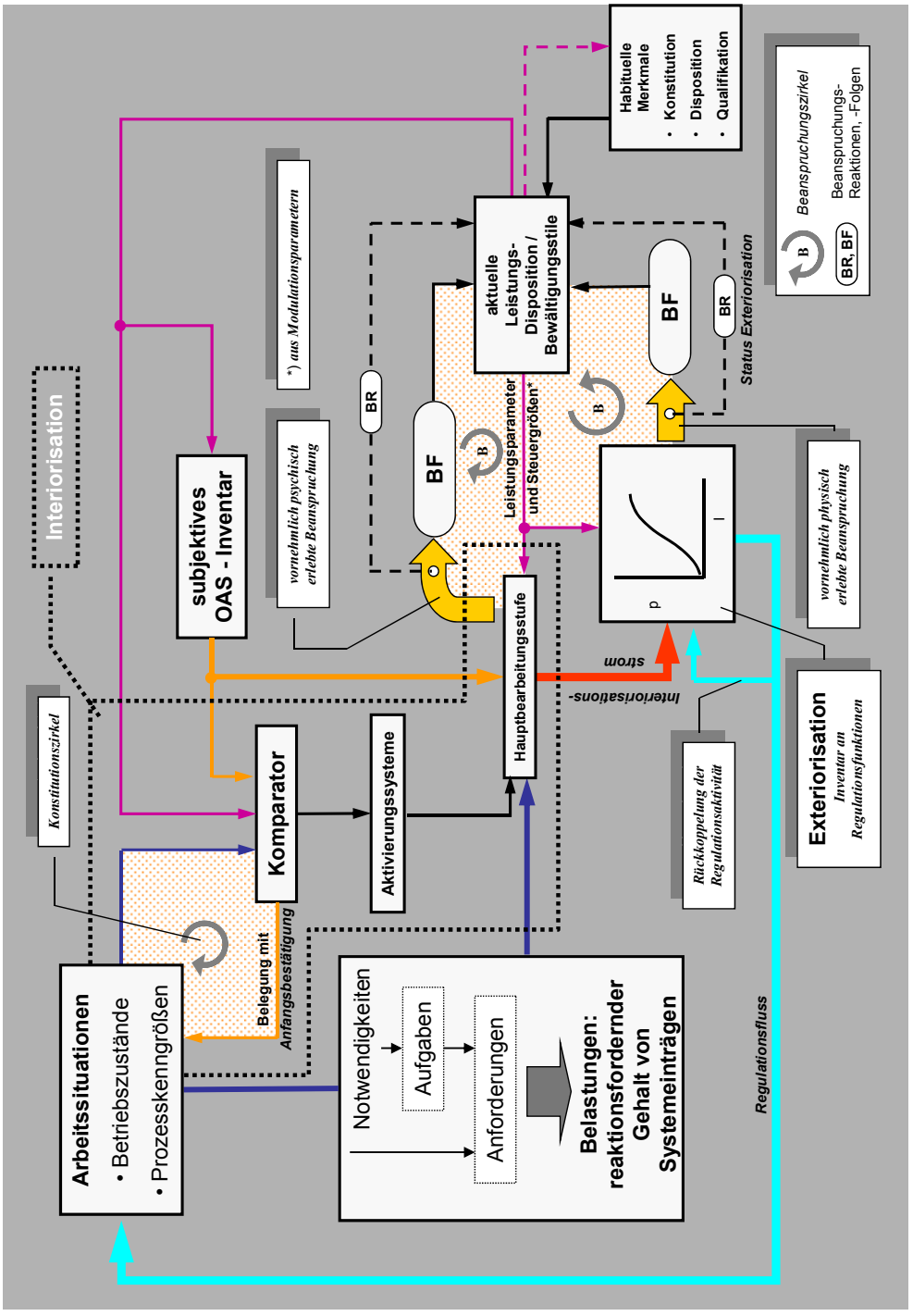


Abb. 3.6: **Schematisierte Darstellung des Prozesskonstrukts zur Situationsregulation**

Produktionsprozess bewirken. Für die Bewertbarkeit der Handlungsgüte und den damit zusammenhängenden intendierten Schutzmaßnahmen[77] sind Erkenntnisse aus der Risikokompensationstheorie zu beachten (vgl. [161]).

Während der Aktivierung der Interiorisation werden *Modulationsparameter*[78] (zur Belastungsbewältigung) generiert. Diese *intervenierenden Größen* akzentuieren nach [124] die Strukturmuster der momentanen Wechselwirkungen von personenbezogenen- und situationsbezogenen Merkmalen. Damit reflektieren sie also auch wesentliche Attribute der *Menschlichen Zuverlässigkeit* der jeweiligen Arbeitsperson.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass im Subsystem Arbeitsperson, Belastungskonstellationen entsprechend ihrer Wirkungsrichtungen, unter Berücksichtigung der Zeit ihres Auftretens und zusammen mit der subjektiven Einschätzung des objektiven Betriebsrisikos interiorisiert werden: Aus *Interiorisationscluster* entsteht vereinigt der *Interiorisationsstrom*. Aus einer physikalisch-mathematischen Perspektive heraus wird hypothetisch der *Interiorisationsstrom* den Regulationsfunktionen der Exteriorisation zugeführt. Diese verkörpern in der theoretischen Anschauung ein (arithmetisches) Konstrukt von nichtlinearen Arbeitskennlinien, die makroskopische Systemaktivität in Abhängigkeit der Änderung von innersystemischen bzw. mikroskopischen, vornehmlich psychischen Verlaufsstrukturen (siehe Abschnitt 3.5.4) der Arbeitsperson abbilden soll. Im Vorgriff auf Abschnitt 5.2.4 bilden Fließgleichgewichte zwischen Interiorisationsstrom und Regulationsaktivität Referenzzustände bzw. Arbeitspunkte des Systems. Im vorgestellten Konstrukt wird davon ausgegangen, dass Änderungen von *mikroskopischen Verlaufsstrukturen* Variationen bzw. Modifikationen von Handlungen bewirken. Deren zeitliche Abfolge beeinflusst als makroskopischer Regulationsstrom wiederum die momentane Flugbetriebssituation. Eine Aktivitätsrückkoppelung ist damit hergestellt. Der Ablauf der geschilderten, irreversiblen und rekursiven Prozesssequenzen erfordert Zeit, die als *Beantwortungszeitdauer des Subsystems* in das eigene Systemverhalten eingeht[79].

Das Ziel des weiteren Vorgehens ist es einen naturwissenschaftlich orientierten Ansatz zur Einordnung der jeweils aktuellen Systembeschaffenheit in Akzeptanzkategorien zu entwickeln, um das sicherheitsorientierte Vermögen von Arbeitspersonen zur Bewältigung von Arbeitsanforderungen besser beurteilen zu können. Mit Hilfe der vorgestellten Konzeption besteht die Aussicht, sowohl wesentliche Wesenszüge der Arbeitsperson als auch Effekte aus Arbeitsermüdung bzw. Regeneration, entsprechend der in Abbildung 3.6 skizzierten Beanspruchungszirkel, zu berücksichtigen.

---

[77] Als Schutzmaßnahmen sind Entscheidungen und die Selektion effizient wirksam werdender Handlungen zum Schutz vor Gefahren (Motive als Oberziel [158a]) zu verstehen. Sie werden, als eine nichttrennbare Einheit der Situationsregulationsaktivität zur Aufgabenbewältigung, u. a. innerhalb der Crew abgestimmt. Dabei kann die Handlungsabstimmung (u. a. Kommunikation, Multi Crew Coordination und Crew Ressource Management) als ein wesentliches Element der inneren (u. a. makroskopischen) Organisation des Arbeitssystems betrachtet werden.

[78] in Anlehnung an [162]: Die Konstellation der Ausprägungen von Aktiviertheit, Selektionsschwelle, Auflösungsgrad und Abtastrate steuern im Wesentlichen die Regulationscharakteristik der Arbeitsperson. - siehe Abschnitt 5.2.6

[79] Damit wird u. a. die Höhe der Abtastrate als Modulationsparameter begrenzt.

3.7 Zusammenfassung zur Darstellung des Anschauungskonstrukts

Auf der Grundlage einer Belastungs- Beanspruchungs-Konzeption wurde ein theoretisches Anschauungskonstrukt erarbeitet, das Aspekte entstehender Handlungsregulationen aufgreift. Dabei wurde sich struktureller Konzepte unterschiedlicher wissenschaftlicher Fachdisziplinen bedient, die es ermöglichten, zyklische Organisationsformen symbiotischer Prozesse der Handlungsentstehung ingenieurwissenschaftlich als offenes System darzustellen. Das Augenmerk richtete sich hierbei besonders auf rückgekoppelte Verfahrensabfolgen:

So wurden i. d. R. sortierende Einzelprozesse der Interiorisation aus Systemeinträgen systemintern als mikroskopische Initiativen aufgefasst. Aus ihnen emergieren Aktivitätsmuster intendierter Handlungen. In der stringenten kausalen Abfolge wurde deren Überführung in die physikalische Realität entsprechend als makroskopische Konsequenzen dargestellt. Letzterer Übertragungsprozess wird als Exteriorisation bezeichnet. Das Resultat sind beobachtbare Handlungen. Zwischen den beiden geschilderten Entwicklungsphasen *Interiorisation* und *Exteriorisation* (sowie den damit zusammenhängenden Übergängen von Betrachtungsebenen) wurde fiktiv ein arbeitspsychologisch untermauertes Bindeglied eingefügt. Es wird als *Interiorisationsstrom* bezeichnet. Dessen Substanz trägt imaginär Strukturen der aktuellen Systemselbstorganisation und spiegelt damit u. a. auch wesentliche Aspekte der momentanen dynamischen Existenz des Systems wider. Er vereint als Basisfließgefüge objektiv sowohl belastungsbedeutsame als auch subjektiv beanspruchungsrelevante Attribute einer Anforderungsbewältigung.

Aus der Illustration von z. T. rückgekoppelten Prozessabfolgen und den daraus abgeleiteten konzeptionellen Argumentationen wird die Signifikanz des Gehalts des *Interiorisationsstroms* als steuernder Einfluss auf den Charakter des Arbeitsvollzugs besonders deutlich. Das gemeinsame Wirken von mikroskopischen und makroskopischen Prozesselementen bildet den Kontext der weiteren Argumentation.

Kapitel 4

Zur internen Systemdynamik – Darstellung mikroskopischer Regulationsaspekte zur Arbeitsanforderungsbewältigung

Im vorliegenden Kapitel wird sich der systemimmanenten Dynamik wesentlicher Aspekte des Leistungsvermögens von Arbeitspersonen zugewandt. Im Fokus steht hier die Regulation, d. h. das Entstehen und das Aufrechterhalten handlungsregulativ wirkender mikroskopischer Strukturen im Subsystem Mensch, um Arbeitsanforderungen zu bewältigen. Hier sollen aus der Vielzahl wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse unterschiedlicher Fachrichtungen Bausteine für einen interdisziplinär verträglichen Grundkonsens zur Gestaltung von Arbeitsvoraussetzungen erstellt werden. Analogien zum naturwissenschaftlich geprägten Selbstorganisationsparadigma dienen gleichermaßen zur Analyse wie zu einer quantitativen Konstruktion der dynamischen Prozesse. Vorausgesetzt sind dabei die im 3. Kapitel vorgestellte erfahrungsgeleitete und kybernetisch orientierte Grundkonzeption zur Erfassung der Regulation berufsspezifischer Arbeitstätigkeiten von Piloten.

Grundlage des methodischen Vorgehens bildet die Aufstellung physikalisch- mathematischer Analogien entlang des Verlaufs eines raumzeitlichen Pfades, der den Prozess der Interiorisation von Systemeinträgen im arbeitenden Subjekt *Mensch* beschreibt. Das Individuum wird hier als offenes System betrachtet. Dabei geht es um Wandlungs- und Aufbereitungsprozesse von detektiertem situationsbedingtem *Realen* in Regulationsstrukturen intendierter Handlungen, also um die Art und Weise der Umsetzung von multiplen Reizmustern in mikroskopische Aktivitätsmusterausprägungen. Die Bestrebungen konzentrieren sich auf die Suche nach Anzeichen, die mikroskopisch determinierte Grenzen menschlichen Regulationsvermögens zu erkennen erlauben. Dazu wird ein Ansatz formuliert, der es trotz seiner Nähe zur Naturwissenschaft ermöglichen soll, psychische und kognitive (mentale) Aspekte bei der körperlich-geistigen Verarbeitung von Systemeinträgen zu erfassen. Die beschreibenden Variablen des zu untersuchenden Prozesses werden so gewählt, dass auf die konkrete Formulierung bestimmter intendierter Handlungen willentlicher Regulationsaktivitäten verzichtet werden kann. Um den Kern der Regulationskomplexität von Arbeitsprozessen und ihrer Genese besser erfassen zu können wird sich hier Entropiegrößen differenzierter Art bedient (siehe Abschnitt 4.5). Diese sind letztlich verantwortlich für die makroskopische Regimesteuerung bzw. Genese von Handlungen. Es sei bemerkt, dass das scheinbar Diffuse dieses Ansatzes trügt. Vielmehr besteht die Erfolgsaussicht, dass eine bewusst in Kauf genommene Unschärfe es überhaupt erst ermöglicht, sich einer quantitativen Erfassung natürlicher irreversibler Prozessvielschichtigkeit respektvoll zu nähern. Durch den zeitdynamischen Charakter der Interiorisation kann nach dem jetzigen Erkenntnisstand auf die Einführung absoluter Größen (Parameter, Variablen) im theoretischen Konstrukt weitestgehend verzichtet werden. Trotz wissenschaftlicher Erkenntnisse zu Relationen zwischen Geist und Körper wird aus Gründen der Übersichtlichkeit zunächst für das Erklärungskonstrukt eingeschränkt der Dualismus nach der Naturphilosophie von *DESCARTES* angesetzt und sich thermodynamisch orientierter Anleihen zur Abbildung und zum Aufbau einer prozessorientierten Perspektive bedient.

4.1 Zum Gehalt von Systemeinträgen aus Situationen der Arbeitsumgebung

Wie in Abschnitt 3.6.1 diskutiert, werden als Systemeinträge hier die vom Individuum aufgenommenen Konstellationen verknüpfter Elemente seiner Umgebung verstanden. Sie können von materieller, energetischer sowie mitteilender Art sein. Letztere gewinnen im Systeminneren an Bedeutung. Systemeinträge können vom menschlichen Körper und Geist eine Reaktion fordern oder ihnen „Vitalität" spenden. Der reaktionsfordernde Gehalt eines Systemeintrags soll gemäß Abb. 3.5 als Belastung bezeichnet werden. Belastung ist der Anteil eines Systemeintrags, der die Notwendigkeit einer gleichwie gearteten Bearbeitung in sich trägt. Der Vitalität spendende Gehalt eines Eintrags sei als lebensunterstützend einzuordnen. Sein Merkmal ist, dass er weitgehend als Ressourcen aufbauend anzusehen ist, wie z. B. der Anteil an Brennwerten in der Nahrung, oder eine als angenehm wahrgenommene Umgebung.

Aus physikalischer Sicht sind die Flüsse von Systemeinträgen real existent. Sie werden im Vorgriff der Verarbeitung vom Individuum detektiert und dann durch Interiorisation „vereinnahmt". Die elementare Unterscheidung der Arten von Systemeinträgen soll in Materie, Energie und Information erfolgen.

Als materielle Systemeinträge wird der Verzehr von Nahrung und von Getränken verstanden. Ihr Konsum durch den Menschen und die entsprechende Ausscheidung soll nicht Gegenstand des vorliegenden Beitrages sein. Als eine grundlegende Voraussetzung[80] wird davon ausgegangen, dass für eine adäquate Versorgung des Arbeitsplatzinhabers mit Lebensmitteln während des Flugdienstes gesorgt ist.

4.1.1 Energetisch belegte Systemeinträge

Als energetische Systemeinträge wird hier die Aufnahme von Energie durch den menschlichen Körper verstanden. Hierbei handelt es sich vorwiegend um physikalische Einflussgrößen aus klimatischen Wirksamkeiten wie z. B. Strahlung und deren wesentliche Auswirkung auf den Organismus. Letztere umfasst besonders das Spektrum elektromagnetischer Strahlung. Dabei sollen an dieser Stelle thermische Aspekte absorbierter Energie im Vordergrund stehen. Im Vorgriff auf Erklärungen im Abschnitt 4.6 gilt es hier, die vom menschlichen Körper aufgenommenen Entropiegrößen aus Energieflüssen der Systemumgebung zu erfassen. Dabei wird die von außen aufgenommene Energiemenge u. a. besonders durch Wärmeleitung der Umgebung und Lichtstrahlung auf die mittlere Schalentemperatur d. h. auf die mittlere Hauttemperatur bezogen. Die Erwärmung innerer biologischer Materie infolge absorbierter vorwiegend hochfrequenter elektromagnetischer Felder, u. a. durch ionische Leitung, durch Orientierungspolarisation oder quantenmechanische Resonanzeffekte, ist auf die mittlere afebrile Kerntemperatur zu beziehen [40e]. Damit folgt für die Entropiezunahme durch die Einwirkungen der Systemumgebung unter dem Näherungsansatz eines reversiblen Prozesses:

---

[80] Grundvoraussetzung: Unter der z. Zt. stetigen Zunahme an Arbeitsaufträgen pro Flugdienstperiode und unter Berücksichtigung des Trends hin zu geringen *Turnaround-Zeiten* muss die Gestaltung von Arbeitsabläufen auch Zeitintervalle für den Vollzug körperlicher Bedürfnisse vorsehen.

$$\Delta S_{e,U} = \frac{\Delta Q_{ges,U}}{T_{mH}} + \sum_i \frac{\Delta E_{i,U}}{T_{mH}} + \frac{\Delta E_{imt,U}}{T_m} \tag{4.1}$$

$$\text{mit } h = 6{,}6261 \cdot 10^{-34} \; Js \text{ gilt: } E_{i,U} = h \cdot f_i \tag{4.2}$$

4.1.2 Zum Begriff *Information* als Systemeintrag

Im Gegensatz zu Materie und Energie, die physikalisch eindeutig beschreibbar sind, bedarf es zur Begriffsbelegung *Information* einiger detaillierter Betrachtungen.

Die rein technische Perspektive zum Fassen des Informationsbegriffs über eine Sender-Empfänger- Konstellation ist für die vorliegende Arbeit nicht hinreichend [77]. Der Syntax bezogene Kontext, wie er vorwiegend in der Nachrichtentechnik verwendet wird, reicht allein nicht aus, semantische und pragmatische Aspekte der menschlichen Informationsverarbeitung zu berücksichtigen. Der, u. a. binäre Datentransport leistet technologisch zwar hervorragende Dienste. Allerdings scheint es, dass der entsprechende Geltungsbereich aufgrund der strengen Determiniertheit besonders hinsichtlich der Erweiterung auf kognitive bzw. psychische Prozesse bei Lebewesen nicht ohne weiteres auszudehnen ist. Dies äußert sich besonders anschaulich in Quantifizierungsversuchen möglicher „Datenübertragungen" durch den fiktiven Kanal eines *„Flaschenhalsmodells der Wahrnehmung"* nach *KEIDEL* [163]. Im Vergleich zu anderen Autoren z. B. [164] scheint hier u. a. besonders Uneinigkeit über deutliche Systemabgrenzungen und über Aussagen zu Beträgen von systemgesteuerten Mengen an Datenreduktionen zu herrschen. Wie in Abschnitt 4.5 gezeigt wird, kann dies nicht verwundern, da die Begrenzung von Zuflüssen einen Stellprozess des regelnden Subsystems darstellt und damit einer schwer fassbaren Dynamik unterliegt. Besonders zu berücksichtigen wären dabei u. a. Attribute des Bewusstseins und des Gedächtnisses. Dazu formuliert *DINGES* Einfluss nehmende Kenngrößen in technologischer Weise [164]. Dies sind z. B. die Verweildauer bzw. Gegenwartsdauer von Information im menschlichen Bewusstsein und mögliche Zuflussmengen ins Lang- und Kurzzeitgedächtnis. Allerdings bleibt weiterhin unklar, wie sich die komplexe Realität situationsgeprägter Umgebungsbedingungen durch klassische Binarität abbilden lässt. Zur weiter gestreckten Veranschaulichung des Informationsbegriffs sollen hier deshalb einige philosophisch geprägte Erkenntnisse Eingang finden. Hier liegt das Ziel darin, eine Möglichkeit zu finden, um Botschaften der Umgebung des arbeitenden Menschen quantitativ besser erfassen zu können.

In der Literatur wird vornehmlich in der klassischen Begriffsbelegung von Bedeutung - bzw. Zweck tragender Information gesprochen, - z. B. nach *C. F. v. WEIZSÄCKER* ist Information „…in objektiver Weise subjektbezogen…" [165]. Dieser Individual- Charakter wird auch u. a. von *BÖHME* unterstrichen [166]. Der mitteilende Charakter des Informationsgehalts erfährt allein mit diesen Anschauungen keine Objektivierung. Allerdings gelang es *LYRE* einen weiteren, interessanten Schritt dahin gehend aufzuzeigen [119]. In seinem Beitrag ist er bestrebt, sich der Begründbarkeit des Informationsbegriffs *a priori* zu nähern. Er versteht in seinem Ansatz implizit *Irreversibilität* als natürliche Gegebenheit und versieht den Informationsbegriff so mit einem prozessualen Aspekt. In diesem Zusammenhang bedient er sich auch der Bedeutung von Binarität. Dabei entflechtet er die Verwobenheit von *Zeitlichkeit* als *Übergang von Möglichkeit zu Wirklichkeit* und den damit verbundenen Wandel von *Unterscheidbarkeiten*. Danach kann zwischen potentieller, den mitteilenden Charakter der

Umgebungssituation konstituierender Information und der, durch innere Systemaktivität entstandenen, aktuellen pragmatischen Information unterschieden werden. Abbildung 4.6 zeigt dazu die raumzeitliche Konzeption. Damit wird der Informationsbegriff wie folgt verwendet: Systemeinträge mitteilenden neutralen Charakters sollen als potentielle Information im Sinne von *Unterscheidbarkeiten der Zukunft* verstanden werden. Diese werden im Systeminneren aufbereitet zu *Erkenntnissen*, die als aktuelle Information mit subjektivem Charakter im Sinne von *Unterscheidungen der Vergangenheit* zu betrachten sind. Das substantielle Wesen von *Systemeinträgen mitteilenden Charakters* bleibt zunächst jedoch weitgehend undeutlich.

Die Arten von Systemeinträgen in ihren unterschiedlichen Konstellationen verlaufen im Zuge der äußeren Zeit[81] fließend. Sie werden vom Individuum in der Regel als multiple Reizmusteränderungen unterschiedlicher Ausprägungen durch die menschliche Sensorik zeitdiskret detektiert. Diesen Systemeinträgen hängt aus klassischer Sichtweise potentielle Information an. Die potentielle Information ist substantiell von ihren vornehmlich physikalisch fassbaren Trägern, wie z. B. Licht, Impuls- und Energieströmen, Schalldrücke etc., verschieden. Von diesen losgelöst besitzt sie, vor dem Prozessbeginn der Interiorisation, einen bedeutungs- bzw. sinnfreien, d.h. abstrakten Charakter. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Zugang zu dessen Kenntnis für die Konzeption zukünftiger komplexer arbeitswissenschaftlicher Belastungs-Beanspruchungsanalysen einen hohen Wert darstellt.

Es stellt sich die Frage, woraus der detektierte *Systemeintrag mitteilenden Charakters* besteht, welchen das Subjekt aus seiner Umgebung aufnimmt. Mit einer Antwort zu dieser Fragestellung könnte sich der angestrebten Objektivierung von potentieller Information genähert werden. Dazu erscheint ein Perspektivenwechsel hilfreich: Der Übergang von der klassischen technikwissenschaftlichen Sichtweise von Information zur, auch immateriell existierenden, Quanteninformation: Deren Substanz wird durch kleinste Informationseinheiten, den „Q-Bits“ bzw. „Qubits“ ausgedrückt. Sie stellen eine Beschreibung der Menge möglicher Entscheidungen von Zuständen der quantisierten binären Alternativen eines Quantensystems dar. Als Teilmenge einer kosmologisch fundierten Gesamtheit soll hier Quanteninformation nach der *Protyposis*-Konzeption von *GÖRNITZ* die konstituierende Größe über eine mögliche Kenntnis der Umgebung des Systems mit deren vielfältigen Erscheinungen und deren Änderungen angeben [167]. Dabei beschreiben, verobjektiviert, Qubits Zustandsräume von *Realem*. Ihre Vielzahl ermöglicht einen situationsbezogenen Kontext, der wiederum eine notwendige Voraussetzung zur Prozessaktivierung der Interiorisation darstellt.

Quanteninformation wird für den Menschen faktisch erstmals greifbar mit ihrem raumzeitlichen Systemeintritt. Aus der Sicht des lebenden Subjekts verliert sie dabei ihr abstraktes neutrales Wesen durch den unwiederbringlichen Verlust eines Teils ihres (inhärenten) Gehalts. In weit gefasster Anlehnung an *GÖRNITZ* kann der informatorische Gehalt des Eintrags als „eine Menge möglicher Mitteilungen über Zustände des Umgebungssystem“ interpretiert werden [168]. Der informatorische Gehaltsverlust kann damit als „die Menge an Unkenntnis über Möglichkeiten der Zukunft“ verstanden werden. Aus Systemsicht handelt es sich dabei um den Verlust von unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten bzw. simplifi-

[81] In Anlehnung an [59] wird hier als Verlauf der *äußeren Zeit* das irreversible Verstreichen der Dauer von Anteilen periodisch wiederkehrender natürlicher Phänomene (im allgemein anerkannten Akzeptanzbereich geringer Abweichungen) als reelle, physikalische Größe mit der zugeordneten SI- Einheit *Sekunde* bezeichnet.

ziert um Verlust an einer *Art von Beliebigkeit*. So verliert z. B. ein aufleuchtendes rotes Licht im Cockpit seine neutrale Beliebigkeit in dem Moment, wenn dieses durch den Piloten detektiert wird. Das Ausmaß dieser Informationsunkenntnis bzw. das Maß an verloren gegangener Information neutralen Charakters kann systemseitig als *Entropie informellen Charakters* ΔS_e des Systemeintrags ausgedrückt werden. Dabei soll ΔS_e von der gleichen Art sein wie die später noch einzuführende *Interiorisationsentropie*. Unter dem statistischen Ansatz, dass *Information* eine monoton zunehmende Funktion der Ungewissheit über Möglichkeiten vorhandener Umstände ist und der Forderung, dass Information „additiv" ist, folgt in Anlehnung an [169] für das Wahrscheinlichkeitsverhältnis[82] der Ungewissheit über Möglichkeiten aktueller Umgebungskonstellationen zu entsprechender Ungewissheit über Alternativen von erfasster Realität:

$$\Delta S_e = k_e \, ln \, \frac{W_U}{W_e} \tag{4.3}$$

Dabei reflektiert k_e als frei festlegbare Maßstabskonstante die Zuordnung zum Bezugsniveau der Informationsart.

Der momentan detektierten Quanteninformation des Umgebungssystems müssen direkt nach dem Systemeintritt noch internale Selbstreferenzelemente zugeordnet werden. Dabei handelt es sich in einer psychischen Sichtweise um unablässige, z. T. nicht dem Bewusstsein unterliegende, doch aktiv wirkende Botschaften[83] aus Gedächtnisrepräsentationen. Darunter sind reaktionsfordernde, noch ungelöste und haften gebliebene Frage- bzw. Problemstellungen des Individuums besonders aus seinem eigenen gesellschaftlichen, sozialen und beruflichen Umfeld zu verstehen. Deren Interiorisation bedarf es folglich weiterhin im Systeminneren. Das so entstandene Bearbeitungskonglomerat soll quantentheoretisch als *henadische[84] Zustandsgebilde* [167a] bzw. als Gesamtheit aller wirkenden Belastungen verstanden werden (siehe Anmerkung A4.1).

4.2 Das *Potential an Ungeklärtem* von Systemeinträgen

Es wird ein frei zu definierendes, mehrdimensionales System zur graphischen Darstellung der Einsatzintensität von Kompetenzen einer Arbeitsperson herangezogen. Dies ist zunächst auf einen dreidimensionalen Anschauungsraum entsprechend der Abbildung 4.1 zu reduzieren. Als Ausrichtungen wurden die psychophysische Befähigung (*Q*), die psychophysische Bereitschaft (*B*) und das Einbringungsvermögen (*E*) als Leistungs- bzw. Zuverlässigkeitsvoraussetzungen des arbeitenden Individuums gewählt.

---

[82] Bed.: mit $W_U / W_e > 1$

[83] Die Arten dieser unablässig wirkenden *internalen Mitteilungen* werden aus berufsspezifischer Sicht besonders durch die induzierten psychischen Unbalancen aus individuell verschiedenen Konfliktpotentialen des beruflichen, sozialen und gesellschaftlichen Umfelds der Arbeitsperson gesehen. Siehe dazu auch Abschnitt 3.6.1

[84] die auf Einheit gerichtete Struktur von Quantensystemen

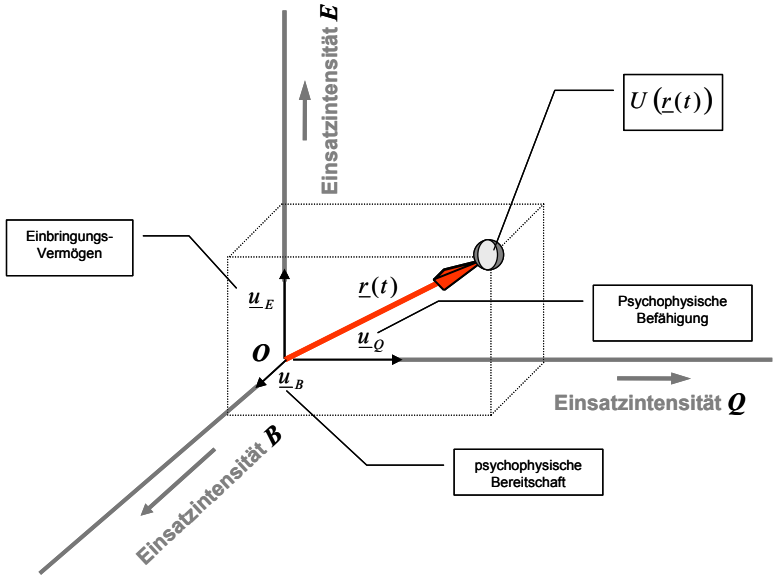


Abb. 4.1: **System zum Kompetenzeinsatz der Arbeitsperson als vereinfachter Anschauungsraum**

Die Definition des *Potentials an Ungeklärtem* $U\left(\underline{r}(t)\right)$ soll über den Begriff der Cockpitarbeit[85] zur Bewältigung von Flugbetriebssituationen bzw. zu deren Regulation eingeführt werden. Dabei stellen die Komponenten von $\underline{r}(t)$ die entsprechenden Anforderungen an das Subjekt zur Situationsbewältigung bzw. zum Erreichen des Bearbeitungszieles dar. Die Überwindung des Abstandes zwischen dem derzeitigen multiplen Zustandskonglomerat des Individuums (Index *0*) und dem intendierten situativen Bearbeitungsziel $\underline{r}(t)$ (durch den hypothetischen, affinen Raum) erfordert eine zu leistende Arbeit, die der zu regulierenden Situation als Bearbeitungspotential innewohnt[86]. Dieses enthält (subjektiv belegt) sowohl informative und energetische als auch psychische Aspekte, deren Klärung bzw. Bewältigung es bedarf. Damit wird vorgeschlagen, den momentanen Arbeitssituationen jeweils ein *Potential an Ungeklärtem* $U\left(\underline{r}(t)\right)$ zu zuschreiben. Im vorliegenden Konstrukt könnten dann die begrifflichen Zuweisungen hinsichtlich der *Erstmaligkeit* von pragmatischer Information [121] ggf. um die oben genannten *Ausrichtungen zur Regulation* von Arbeitssituationen erweitert werden.

Das *Potential an Ungeklärtem* soll hier, aufgebaut aus einem dem Bewusstsein unterstellten Anteil und einem unbewussten, vegetativ wirkenden verstanden werden. Seine Existenz und

[85] im allgemeineren Sinne: Menschliche Arbeit wird hier als Verrichtung von Interiorisations- und Exteriorisationsprozessen verstanden

[86] an dieser Stelle zeigt sich ein entscheidender Einfluss der *situational awareness* auf die Ausbildung der subjektiv erfassten Situations-Konstitution → Wirklichkeit

sein Ausmaß werden hauptsächlich durch den Vergleich der Einträge mit subjektiven Gedächtnisrepräsentationen (Operationelle Abbildungssysteme) geprägt.

4.3 Die *Psychophysische Affinität* als Antrieb der System- Selbstorganisation

BOUCSEIN stellt im Rahmen der Diskussion zu Aktivierungskonzepten ein für arbeitswissenschaftliche Anwendung ausgerichtetes mehrdimensionales Modell dar [170]. Wie vereinfacht in Abbildung 4.2 dargestellt, besteht es aus den drei, miteinander vernetzten Teilsystemen: *Allgemeine Aktivierung*[87] sowie *Effort*, *Affect Arousal* und *Preparatory Activation*. Dabei wurde das Konstrukt mit Aspekten aus dem äußeren Zeitverlauf ergänzt.

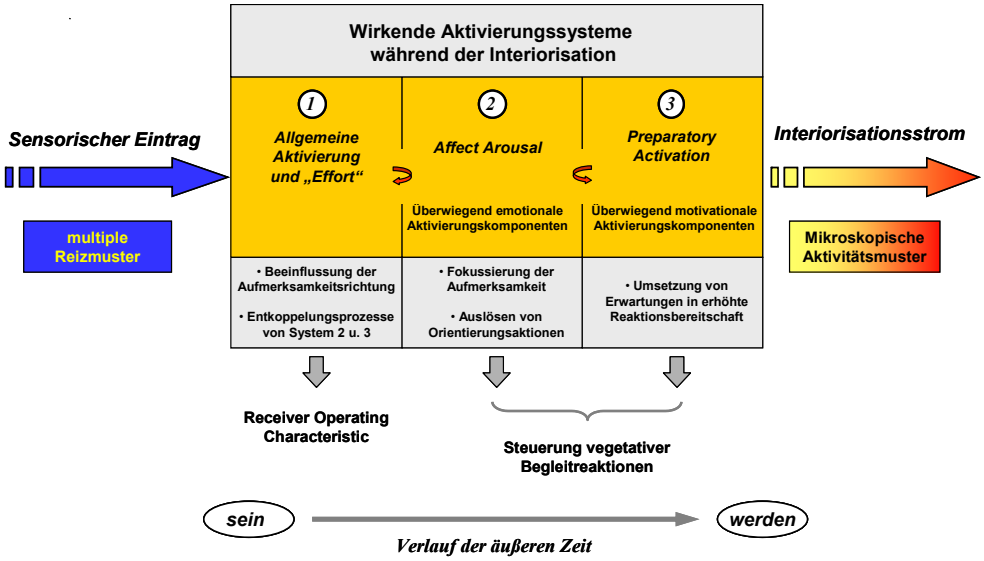


Abb. 4.2: ***Psychophysische Affinität*** **während des Prozesses der Interiorisation in Anlehnung an [170]**

Dieses Konglomerat an innerem Regulationsdrang des Individuums soll mit (mehrdimensionaler) *psychophysischer Affinität* bezeichnet werden. Sie entsteht aus der Inhomogenität des momentanen Arbeitssystemzustandes. Als treibende, verallgemeinerte Kraft für den Antrieb der Interiorisation wird sie aus der Gradientenbildung bzw. aus der Differenz des jeweiligen situationsimmanenten Potentials an *Ungeklärtem* bestimmt. In Analogie zur Thermodynamik irreversibler Abläufe kann zur Erfassung von Phänomen aus Transportprozessen in Gleich-

[87] Als Element des Aufsteigenden Retikulären Aktivierungssystems (*ARAS*), auch *Formatio reticularis* (*FR*) genannt: Eine Stimulation bestimmter Nervenfasern bewirkt eine erhöhte Aktivität des Nervensystems und führt den menschlichen Organismus auf diese Weise von einem wachen Ruhestand in einen Zustand erhöhter Aufmerksamkeit.

gewichtsnähe[88], in Näherung als linear angenommenem *Potential an Ungeklärtem* U, die *psychophysische Affinität* $\underline{X}_U$ als generalisierte Kraft wie folgt beschrieben werden:

$$\underline{X}_U(t) = -\nabla U(\underline{r}(t)) \tag{4.4}$$

Dabei sei die Wirkungsorientierung von $\underline{X}_U$ mit dem Bestreben des Systems vom *„SEIN"* zum *„WERDEN"* zu interpretieren. Im Gegensatz zu der Schreibweise von Ausrichtungen in Abbildung 4.1 wird hier nunmehr eine allgemeinere Indizierung gewählt. Der Gradientenoperator bestimmt sich entsprechend der Orientierungen u. a. von emotionalen-, motivationalen- bzw. tätigkeitsbezogenen und allgemeinen Aktivierungskomponenten der *psychophysischen Affinität* im nicht reduzierten, komplexen System zum Kompetenzeinsatz der Arbeitsperson mit den Basisvektoren $\underline{u}_e, \underline{u}_m, \underline{u}_a, ..., \underline{u}_r$ zu:

$$\nabla U = \frac{\partial U}{\partial e}\underline{u}_e + \frac{\partial U}{\partial m}\underline{u}_m + \frac{\partial U}{\partial a}\underline{u}_a + ... + \frac{\partial U}{\partial r}\underline{u}_r \tag{4.5}$$

4.4 Die Entropieproduktionsrate als Prozesskenngröße der Interiorisation

Wie im Vorstellungskonstrukt des Abschnitts 3.5.4 aufgeführt, werden durch die Antriebskomponenten dem Mensch innewohnende Produktionsmittel derart mobilisiert, dass Einzelflüsse von Interiorisationsgrößen (als fiktive Transportgrößen R_i) aus ursprünglich strukturellen und palliativen Ressourcen über mehrmalige Konsolidierungen (*clustering*) einen gemeinsamen, integrativen Strom an mikroskopischen Verlaufsstrukturen produzieren (Interiorisationsstrom). Mit der Gesamtheit der Transportgrößen (Interiorisationsgrößen) folgt für den Interiorisationsstrom $\underline{J}_F(t)$:

$$\underline{J}_F(t) = \sum_i \underline{w_i}(R_i) \cdot R_i(t) \tag{4.6}$$

Dabei werden die integrativen Koppelungen der Interiorisationsgrößen über vektorielle Wichtungsfaktoren $\underline{w_i}(R_i)$ dargestellt. Diese bemessen die einzelnen Transporte von R_i in allen wirkenden Aktivierungsrichtungen. $\underline{J}_F(t)$ enthält zum einen nicht dem Bewusstsein unterliegende Komponenten der Systemregulation zum originären Systemerhalt (wie z. B. Thermoregulation) in Fließgleichgewichten[89]. Zum anderen birgt er Substrate von Änderungen externer Situationsverläufe. Gleichung (4.6) besitzt jedoch den Nachteil, dass die Quantifizierungsmöglichkeit, besonders der hypothetischen Transportgrößen, unbekannt ist. Da-

---

[88] Die lineare Theorie eignet sich an dieser Stelle zur prinzipiellen Darstellung des komplexen Zusammenhangs, in dem gleichzeitig verschiedene Kräfte wirksam werden. Diese Vereinfachung sollte akzeptiert werden, da im betrachteten, selbstreferenziellen System der Arbeitsbereich im autopoiesischen Regulationsbereich nahe von Fließgleichgewichten für die Bearbeitung adäquater Aufgabenstellungen die „*Normalität*" darstellt.

[89] „…Stationäre Nichtgleichgewichtszustände, die stabil gegenüber kleinen Schwankungen sind, heißen Fließgleichgewichte…" [171] – siehe hierzu Anmerkung A4.2

her soll sich im Weiteren dem Thema über einen Weg der Physik von Transportphänomenen genähert werden.

Die mathematische Beschreibung von örtlichen (spezifischen) Flüssen, die sich nicht nur aufgrund ihrer konjugierten Kräfte in Gleichgewichtsumgebungen einstellen, kann grundsätzlich durch Potenzreihen erfolgen [173]. Zur Verdeutlichung der vorliegenden Konstruktbildung sollen zunächst nur die linearen Terme als (vereinfachte) mathematische Näherung zum Ansatz gebracht werden:

Für die Mobilisierung bzw. den Transport der Interiorisationsgröße R_i unter der Wirkung von Aktivierungsgrößen der Ausrichtungen $\underline{r}$, soll in unmittelbarer Nähe von stationären Nichtgleichgewichtszuständen, der folgende quasilineare Zusammenhang[90] zwischen einer örtlichen Stromdichte bzw. dem Fluss $\underline{j}_{R_i}$ und der psychophysischen Affinität $\underline{X}_U$ bestehen:

$$\underline{j}_{R_i}(t) = \underline{\underline{L}}_{R_iU} \cdot \underline{X}_U(t) \tag{4.7}$$

Dabei wird die Koppelungsmatrix $\underline{\underline{L}}_{R_iU}$ eingeführt, die wiederum analog zu $\underline{w}_i(R_i)$ in Gleichung (4.6) die Wichtungsstruktur der beteiligten Transportgrößen R_i enthält [174]:

$$\underline{\underline{L}}_{R_iU} = \underline{\underline{L}}_{R_iU}(R_i(t)) \tag{4.8}$$

Die Elemente der Koppelungsmatrix $\underline{\underline{L}}_{R_iU}$ werden als normierte, phänomenologische Koeffizienten[91] bezeichnet. Mit ihrer Hilfe sind Relationen zwischen Flüssen und Antrieben des Wirkungsgefüges zu erfassen. Dabei sind wie im vorliegenden Mehrkomponenten-System auch Interferenzeffekte zu beachten, die als Koppelungsphänomene in die Beschreibung der Koeffizienten einzuarbeiten sind. Dieses Maß an Komplexität kann sich noch erhöhen, wenn Abhängigkeiten der Koeffizienten von Aktivierungsgrößen vorliegen. Unter diesen Voraussetzungen kann allerdings eine lineare Betrachtungsweise nicht weiter verwendet werden [176]. Damit ist der Anwendungsbereich einer linearen Theorie zur Beschreibung von irreversiblen Prozessen in biologischen bzw. lebenden Systemen stark eingeschränkt. Sie eignet sich dennoch gut dafür, um prinzipielle Konzepte in komplizierten Systemen darzustellen.

Für die spezifische Gesamtheit momentaner (örtlicher) Stromdichten $\underline{j}_F$ kann geschrieben werden:

$$\underline{j}_F(t) = \sum_i \underline{j}_{R_i}(t)\,; \qquad i = o, r, d, e, c \tag{4.9}$$

---

[90] in diesem Sinn stellt hierher übertragen nach [175] ein interner Fluss „…im Wesentlichen die Änderungsgeschwindigkeit der das Phänomen repräsentierenden Variablen dar, während $\underline{X}_U$ mit der Einhaltung der Nichtgleichgewichtseinschränkungen zu tun hat…“

[91] in Anlehnung zum linearen Charakter von *ONSAGER*- Koeffizienten (siehe [173])

Dabei bezeichnen die Indizes *i* die Attribute *orientieren/antizipieren, richten, entwerfen*, *entscheiden und kontrollieren* einzelner Elemente der beteiligten, mikroskopischen Verlaufstrukturen. Der allseitig gerichtete Gesamtfluss an Interiorisationsgrößen im Volumen *V* kann im weitesten Sinne in Analogie zur Thermodynamik als Strom *nutzbaren* Charakters, d. h. Fluss an umsetzbarer Ergebnis- orientierter *Arbeitsfähigkeit* bezeichnet werden. Somit ergibt sich fiktiv für den Interiorisationsstrom:

$$\underline{J}_F(t) = \int_V \underline{j}_F(t) dV \tag{4.10}$$

Er stellt die mikroskopische, für den intendierten Regulationseinsatz strukturierte, damit frei verfügbare und zielgerichtete Konsequenz dar, die sich aus einem vormals äußeren Strom an Systemeinträgen ergibt und im Menschen durch Ressourcen aufgewerteten wurde. Die Beschreibung seines Inhalts, seiner Struktur und seiner Form bleibt jedoch auch hier in der mikroskopischen Betrachtungsebene vornehmlich ein *Konstatierungs- bzw. Diagnoseproblem*.

Die Entstehung des Interiorisationsstroms ist in Analogie zur irreversiblen Thermodynamik aufgrund der beschriebenen Transportprozesse fest mit der Produktion einer Art von Entropie[92] verbunden, die hier u. a. als ein Maß der Irreversibilität von Systemzustandsänderungen verstanden werden kann (siehe Abschnitt 3.1). In Anlehnung an *WOLKENSTEIN* soll die zeitliche Änderung der inneren örtlichen „mentalen Systementropie“ (Produktionsgeschwindigkeit σ)[93] als positiv definierte Prozesskenngröße eingeführt werden [177]. Für die innere örtliche (volumenspezifische) Entropiezuwachsrate bzw. Entropieproduktionsdichte während der Interiorisation soll für Fließgleichgewichtsnähe gelten (siehe Anmerkung A4.3):

$$\frac{ds_{i(I)}}{dt}(t) = \sigma(t) = \underline{X}_U(t) \cdot \underline{j}_F(t) \overset{!}{\geq} 0 \tag{4.11}$$

Die globale, innere Entropieproduktionsrate durch Interiorisation $\vartheta_{(I)}$ kann durch Aufsummierung der beteiligten örtlichen Prozesskenngrößen eines Raumes definierter Ausdehnung (z. B. Organgröße, Areale, …) erfolgen. Damit kann geschrieben werden:

$$\vartheta_{(I)}(t) = \frac{dS_{i(I)}}{dt}(t) = \int_V \sigma(t) dV \tag{4.12}$$

Gleichung (4.12) reflektiert in erster Näherung damit die *mentale Systemanstrengung*[94] des lebenden, belasteten Organismus. Die Entropieart soll im Weiteren in Abgrenzung zum thermodynamisch belegten Begriff mit *Interiorisationsentropie* bezeichnet werden. Für die systeminnere Zunahme an Interiorisationsentropie (Produktion) während einer Interiorisationssequenz $\Delta t = \tau_{(I)}$ gilt:

---

[92] Ein von *RUDOLF CLAUSIUS* in den 1860er Jahren eingeführter Begriff für den *Verwandlungswert* von Wärme bei irreversiblen Zustandsänderungen in isolierten Systemen.

[93] Dabei wird $\sigma(t)$ als Dissipationsfunktion bezeichnet.

[94] im Sinne von: …in dem Bemühen des Einsatzes von Leistungsvoraussetzungen zur Zielerreichung

$$\Delta S_{i(I)} = \int_{0}^{\tau_{(I)}} \vartheta(t)dt \tag{4.13}$$

Mit der Forderung der Überführung eines, von zwei nahe benachbarten mikroskopischen Systemzuständen in den anderen folgt als Näherung für das (bioenergetische) Einsatzäquivalent bzw. für den Aufwand zum Vollzug der Interiorisationssequenz sowie mit $U_{vorher} > U_{nachher} > 0$, mit den aufsummierten Einzelbeträgen an den Kontrollraumübergängen $\sum_{k} \Delta\Im_{k} = \Delta\Im$ aus Abb. 3.2 und mit der Maßstabskonstante $k_{(I)}$ ist :

$$\Delta\Im := k_{(I)} \cdot \frac{\Delta S_{i(I)} \cdot U_{vorher} \cdot U_{nachher}}{U_{vorher} - U_{nachher}} \Big|_{\tau_{(I)}} \tag{4.14}$$

Mit Bezug zu Abbildung 4.6 spiegelt sich im Quotient aus „erfolgter Klärung“ zu „vormals zu Klärendes“ die Wirkung eingesetzter Leistungsvoraussetzungen innerhalb der Sequenz wieder. Als Vorschlag soll ein Interiorisationswirkungsgrad eingeführt werden, mit dem ggf. unterschiedliche Wertigkeiten von Investitionen[95] berücksichtigt werden könnten:

$$\eta_{(I)} := \frac{U_{vorher} - U_{nachher}}{U_{vorher}} \Big|_{\tau_{(I)}} \tag{4.15}$$

Als Maß für die Ausprägung mentaler Bemühungen steht somit das *Investitionsäquivalent*:

$$\Delta\Im_{F} := \frac{\Delta\Im}{\eta_{(I)}} \Big|_{\tau_{(I)}} \tag{4.16}$$

Daraus wird die aktuelle mentale Systemanstrengung definiert:

$$I_{F} := \frac{\Delta\Im_{F}}{\tau_{(I)}} \tag{4.17}$$

4.5 Zum inneren Entropiezuwachs des autopoiesischen Systems

Zunächst sollen Vereinbarungen bezüglich der Ausdehnungen unterschiedlicher Zeithorizonte getroffen werden: Die Zeitdauer des Systemlebens in der Phase des erwachsenen, menschlichen Organismus wird mit τ_{L} bezeichnet. τ_{Z} umfasst die Zeitdauer des Arbeits-Erholungs- Zyklus nach [124] mit den Elementen Systembeanspruchung und –Erholung. Die Prozesszeitdauer der Handlungsregulation τ ergibt sich additiv aus den Zeitsegmenten der Interiorisation $\tau_{(I)}$ und der Exteriorisation $\tau_{(E)}$.

[95] …bzgl. eingesetzter Handlungskompetenzen in Abhängigkeit von generierten Modulationsparametern (Kap. 5)

Es wird im weiteren Zuge der Argumentation davon ausgegangen, dass sich die Systembeaufschlagung im Wesentlichen aus zwei Entropiearten zusammensetzt. Das ist einerseits der zu Abschnitt 4.1.1 korrespondierende bioenergetische Anteil, welcher thermodynamisch belegt ist. Andererseits werden informatorische Aspekte der Systemregulation über die Interiorisationsentropie abgebildet. Auf die Relationen zwischen beiden Entropiearten wird zunächst nicht eingegangen. Hier besteht ein noch zu befriedigender Erkenntnisbedarf.

Für den weitesten Zeithorizont τ_L gilt, bei geringer Auflösung von Zyklen in der Entropieproduktion, für das übergeordnete Fließgleichgewicht *Leben* annähernd konstante Entropieproduktionsgeschwindigkeit [178]. Die Akkumulation von Beträgen innerer Entropie, derer sich der Organismus während seiner eigenen Selbstorganisation nicht entledigen konnte, steht für das Maß an *Systemalterung* – körperlich, wie auch geistig. Seinen absoluten, maximalen Betrag an produzierter (innerer) Entropie erlangt das System mit dem Erreichen seiner Lebensdauer – dem Tod.

Überträgt man in der vorliegenden Betrachtungsweise diese Charakteristik auf kürzere Zeithorizonte von Arbeits- Erholungs- Zyklen, so kann, hauptsächlich während der Systembelastungsphase des Individuums, die absolute Zunahme von Beträgen an (nicht entledigter) innerer Entropie als Beanspruchungsfolge empfunden werden – der *Arbeitsermüdung*. Dabei wird hier zunächst noch nicht zwischen psychischer und körperlicher Ermüdung unterschieden. Generell zieht Arbeitsermüdung eine *Erholungsbedürftigkeit* nach sich. Diese, der *Erholungsmöglichkeit* ins Verhältnis gesetzt, ergibt nach dem in [124] vorgestellten Konstrukt die Erholungsgüte. Daraus ergibt sich das Maß an Herstellung der psychophysischen Ausgangslage des Individuums für den nachfolgenden Zyklus. Aus der Erweiterung obiger Interpretation kann aus dieser Zyklusbilanzierung, auf den erfolgten Entropieexport in der Erholungsphase geschlossen werden.

Die in Abbildung 4.3 rot gepunktete Linie zeigt schematisch den hypothetisch zulässigen Verlauf eines inneren Entropiezuwachses über der Expositionszeit von Systemeinträgen infolge Arbeitsbelastung ohne zwischenzeitliche Regenerierungsmöglichkeit. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden hier keine chronobiologischen Schwankungen aufgeführt. Bei der dargestellten Entropieakkumulation soll davon ausgegangen werden, dass unterhalb des (roten) Kurvenzuges in der Regel ein adäquates Vermögen der Arbeitsperson zur inter- und externalen (Handlungs-) Regulation besteht. Deren Ausprägung ist allerdings von dem jeweiligen psychophysischen Ermüdungsgrad abhängig, der in der Regel eine entsprechende äußere Belastungsanpassung erforderlich macht. Die gemittelten maximal möglichen Raten $\overline{\vartheta}_{zul}(t)$ eines zyklischen inneren Entropiezuwachses spiegeln als höchstzulässige Prozessgrößen den konditionellen Zustand des Systems wieder. Zur Quantifizierung einer angemessenen Leistungsdisposition des Systems werden in Abbildung 4.4 die gemittelten Entropiezuwachsraten über das relative Niveau an innerer Systementropie aufgetragen. Entsprechend Abschnitt 2.5.2 kann $S_{i,rel}^{aktuell}$ als inneres „beanspruchungsspezifisches Systemalter“ bezeichnet werden [59]. Sie reflektiert damit den aktuellen Systemzustand unter Berücksichtigung von Beanspruchungsfolgen.

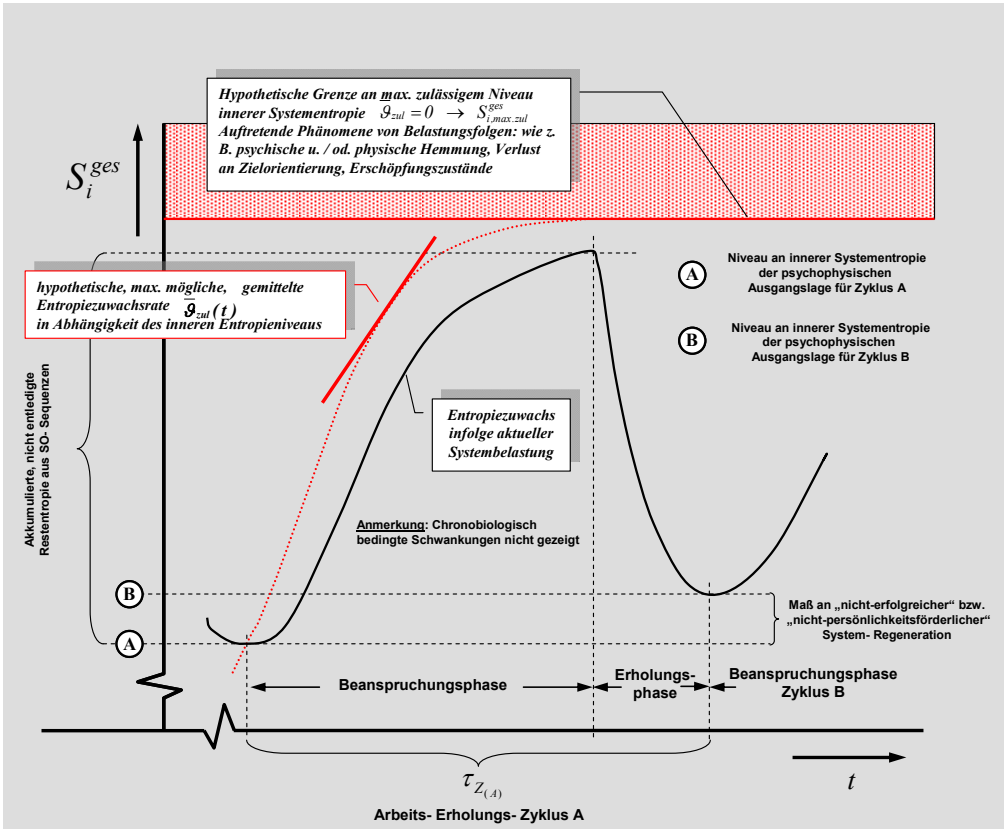


Abb. 4.3: **Darstellung des hypothetischen Zuwachses an innerer Systementropie im Arbeits- Erholungs- Zyklus**

Dabei handelt es sich um das momentan aktuelle innere Gesamtentropieniveau des Systems, das auf seinen, in diesem Beanspruchungs-Erholungs-Zyklus zulässig erreichbaren, Höchstwert bezogen ist. Letzterer charakterisiert sich makroskopisch hauptsächlich durch beobachtbare konstitutionelle psychophysische Grenzphänomene. Wie in Abbildung 4.3 dargestellt, impliziert: $\overline{\vartheta}_{zul} = 0 \overset{!}{\rightarrow} S^{ges}_{i,max.zul}$. Während der Beanspruchungsphase des Systems bewegt sich sein relatives Gesamtentropieniveau ungleichförmig in Richtung: $S^{ges}_{i,rel} = 1$.

Die aktuelle Leistungsdisposition des Systems soll durch seine (mikroskopische) Trägerkapazität T_K bezeichnet werden. Dabei handelt es sich um die vom System noch vorgehaltene Speichermöglichkeit zur Aufnahme und Pufferung innerer Gesamtentropie. In Abbildung 4.4 ist diese als orange Fläche dargestellt. Für die mikroskopische Trägerkapazität gilt:

$$T_K^{ges} = \int_{S^{akt}_{i,rel}}^{1} \overline{\vartheta}_{zul} \quad dS^{ges}_{i,rel} \tag{4.18}$$

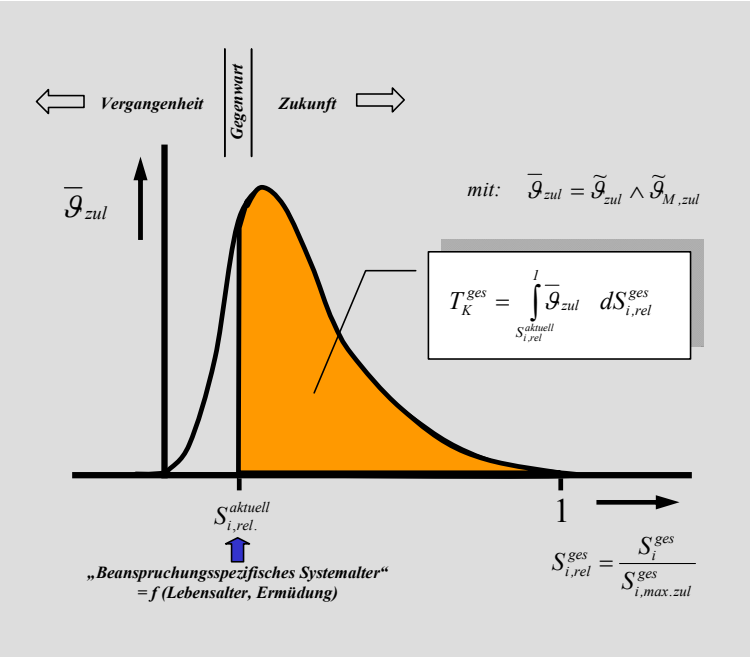


Abb. 4.4: **Mikroskopische Trägerkapazität des Systems T_K in Abhängigkeit des inneren, relativen Entropieniveaus**

Sie stellt den selbstreferenziellen Hauptparameter der Interiorisation dar, der als fiktive Größe andere Prozessgrößen reguliert bzw. begrenzt, um primär die eigenen dynamischen Existenzen des Systems als Gesamtheit vorweg abzusichern. Der Vollständigkeit halber sei bemerkt, dass das Konstrukt *mikroskopische Trägerkapazität* als gedankliche Hilfskonstruktionen für die Nutzung menschlicher Verarbeitungsressourcen, wie z. B. von *WICKENS* präsentiert [179], fungieren könnte. Eine phänomenologisch ausgerichtete Interpretation des Begriffs ist Anmerkung A5.3 zu entnehmen.

Entsprechend der in den vorangegangenen Abschnitten aufgeführten Belastungs- Beanspruchungskonzeption stehen nun die Interiorisation und die Exteriorisation als gemeinsame Komponenten von Selbstorganisationssequenzen im Mittelpunkt der folgenden Betrachtungen, die sich zunächst nur auf die Verarbeitung von Einträgen mitteilenden Charakters beziehen. Entsprechend Gleichung (4.18) folgt für den Anteil an Interiorisationsentropie des mentalen Regulationsprozesses die Trägerkapazität zu:

$$T_K = \int_{S_{i,rel}^{aktuell}}^{1} \widetilde{\vartheta}_{zul} \; dS_{i,rel} \qquad (4.18a)$$

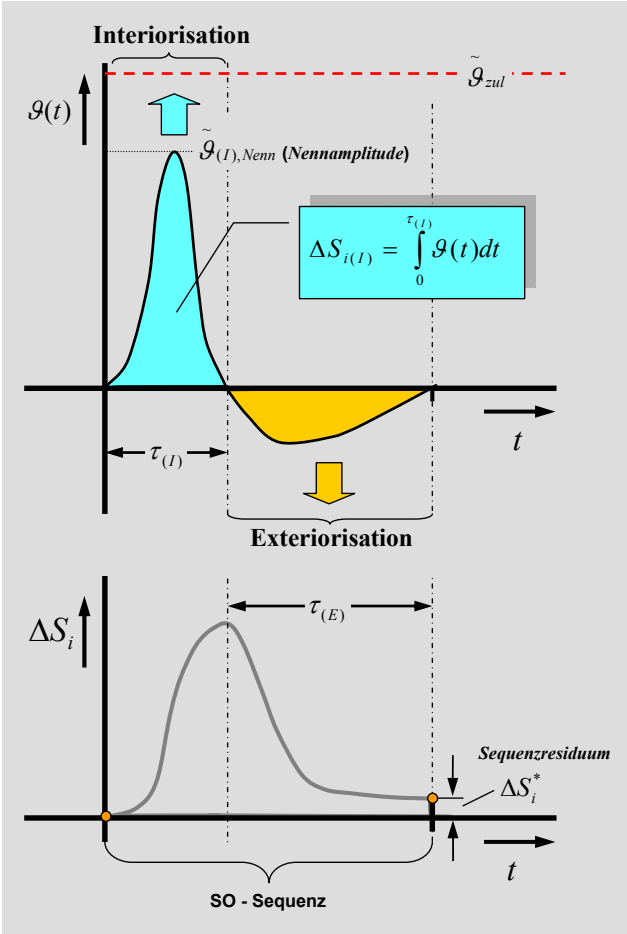


Abb. 4.5: **Entropieproduktionsgeschwindigkeit als Fluktuation im äußeren Zeitverlauf einer Selbstorganisations-Sequenz**

Die Zunahme an innerer Systementropie durch Interiorisation (benannt als örtliche bzw. globale *Interiorisationsentropie*) ist der Preis zum Überwinden eines unbestimmten Systemstatus des *Seins* in den Bestimmten des *Werdens* bzw. die Reduktion des Potentials an Ungeklärtem. Wie in Abbildung 4.5 dargestellt ergibt sich ihre Menge aus der Fluktuationsform auftretender Entropieproduktionsgeschwindigkeiten, welche damit selbst, die jeweilige Interiorisationssequenz prägen. Die Anzahl und raumzeitliche Ausdehnung von Fluktuationen zur Aufgabenbewältigung (in Anlehnung an *JANTSCH* als *Fluktuationslängen* bezeichnet) soll als wachsend zum Schwierigkeits- und Komplexitätsgrad (u. a. Menge an Merkmalsausprägungen) der Situation gesehen werden. Der schematisch dargestellte Entropieproduktionsgeschwindigkeitsverlauf während einer SO- Sequenz in einer beliebigen mikroskopischen Betriebsform unterteilt sich in die Phase der Interiorisation (Index I) mit positiven Produktionsgeschwindigkeiten und die der Exteriorisation (Index E). Letztere ruft negative Produktionsgeschwindigkeiten durch die Entledigung von innerer Gesamtentropie

während der Exteriorisation hervor. Die größte positive Schwankungsausdehnung[96] in einem Interiorisationssegment wird als Nennamplitude $\tilde{\vartheta}_{(I),Nenn}$ bezeichnet.

Dabei gilt für stationäre Fließzustände: $\tilde{\vartheta}_{(I),Nenn} \leq \tilde{\vartheta}_{zul}$ mit: $\tilde{\vartheta}_{zul} = f(T_K, Betriebsregime)$.

Die produzierte Interiorisationsentropie einer aktuellen SO- Sequenz (in Abbildung 4.5 *blau* dargestellt) ergibt sich aus Gleichung 4.13.

Der Inhalt von Abläufen mit informatorischem Charakter während einer Interiorisationssequenz wird, entsprechend ausgewählter und aufbereiteter wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Beschreibung des SO- Paradigmas, in Abbildung 4.6 abstrahiert dargestellt. Dabei unterteilt sich eine Interiorisationssequenz in zwei Hauptstufen:

1. Generierung von pragmatischer Information durch Abgleich mit Elementen des individuellen operationellen Abbildungssystems (Komparatorfunktion). Dabei handelt es sich, ausgehend von der *Protyposis*-Konzeption, um die Wandlung der vom Arbeitsplatzinhaber detektierten Teilmengen an Quanteninformation von *Realem* in individualspezifisch interpretierte und damit Bedeutung und Zweck tragende Mitteilungen. Sie stellen ein durch die Arbeitsperson decodierten Sachverhalt dar. Das Resultat nach Durchlaufen der 1. Stufe wird als generierte aktuelle Information (siehe Abschnitt 4.1.2) bezeichnet.
2. In der 2. Stufe erfolgt der Bewältigungsprozess der in der 1. Stufe generierten aktuellen (pragmatischen) Information zu Aktivitätsmustern – d. h. die Wandlung der Merkmalsausprägungen von Erstmaligkeit in Bestätigung. Das Resultat der Interiorisation ist Erkenntnis[97] im Sinne eines mentalen Abbaus von Ungeklärtem. Entsprechend der *Synergetik* bilden sich hierbei Ordnungsparameter aus, die zu kohärenten Prozessstrukturen führen.

Da die vorwiegend neuronalen Aktivitäten nicht aufwandsneutral stattfinden, produziert das System in seinem Inneren Interiorisationsentropie. In der ersten Interiorisationsstufe steht sie vornehmlich als Preis für die Reduktion an interner Systemunbestimmtheit durch „Einschränkungen von Freiheitsgraden“. Quantentheoretisch soll sie die Investition für Fragestellungen verkörpern, mit denen es gelingt, aus der Fülle von Möglichkeiten der Vergangenheit eine Antwort über die Realität von Objekten auszuwählen. In der zweiten Strukturierungsstufe bemisst sie Investitionen zur Senkung des Potentials an Ungeklärtem. Letzteres bedeutet aus der inneren (mikroskopischen) Systemperspektive, dass am Interiorisationsende einer SO- Sequenz zurückblickend ein „Abbau“ von aktueller, d. h. pragmatischer Information stattgefunden hat, der letztendlich zum Aufbau von mikroskopischen Aktivitätsmustern führte. Generierte Aktivitätsmuster manifestieren wiederum intendierte Systemreaktionen als geistige Wesenstrukturen mit entsprechend ausgerichteten Inhalten. Damit kann hier also auch von Änderungen innerer Merkmalsausprägungen der Struktur des Subsystems Mensch

[96] Es wäre vorstellbar, sich einer Quantifizierung von Fluktuationsextremalpunkten mit Hilfe der Variationsrechnung zu nähern. Dabei könnten als globale Bedingungen u. U. Prinzipien von minimaler bzw. maximaler Entropieproduktion und / oder minimalen Residuen gelten.

[97] Erkenntnis als begründetes Wissen über einen Sachverhalt – sowohl diskursiv als auch intuitiv generiert.

gesprochen werden, welche einen veränderten (für die angestrebte Zielsetzung wertvolleren) inneren Systemzustand anzeigen. Letzterer zeigt sich in Analogie zu [181] nach außen durch *veränderte Attribute des Systems* – seiner neuen Informiertheit. Damit ist eine Erfassung und Interpretation eines veränderten Systemzustandes, hier bezeichnet als seine *dynamische Existenz*, auch mit der Transition der innersystemischen mikroskopischen Betrachtungsebene zur makroskopischen Perspektive des extern Observierenden verknüpft. Der Transfer[98] von *aktueller Information* zu *gesetzter Information* als *beschreibende Mitteilung über den Systemstatus* (siehe auch Abschnitt 3.2) in der Mesoebene ist also mit der Wandlung der Komponente *Erstmaligkeit* in *Bestätigung* in der 2. Interiorisationsstufe verbundenen.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass sich am Ende der Interiorisation das System selbst hinsichtlich seiner beabsichtigten (makroskopischen) Handlungsstruktur determiniert. Die vormals, den Eintrag konstituierende, potentielle Information wurde in einem Generierungsprozess zu Bedeutungs- und Zweck tragender, aktueller Information. Während des Laufs durch die 2. Interiorisationsstufe wurde diese neben der Konsequenzarmierung in eine Mitteilung zur Formgebung des jeweiligen Systemzustands transferiert und charakterisiert damit als ein wesentlicher Aspekt die momentane *dynamische Systemexistenz*. Das Resultat spiegelt in der Mesoebene ebenso die *Aktiviertheit* des Systems wieder.

Mit der Zeitdauer der Interiorisationssequenz $\tau_{(I)}$, die mit Hilfe des *MERKEL- HICKschen* Gesetzes (ohne Ansatz der Bewegungszeit) [27b] abgeschätzt werden kann, und der gemäß Abbildung 4.6 wirkenden Entropieproduktionsgeschwindigkeit (hier als geglättete, lokal lineare Funktion) folgt aus Gleichung (4.13) vereinfacht:

$$\Delta S_{i(I)} = \left(\frac{dS_{i(I)}}{dt} \right)^{linear} \cdot \tau_{(I)} \tag{4.19}$$

Die Menge an innerer Interiorisationsentropie, die während der Zeitdauer $\tau_{(E)}$ über den Prozess der Exteriorisation aus dem System heraus an seine Umgebung „weitergereicht" wird, ist in Abbildung 4.5 in der Farbe *Ocker* gekennzeichnet. Im Vorgriff auf Abschnitt 4.7 kann für diese Phase der inneren Schwankung von Interiorisationsentropie geschrieben werden:

$$\Delta S_{i(E)} = \int_{t=\tau_{(I)}}^{[\tau_{(I)}+\tau_{(E)}]} \vartheta(t)dt \quad \leq \quad 0 \tag{4.20}$$

Aus der Bilanzierung der drei Prozessanteile, jeweils am Ende einer SO-Sequenz, ergibt sich das im Systeminneren verbleibende Sequenzresiduum[99] ΔS_i^* der aktuellen Informationsverarbeitung zu:

$$\Delta S_i^* = \Delta S_e + \Delta S_{i(I)} - \Delta S_{i(E)} \tag{4.21}$$

---

[98] In der von *GÖRNITZ* aufgestellten quantentheoretischen Betrachtungsweise kann an dieser Stelle vom Prozess *zur Schaffung eines Faktums* bzw. - zur Einschränkung von der Fülle intendierter Reaktions- bzw. Konsequenzalternativen gesprochen werden.

[99] Dabei sind sowohl positive als auch negative Residienwerte zugelassen.

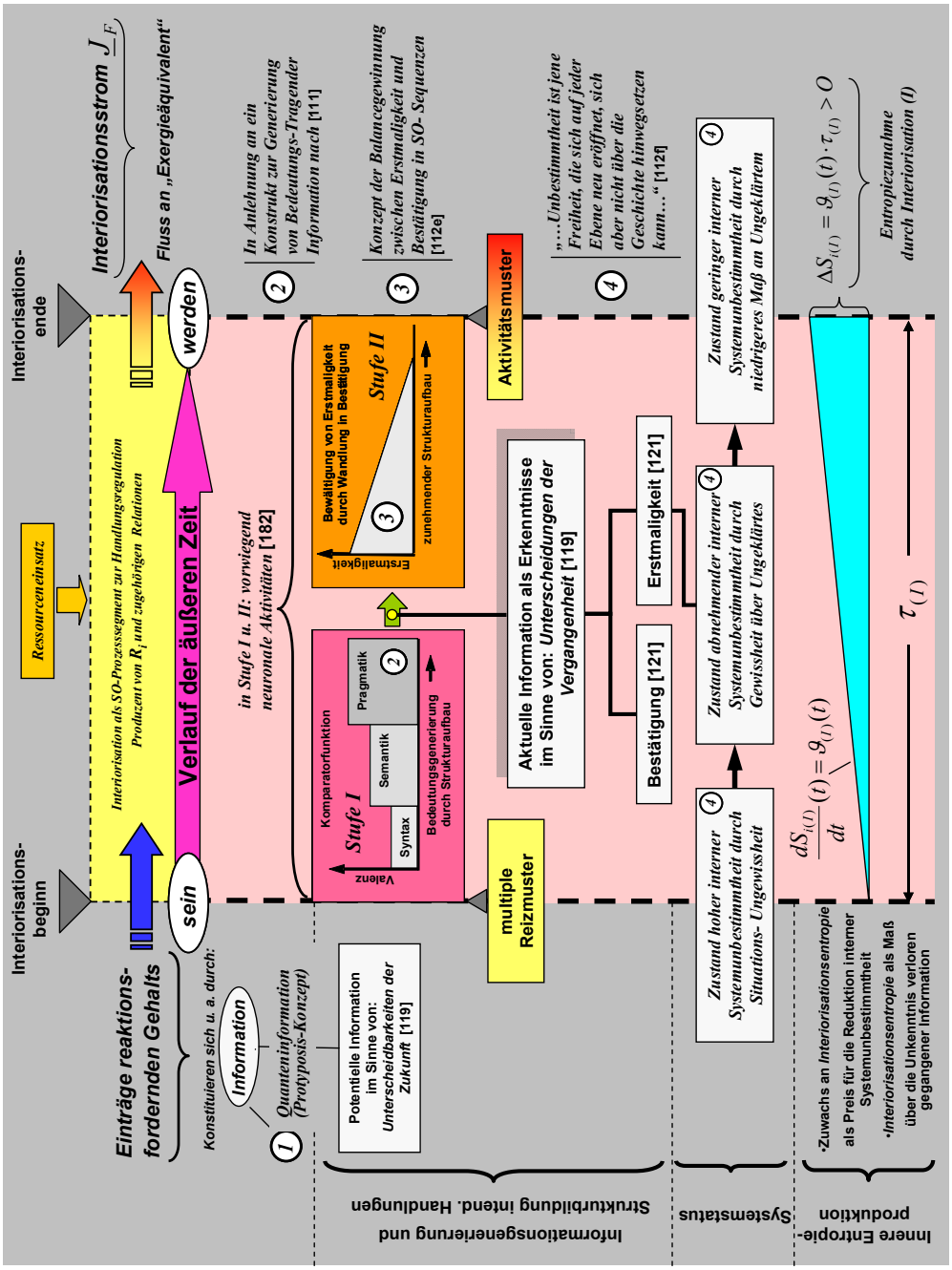
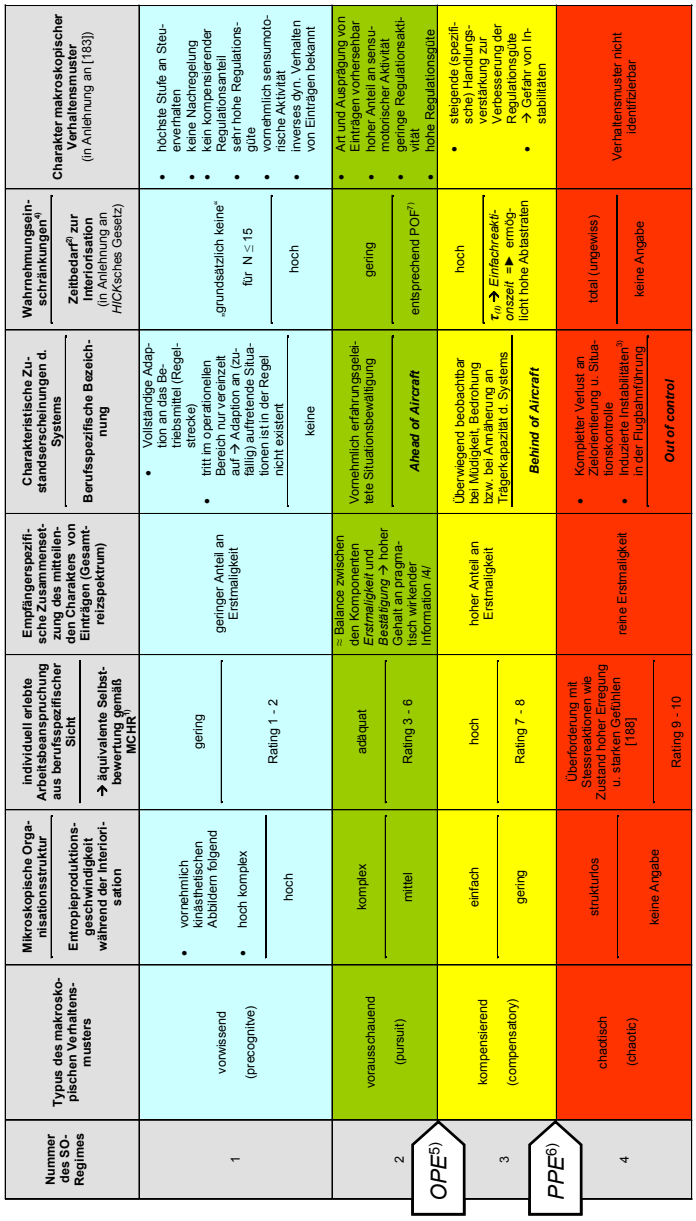


Abb. 4.6: **Innere Systemdeterminierung: Zuwachs an Interiorisationsentropie infolge mentaler Aktivität zum mikroskopischen Strukturaufbau während einer Interiorisationssequenz**



1) Eine modifizierte, der Cooper Haper Rating Scale [184] nachempfundene Bewertungsscala [185]
2) $\tau_{(l)}$ Zeitdauer zwischen dem Beginn der Detektion von Reizen und dem Einsetzen makrosk. Reaktion [186]
3) PIO bzw. APC [187]
4) ausgedrückt in der Anzahl an Reizalternativen N
5) *OPE* : Operational Pilot Enveloppe
6) *PPE*: Permissible Pilot Enveloppe
7) Flugbetriebsphasen

Tab. 4.1: **Aufstellung prägnanter Selbstorganisationsregime des Subsystems *Arbeitsperson***

Wie in Abbildung 4.7 dargestellt, werden die diskret auftretenden Residuen über der äußeren Zeit aufgetragen. Der Ausgleichsgraph durch diese Punkteschar (z. B. über Regressionsverfahren) mit der Steigung dS_i^* / dt repräsentiert die Kennlinie einer charakteristischen mikroskopischen Betriebsform des Subsystems. Die Organisationsstruktur dieses Betriebsregime ist wiederum an Instanzen gebunden mit ihren zur Wirkung kommenden Ordnungsparametern. Seine Wesensart unterliegt dem jeweiligen Regulationsstil zur Aufgabenerfüllung. Es wird deutlich, dass das mentale Regulationsvermögen zur Bewältigung von Arbeitsanforderungen in komplementärer Weise (sowohl in seiner Ausprägung, als auch Modalität) an den Verlauf von $\vartheta(t)$ gekoppelt ist. Die Bilanzierung des Eintrags, der Produktion und der Abfuhr von Interiorisationsentropie beeinflusst ihren Akkumulationsverlauf im Systeminneren. Das daraus resultierende Niveau an Interiorisationsentropie bestimmt direkt die mentale Systemträgerkapazität T_K und damit $\tilde{\vartheta}_{zul}$.

Eine noch unbestimmte Schar an Kennlinien (siehe Abbildung 4.7) charakterisiert die Vielzahl stationärer mikroskopischer Betriebsformen und damit (in deren Gesamtheit) den akzeptablen autopoiesischen Regulationsbereich des Systems. Aufgrund der Mannigfaltigkeit dieser Reaktionsweisen induzierenden Schemata ist es sinnvoll, zur Eingrenzung von Aussagen über das Systemleistungsvermögen, prägnante berufsspezifische Verhaltensabläufe zu betrachten. Dazu werden Ergebnisse aus anthropotechnischen Untersuchungen zur Auslegung von Flugzeugsteuerungen (Anpassung Betriebsmittel / Mensch) herangezogen und mit tätigkeits- bzw. situationsorientierten Erfahrungen von Piloten kombiniert[100]. Wie in Abschnitt 5.2.6 eingehender beschrieben, konnte an dem Verhalten von Piloten studiert werden, dass Sie ihre Bewältigungsstile für manuell zu steuernde Flugbahn- Aufgaben mit steigenden Genauigkeitsanforderungen bzw. potentieller Systembedrohung wechseln. Dabei wird augenscheinlich für die Bewältigung von gestellten Aufgaben im Zuge der Annäherung an individuelle Leistungsgrenzen des menschlichen Individuums ein Formwechsel von vorwissendem Verhalten (*precognitive*) über vorausschauende (*pursuit*) bis zu kompensierenden Handlungsweisen (*compensatory*) makroskopisch beobachtbar. Dies ist jedoch u. a. jeweils mit einer schrittweisen Herabsetzung des Auflösungsvermögens von Einträgen bzw. Fokussierungseffekten verbunden. Diese Änderungen in Richtung kompensierender Handlungsstrategien weisen somit eine allseitig äußere Nutzungseinschränkung des Systems auf und tragen aus operationeller Sicht bezüglich der sicheren Flugdurchführung einen warnenden Charakter. Änderungen des Beanspruchungsverhaltens weisen jeweils auf makroskopische Betriebsbegrenzungen des Subsystems Mensch hin (siehe dazu auch Abbildung 5.8). In Tabelle 4.1 werden sie als *OPE* (Operational Pilot Envelope) und *PPE* (Permissible Pilot Envelope) bezeichnet. Dabei handelt es sich aus mikroskopischer Sicht jeweils um Durchgänge von Instabilitätsbereichen zum Wechsel von prägnanten SO- Regimes. Die von *OPE* und *PPE* eingeschlossenen operationellen Zonen sollen zum akzeptablen autopoiesischen Betriebsbereich des Subsystems gezählt werden (siehe Anmerkung A4.4).

[100] Dabei sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Besonderheit der vorliegenden Leistungsbetrachtungen in dem komplementären Charakter von Vollzug und Ergebnis von Cockpitarbeit besteht.

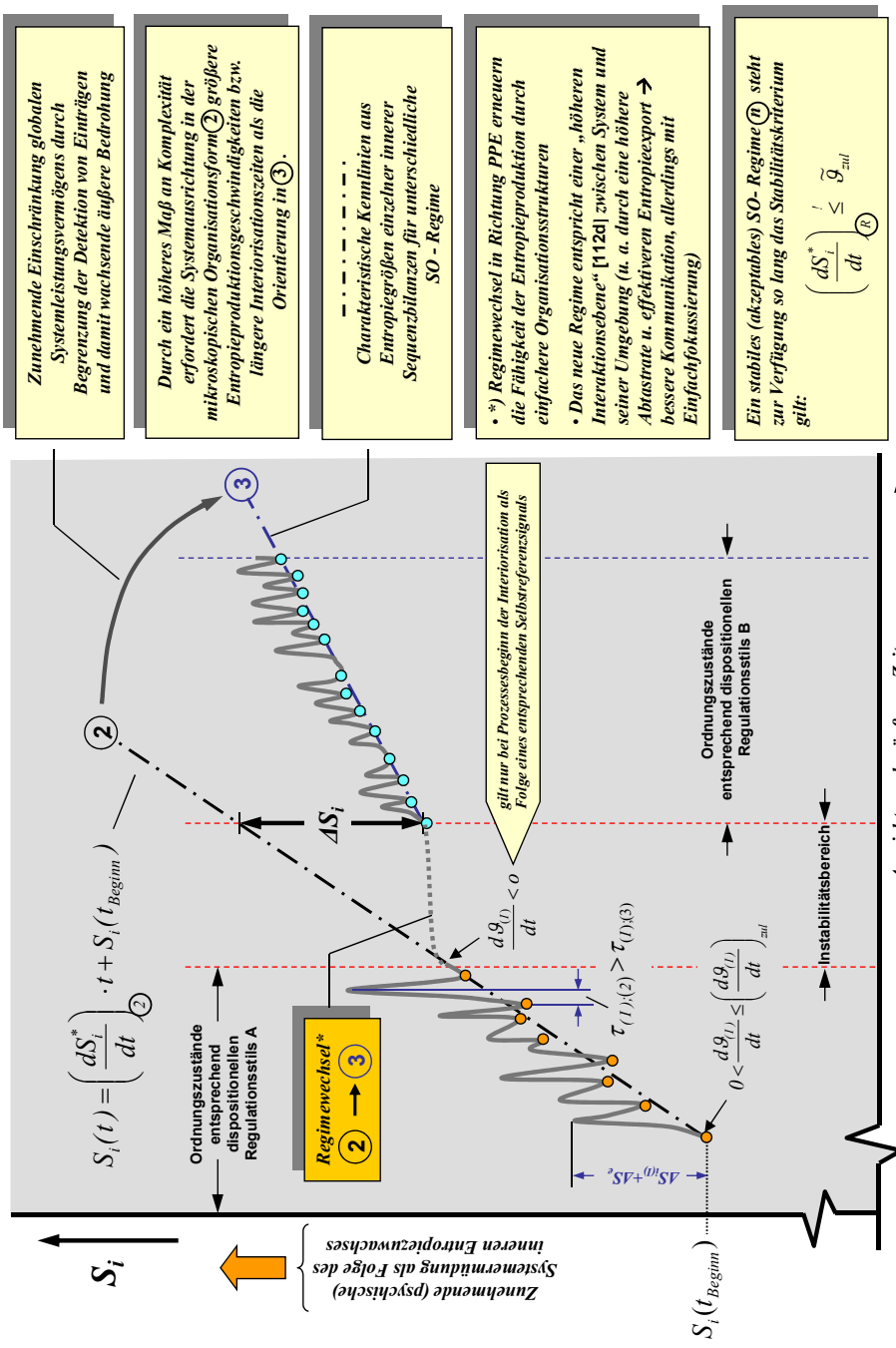


Abb. 4.7: **Zuwachs an innerer Systementropie durch Interiorisation von Einträgen mitteilenden Charakters**

Eine Bewältigung von Arbeitsaufgaben über die Schaffung mikroskopischer Ordnungsstrukturen durch Prozessfluktuationen ist exemplarisch in Abbildung 4.7 gezeigt.

Dabei wurden Entropieschwankungen als Folge von Fluktuationen der Entropieproduktionsraten zweier mikroskopischer Operationsformen stark überhöht über der äußeren Zeit aufgetragen. Beschreibende Aussagen zum Aufbau der Darstellung sind dem Bemerkungsblock der Abbildung 4.7 zu entnehmen. Stabile Variationen von Prozessgrößen (hier: $\vartheta_{(I)}(t)$) in ihren sich selbst determinierenden Regimes bedürfen in Anlehnung an [173] jeweils positiver Startgradienten der Produktionsraten von Interiorisationsentropie $\frac{d\vartheta_{(I)}}{dt} > 0$.

Das Auftreten von Fluktuationen verursacht selbst jeweils mikroskopische Rückstellkräfte aus der inneren Systemelastizität heraus als „dämpfendes" Element. Dadurch werden die Nennamplituden in der Regel begrenzt (mikroskopische Stabilität), - allerdings nur solang gilt:

$$\frac{d\vartheta_{(I)}}{dt} \leq \left(\frac{d\vartheta_{(I)}}{dt}\right)_{zul} \tag{4.22}$$

Dabei stellt $\left(\frac{d\vartheta_{(I)}}{dt}\right)_{zul}$ ein in der Vorwegnahme regulierendes „vigilantes" Derivat der Trägerkapazität dar, das über eine Überschreitung von $\tilde{\vartheta}_{zul}\Big|_{(n)}$ wacht. Sollte die Beschaffenheit von Einträgen dennoch in der momentan wirkenden mikroskopischen Operationsform eine Interiorisationssequenz von höherer Intensität erforderlich machen, so dass über diese psychische Komponente ein Kollisionsrisiko mit der Trägerkapazität besteht, wird in der Folge des entsprechenden motiv-orientierten Höchstwertdurchlasses[101] ein negativer Entropieproduktionsgeschwindigkeitsgradient generiert, der einen Formwechsel bewirkt[102]. Das entsprechend dazu in [173] aufgeführte (universelle) und für das hier vorliegende Konstrukt abgeleitete Evolutionskriterium soll für örtliche Bedingungen lauten:

$$\frac{d_{\underline{X}_U}\sigma}{dt}(t) \; < \; 0 \tag{4.23}$$

bzw. für globale Systembetrachtungen soll gelten:

$$\frac{d\vartheta_{(I)}}{dt}(t) \; < \; 0 \tag{4.24}$$

Zum Erhalt der Selbstorganisationsfähigkeit (als vorrangige Garantie für den momentanen Lebenserhalt des Gesamtgefüges), wählt das Subsystem eine erfahrungsgeleitete, regulati-

[101] Das Prinzip des Höchstwertdurchlasses besagt hinsichtlich verselbständigter Zielauswahl, „…dass die Motivation mit dem höchsten inneren plus äußeren Antrieb sich durchsetzt…" [189]

[102] Der Ablaufweise dieses „internalen Regulationsmechanismus" ist von hypothetischem Charakter. Sie liegt z. Zt. jenseits des wissenschaftlichen Erkenntnishorizonts.

ve Ausweichstrategie: Es wechselt zu einer Kennlinie, die einem entsprechenden Regulationsstil entspricht (wenn das Inventar nicht ausgeschöpft ist) mit geringeren immanenten inneren Entropiezuwachsraten dS_i^* / dt. Dieser Wechsel an sich ergibt zunächst über der äußeren Zeit eine Ersparnis an innerem Entropiezuwachs ΔS_i. Wie oben beschrieben, bedarf der Übergang der Operationsformen allerdings wiederum eines *Selbstreferenzsignals makroskopischen Charakters* an die Interiorisation hinsichtlich der Güte des Exteriorisationsprozesses (z. B. Phasenlage der Pulsierung, Intensität und Form des Regulationsflusses und damit des Entropieexports) als Ausdruck der vorhandenen Systemelastizität bzw. Kommunikationsfähigkeit des Systems mit seiner Umgebung. Der makroskopisch determinierte Entropieexport bestimmt somit u. a. die Dämpfungscharakteristik mikroskopischer Fluktuationen und hat damit einen entscheidenden Einfluss auf Stabilitätszustände des Gesamtsystems. Demnach sind die unter der Metapher *Selbstreferenz* benannten Prozesse von inneren zirkularen Signalkoppelungen hinsichtlich der Mitteilungen über den eigenen Systemstatus sowohl mikroskopischen als auch makroskopischen Ursprungs.

Es kann davon ausgegangen werden, dass beobachtbare Regimewechsel des Systems i. d. R. Folgen von Überschreitungen mikroskopischer Schwellwerte sind (hier: $\left(\frac{d\vartheta_{(I)}}{dt}\right)_{zul}$).

Sie bewirken, dass das re-kreative System in der Abfolge seiner Aktivitätsentwicklungen in andere Betriebsregime ausweicht, die sich dann in Analogie zu [112d] wiederum makroskopisch als …*qualitative Änderung in der dynamischen Existenz des Systems*... zeigen. Dies kann u. U. bis zum Verlust von Aktivitätsorientierungen führen vgl. [29]. Prägnante Merkmale von Organisationsstrukturen können exemplarisch Tabelle 4.1 entnommen werden. Zur *Religio-Fähigkeit* siehe Anmerkung A4.5.

Eine Aufbereitung der Vielfalt individueller Strategieinventare zur Auswahl und Nutzung mikroskopischer Betriebsformen würde, wenn über einen Ansatz hinaus möglich, den Bezugsrahmen des vorliegenden Beitrags bei Weitem überschreiten. Es soll allerdings die Zirkelhaftigkeit einiger charakteristischer Prozessvariablen aufgelistet werden, die unterschiedliche Stile zur Bewältigung von berufsspezifischen Arbeitsaufgaben prägen. Die Diskussion ist in Verbindung mit den aufgeführten Aspekten in Tabelle 3.1 und in Tabelle 3.3 zu interpretieren:

Hier ist besonders die Interiorisationszeit $\tau_{(I)}$ zu nennen. Als Zeitintervall zwischen zwei Situationsabtastzeitpunkten beeinflusst sie direkt die Abtastrate des diskreten Wahrnehmungsprozesses. Darunter ist die Häufigkeit pro Zeiteinheit zu verstehen, mit der das System fähig ist Reizmustervariablen zu erfassen. Zur Bearbeitung der Mitteilungsdynamiken von Situationen wird hier davon ausgegangen, dass es zu ihrer fehlerfreien Wahrnehmung bzw. Interpretation bestimmter Mindestabtastraten bedarf. Zum Erhalt eines quantitativen Anhaltswertes könnte dazu das Abtasttheorem von *NYQUIST* und *SHANNON* aus der Nachrichtentechnik bzw. der Informationstheorie herangezogen werden, aufgeführt in [190]. Die Zeitdauer der Interiorisation $\tau_{(I)}$ muss in Abhängigkeit der Komplexität des Ordnungsstrukturaufbaus gesehen werden, der sich wiederum aus der Menge von Merkmalsausprägungen von Systemeinträgen bedingt (*MERKEL-HICK*sches Gesetz).

Der Prozess der Interiorisation generiert schwankende Entropieproduktionsgeschwindigkeiten, deren Nennamplituden aus Gründen einer begrenzten Trägerkapazität kleiner / gleich $\tilde{\vartheta}_{zul}$ sein müssen. Die Situationsbewältigung erfordert einen Aufwand, der sich in produzierter Entropie widerspiegelt: Der Entropiezuwachs erfolgt in der Regel durch eine Erstmaligkeits-proportionale Anpassung von $\vartheta_{(I)}$ bei konstantem $\tau_{(I)}$ oder durch eine entsprechende Abstimmung von $\tau_{(I)}$ bei konst. $\vartheta_{(I)}$ und / oder eine Kombination aus beiden. So kann z. B. exemplarisch eine Strategie darin bestehen, dass das System zunächst die Nennamplitude der Fluktuationen erhöht, bis gilt: $\tilde{\vartheta}_{(I),Nenn} = \tilde{\vartheta}_{zul}$. Sollte diese Maßnahme nicht ausreichen, könnte $\tau_{(I)}$ erhöht werden bis zu einer, in der Situation erforderlichen (unteren) Abtastratenbegrenzung, deren Unterschreitung die potentielle Gefahr einer Wahrnehmungsverzerrung birgt. Einen Ausweg aus dieser inneren Zwangssituation des Systems kann ein geeigneter Operationsformwechsel bringen: durch eine Detektionsreduktion von Einträgen, die die Komplexität von Reizmustern derart herab setzt, dass die daraus resultierende (eingeschränkte) Situationsbewältigung geringere Nennamplituden und ggf. geringere Interiorisationszeiten erforderlich macht. Dadurch kann das System wiederum höhere Abtastraten realisieren. Als einen weiteren Effekt erbringt die Einschränkung bzw. „Vereinfachung“ von Reizmustern im kausalen Zusammenhang auch Aktivitätsmuster geringerer Komplexität. Makroskopisch wird damit wiederum ein effizienterer Entropieexport ermöglicht. Durch den vollzogenen Operationsformwechsel wird das Interaktionsvermögen bzw. die Kommunikation des Systems mit seiner Umgebung (ausschnittsweise) verbessert. Die Regulation der Situationsteilmenge kann mit weniger Aufwand und ggf. mit höherer Güte erfolgen. Allerdings setzt dieser Prozess eine punktgenaue Selektion von Absichtskriterien wie Wichtigkeit und Dringlichkeit voraus, welche stets die Hoffnung enthält, dass andere unbearbeitete Teilpotentiale an Ungeklärtem der Situation das System nicht bedrohen.

Im Vorgriff auf ein potentielles Gestaltungskonzept für eine bessere Anpassung von Arbeitsanforderungen an Cockpitpersonal sind Aussagen über das Leistungsvermögen des Systems und damit die Kenntnis über die Lage von *OPE* und *PPE* von elementarer Bedeutung. Zu ihrer Identifizierung bzw. Ortung bedarf es Diagnosealgorithmen. Das Erkennen von mikroskopischen Prozessinstabilitätsbereichen und / oder dynamischen Ordnungsmustern ihrer umgebenen Aktivitätszonen sollte später auch möglich sein, ohne auf konkrete makroskopische Ergebnismerkmale von Handlungenabläufen eingehen zu müssen.

In der flugbetrieblichen Praxis können das Überschreiten von individuellen *PPE* besonders prägnant bei Unfällen mit Totalverlusten an Menschen und Sachen klar hervortreten: Exemplarisch dafür sind hier besonders der Hergang folgender Flugunfälle [191] zu nennen:

- ALW 301 / 06 Feb 1996, B 757-225; TC-GEN, Dep. POP
- Korean Air 8509 / 22 Dec 1999; B 747-2B5F; HL7451; Dep. STN / EGSS

Beide Vorkommnisse haben gemein, dass „geringe“ Systemfehler des Betriebsmittels die Regulations- fordernden Situationseinträge der jeweiligen Besatzungen durch Widersprüchlichkeiten so stark erhöhten, dass ihr augenblickliches Regulationsvermögen nicht ausreichte die Gefahr zu bannen. Der Anteil an Erstmaligkeit und dessen Akkumulation war so hoch, dass eine adäquate vollständige Interiorisation nicht stattfand. Das Beanspruchungsverhalten divergierte jeweils in das chaotische Betriebsregime des Subsystems Mensch.

4.6 Zur Gesamtheit der systeminneren Entropieproduktion

Die Gesamtheit der inneren Entropieproduktion des betrachteten Subsystems resultiert aus den Zustandsänderungen, die durch die Prozessanteile Interiorisation und der Exteriorisation hervorgerufen werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Komponenten grundsätzlich nur schwer zu vergleichende Entropiearten mit unterschiedlichen Wertigkeiten darstellen. Dazu hat *WOLKENSTEIN* [177a] schon die Vergleichbarkeit von thermodynamisch belegtem Entropiebegriff mit den beschriebenen Entropiegrößen, die über Auftrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen nach den statistischen Informationstheorien von *SHANNON* [192] beschrieben sind, diskutiert und einer kritischen Würdigung unterzogen. Wie vorab in der Kapiteleinleitung gerechtfertigt wurde auch hier zunächst eine Trennung von (situationsspezifischer) *Interiorisationsentropie* $S_{i(I)}$ bzw. S_e mit informatorischem Charakter und der vornehmlich metabolisch ausgerichteten *bioenergetischen Entropie* $S_{iM(E)}$ bzw. $S_{iM(I)}$ vollzogen. Trotz ihres vergleichbaren Charakters bleiben die Wertigkeitsunterschiede beider Entropiearten Gegenstand zukünftiger wissenschaftlicher Untersuchungen. Während die Interiorisationsentropie als aktiv in das Regulationsvermögen eingreifende Prozessgröße die Irreversibilität bei der Generierung von Aktivitätsmustern zur intendierten Handlungsregulation verkörpert, steht der Anteil an bioenergetische Entropie weiterhin für das Maß der bei Wandlungsprozessen stattfindenden „Entwertung“ energetischer Größen. Letztere Entropieart entsteht hauptsächlich durch Investitionen in vorwiegend bioenergetischen Trägern zur Stoffwechselregulation für den Erhalt von Körperfunktionen des Menschen (Grundumsatz). Als Beispiel seien hier u. a. Aspekte zur Thermoregulation und / oder zur Bereitstellung von kinetischen Leistungsgrößen zur Entwicklung von Körperaktionen unter z. T. mechanischen Lasten (Arbeitsumsatz) genannt. Beide Entropiearten werden für sich theoretisch quantifizierbar durch einen lokalen Bezug der Änderungen ihrer jeweils originären Prozessvariablen auf das ihrer Art entsprechende Bezugspotential. An dieser Stelle mag auf physikalische Äquivalenzbetrachtungen hingewiesen werden. Obwohl für die tägliche Erfahrung zunächst irrelevant erscheinend, beziffert *GÖRNITZ* den prinzipiellen Unterschied physikalischer Größenordnungen von Quanteninformation zu Energie mit ca. $1 \cdot 10^{15}$ [168]! Wegen dieses beträchtlichen Verhältnisses wird im vorliegenden Belastungs-Beanspruchungsansatz die Aufrechterhaltung des oben beschriebenen Dualismuss erforderlich. Die parallele Analyse der Veränderungsdynamik beider Entropiearten ist zur Charakterisierung von Beanspruchungsverhalten entscheidend. Zu diesem Ansinnen bedarf es ebenso der Identifizierung und Anwendung artspezifischer Bewertungsaspekte bzw. Kriterien (siehe auch Anmerkung A4.6).

Für die Gesamtheit der inneren Entropieproduktion soll geschrieben werden (siehe auch Abbildung 4.8):

$$dS_i^{ges} = dS_{i(I)} \wedge dS_{i,M(I \wedge E)} \tag{4.25}$$

Zu einer ersten Abschätzung der Produktion von bioenergetisch belegter Entropie können empirisch ermittelte Beträge von energetischen Grund-, Ruhe- und Arbeitsenergieumsätzen für unterschiedliche (hauptsächlich körperliche) Aktivitäten der Literatur entnommen werden [193], [194]. Dabei scheint es sinnvoll, die Summe von Grund- und Arbeitsanteilen entspre-

chend der jeweiligen metabolischen Umsätze $\frac{dE_{M,k}}{dt}$ auf eine mittlere afebrile Körpertemperatur (Kerntemperatur) der Arbeitsperson von $T_m = 310{,}15K$ zu beziehen. Für den systeminneren Zuwachs an metabolisch belegter Entropie einer SO-Sequenz der Dauer τ gilt vereinfacht in erster Näherung unter der Voraussetzung reversibler Zustandsänderung bei konstantem Energieumsatz:

$$\Delta S_{i,M(I\wedge E)} = \frac{\left(\tau \cdot \sum_k \frac{dE_{M,k}}{dt}\right)}{T_m} \tag{4.26}$$

Als grobe Orientierung für eine Abschätzung bioenergetischer Umsätze bei Cockpitarbeit können die Angaben aus Tabelle 4.2 heran gezogen werden. Sie sind, entsprechend berufsspezifischer Erfahrungen aufbereitet, den tabellarischen Sammlungen der zuvor angeführten Literatur entnommen worden.

Art des Energieumsatzes	$\frac{dE_{M,A}}{dt}$ in KJ / min	Bemerkungen
Grundumsatz — Männer:	$\left.\frac{dE_{M,GU}}{dt}\right\|_{Männer} = \frac{278{,}28 + 57{,}57 m_{Körper} + 20{,}94 h_{Körper} - 28{,}28 n_{Lebensjahren}}{1440}$	Körpermasse m in kg Körperlänge h in cm Alter in $Anzahl\ an\ Lebensjahren$
Grundumsatz — Frauen:	$\left.\frac{dE_{M,GU}}{dt}\right\|_{Frauen} = \frac{2783{,}6 + 40{,}04 m_{Körper} + 7{,}74 h_{Körper} - 19{,}57 n_{Lebensjahren}}{1440}$	
Arbeitsumsatz nach Tätigkeit	~ 8 KJ / min	Ruhiges Sitzen, Handarbeit, mittlere Einarmarbeit, leichte Zweiarmarbeit
Arbeitsumsatz nach Körperstellung	~ 1,5 KJ / min	Sitzen auf Stuhl
	Superposition	
Arbeitsumsatz nach Art der Handlungsfolge	6,0 – 8,5 KJ / min	• Vorwiegend leichte Zweiarmarbeit (manuelle Flugzeugführung)
	2,5 – 5,0 KJ / min	• Vorwiegend leichte Einarmarbeit (automatische Flugzeugführung)

Superposition

Tab. 4.2: **Zur Abschätzung von physiologisch orientierten Energieumsätzen für Cockpitarbeit – aufbereitet entsprechend der Angaben aus [193] u. [194]**

4.7 Entropieexport

Die Charakteristik des Entropieexports ist durch das Muster von beobachtbaren Handlungsabläufen bestimmt. In der Anschauung bedingt die Intensität des Regulationsstroms $\underline{R}_F$ als *Treibstrahl* den Abtransport von im System befindlichen, inneren Entropien in die Umgebung nach dem Funktionsprinzip einer (unterkritisch arbeitenden) Ejektorpumpe.

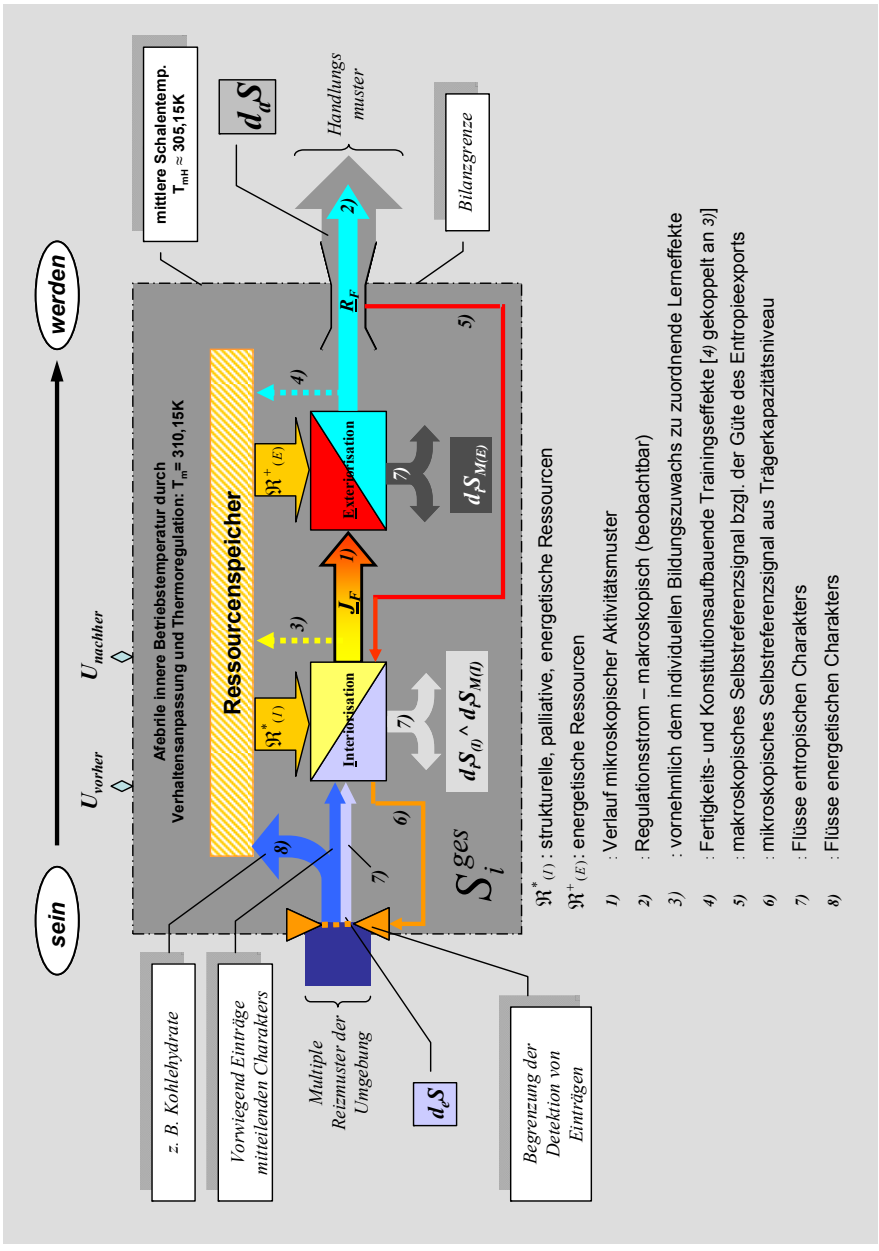


Abb. 4.8: **Prozessorientierte Darstellung zur Bilanzierung von Entropiegrößen einer SO-Sequenz[103]**

[103] Die Differentiale werden jeweils mit einem Richtungsindex versehen, um die Entropieänderung als zeitlich gerichteter Vorgang in einer substantiellen Darstellung zur Bilanzierung besser identifizieren zu können.

Wie in der Zusammensetzung des inneren Entropiezuwachses beschrieben, sollen auch hier zunächst zwei Pfade betrachtet werden: Dies sind zum einen der mikroskopische Datenstrom zur Organ- bzw. Muskelansteuerung, zum anderen der dazu gehörige makroskopisch beobachtbare und energetisch belegte Regulationsstrom $\underline{R}_F$. Beide Anteile wirken im Exteriorisationszeitintervall $\tau_{(E)}$.

Zunächst die energetisch belegte Betrachtung: Die primär willentlich generierten physikalischen Aktionsgrößen[104] stellen eine Komponente des makroskopisch beobachtbaren Regulationsprodukts des Systems dar [195]. Die sekundär dazu begleitenden notwendigen physiologischen (z. T. vegetativen) Regulationsrelationen[105] wirken aufgrund von systemimmanenten Pufferfunktionen in weiter ausgedehnten Zeithorizonten als der Primäranteil. Hier ist z. B. die Wärmeabfuhrunterstützung durch Evaporation zu nennen, die phasenverschoben während der Dauer der gesamten Selbstorganisationssequenz τ und z. T. darüber hinaus wirkt bei $T_{mH} \geq 307{,}15K$. Zur Quantifizierung der bioenergetisch belegten Entropie bei Handlungsausführung wird vorgeschlagen, den aus dem System abgeführten Wärmestrom auf die mittlere Hauttemperatur (Schalentemperatur von $T_{mH} \approx 305{,}15K$) zu beziehen. Das produzierte Wärmeäquivalent für die abgebbare Nutzarbeit hingegen wird auf das Kerntemperaturniveau bezogen. Betrachtungen zur Ermittlung der Wirkungsgrade von Muskelarbeit im Cockpit sind nur eingeschränkt sinnvoll aufgrund ihres geringen kinetischen Gehalts. Abschätzungen dazu können der angegebenen Literatur [197], [198] entnommen werden. Unter der Forderung reversibler Weitergabe von Wärme und von Energieäquivalent für Nutzarbeit an die Umgebung folgt mit dem metabolisch determinierten Wirkungsgrad $\eta_{M(E)}$ und der Nutzleistung $L_{Nutz} \approx \left|\underline{R}_F\right| \cdot \eta_{M(E)}$:

$$\Delta S_{a,M(E)} \approx \tau_E \cdot \left(\frac{\sum \frac{dE_{M,k}}{dt} - \frac{L_{Nutz}}{\eta_{M(E)}}}{T_{mH}} + \frac{\frac{L_{Nutz}}{\eta_{M(E)}}}{T_m} \right) \tag{4.27}$$

Für die im weitesten Sinne informatorisch belegte Betrachtung wird die folgende Argumentation bereitgestellt: Sie behandelt den Abtransport von Interiorisationsentropie durch die makroskopische Regulationsaktivität (d. h. durch die Umsetzung von Aktivitätsmustern zu Handlungsmustern) während der Exteriorisation. Der entsprechende Betrag an exportierter Entropie informatorischen Charakters kann gekoppelt gesehen werden an der Vollzugsgüte der Umwandlung von Absichten in Handlungsausführungen. Dazu folgende Überlegung: Wenn nach [168] im übertragenen Sinne „…Entropie Information ist, welche nicht zur Verfü-

[104] Vom Körper nach außen wirkende dynamische und statische Aktionskräfte bzw. Bewegungen. Weiterhin im Körpersystem wirkende Muskelaktivitäten und Massenkräfte, die z. B. das Standhalten von Körperschwingungen ermöglichen

[105] 1.) autonome Thermoregulation: - Wärmeproduktion und vorwiegend Wärmeabfuhr durch Strahlung, Verdunstung, Leitung und Konvektion - 2.) Verhaltensanpassung: - Bei Cockpitarbeit nur eingeschränkt anzusetzen.

gung steht…“ bzw. anders ausgedrückt - wenn Interiorisationsentropie mit fehlender Information verknüpft ist, würde das bedeuten, dass sich das System ggf. des *Informationsmangels über der Fülle weiterer Reaktionsmöglichkeiten* durch Entropieexport entledigen könnte. Analog zum Erkenntnisprozess während der Interiorisation kann dann auf makroskopischer Ebene von der *Herstellung eines Fakts* gesprochen werden. Damit steht die Güte an momentaner situationsspezifischer Bedürfnis- bzw. Wunschbefriedigung (wobei sich die Zielerreichung durch den erfolgreichen Vollzug des vormals intendierten Prozesses selbst erschließt) im Fokus der Betrachtung. Eine durch äußere bzw. innere Gründe bedingte Wunschversagung nach einer intendierten Handlung (→ Frustration) wäre dann dem Wesen nach eine *Konservierung von Informationsmangel* bzw. von nicht genutzten und damit nutzlos gewordenen Reaktionsmöglichkeiten - hypothetisch also das Maß an nicht entledigter Interiorisationsentropie. Dementsprechend kann die Entstehung des Handlungsprozessgelingens gleichsam dem Konsum von Interiorisationsentropie durch die Systemumgebung gesetzt werden. Mit der Betrachtung des Wahrscheinlichkeitsverhältnisses von der Ungewissheit über Möglichkeiten aktueller Ergebniskonstellationen ausgeführter Handlungen zur Ungewissheit über Möglichkeiten des erfolgreichen Transfers von Intentionen in die physische Realität könnte sich der Quantifizierung des Exports von Interiorisationsentropie statistisch genähert werden über:

$$\Delta S_a := k_e \, ln \, \frac{W_{EK}}{W_{TE}} \tag{4.28}$$

Phänomenologisch kann man sich die Entledigung von Interiorisationsentropie als Vorgang vorstellen, der durch das Verlassen kondensierter Intentionen aus dem System in dessen Umgebung hervorgerufen wird. Am Ende einer SO-Sequenz überschreitet somit $\Delta \Im_F$ die Systemgrenze und bewirkt eine Verringerung der inneren Zustandsfunktion in Analogie zu [199] um:

$$\Delta S_a = \frac{\Delta \Im_F}{U_{nachher}} \tag{4.29}$$

Hier wäre es vorstellbar die Güte des Transfers durch einen noch näher zu bestimmenden Prozesswirkungsgrad $\eta_{(E)}$ abzubilden. Mit dessen Berücksichtigung entspricht der Betrag aus Gleichung (4.29) dann demjenigen aus Gleichung (4.20).

Unter der Aufrechterhaltung des angesetzten Dualismus, ergibt sich die Gesamtheit des Entropieexports einer Regulationssequenz $\big|_{(n)}$ zu:

$$\Delta S_a\big|_{(n)} = \left| \int_{t=\tau_{(1)}}^{\tau} \vartheta(t) dt \right|_{(n)} \wedge \Delta S_{a,M(E)}\big|_{(n)} \tag{4.30}$$

An dieser Stelle sei vermerkt, dass gemäß der Konzeption des Anschauungskonstrukts das Maß an nicht entledigter Systementropie einer SO- Sequenz den jeweiligen Eintrittsbeträgen des nachfolgenden Intervalls durch Superposition zugeschlagen wird. Der Vollständigkeit halber sei weiterhin darauf hingewiesen, dass auch Prozesse des Lernens sowie die des

Trainings von Fertigkeiten und körperlicher Konstitution ebenso als Entropie exportierende Geschehnisse verstanden werden sollen.

4.8 Zur Bewertung physiologischer Rahmenbedingungen von SO- Prozessen

Während im Verinnerlichungsprozess das Gesamtsystem, über eine Einschränkung seiner Freiheitsgrade, zielgerecht ausgerichtet wird (siehe Abschnitt 4.5) bedarf es energetisch belegter Voraussetzungen zur Generierung zweckorientierter Reaktionsweisen. Zur Schaffung dieser Rahmenbedingungen sind nach der angesetzten Belastungs-Beanspruchungskonzeption die Einbeziehung aller Prozessphasen der SO- Sequenzen erforderlich. Schließlich stellt sich die Frage nach einem geeigneten Kriterium für die Bewertung physiologischer Voraussetzungen zum Aufbau geordneter bzw. ordnender Handlungsmuster. Darunter fallen aus biochemischer Sicht u. a. auch metabolisch bestimmte Regulationen zur kontinuierlichen lokalen und allseitigen Ausbalancierung von energetisch über ATP gekoppelten, z. T. katalytischen rückgekoppelten Prozessen (siehe Anmerkung A4.7).

In den Etappen der Thermodynamikentwicklung begann nach der Erforschung von Gleichgewichtsstrukturen abgeschlossener Systeme die Betrachtung der Zeitlichkeit einen wesentlichen Einfluss auf Beschreibungen irreversibler Prozesse von stationärem Nichtgleichgewicht offener Systeme und dissipativer Strukturen zu nehmen. Übertragen auf das hier betrachtete, offene Subsystem Mensch soll für Bewertungen des Vermögens zum physiologischen Lebens- bzw. Vitalitätserhalt die, von *PRIGOGINE* formulierte Erweiterung des 2. Hauptsatzes[106] heran gezogen werden [115a]. Dazu sind Entropiebilanzen bioenergetischer Flüsse (z. T. Träger von Information) einzelner SO-Sequenzen dS_M^* im äußeren Zeitverlauf wie folgt aufgestellt:

$$dS_M^* = d_e S_U + d_i S_M - d_a S_M ; \quad d_i S_M \geq 0 \tag{4.31}$$

Danach kann für die in Abbildung 4.8 schematisiert dargestellten Konstruktprozesse von intakten internalen Regulationszyklen ausgegangen werden, wenn das System mindestens soviel bioenergetische Entropie exportiert, wie dem ihm zugeführten und durch den Selbstorganisationsprozess entstanden Betrag entspricht. Damit steht als Rahmenbedingung eine ausgeglichene Sequenzbilanz als Indikator für eine akzeptable Güte bzw. für das ausreichende Maß an physiologischem Vermögen zur Situationsregulation durch Selbstorganisation. Positive Bilanzbeträge würden demnach auf defizitäre SO- Sequenzen hinweisen. Negative Entropiemengen können eine regulative Überkompensation in der betreffenden Sequenz anzeigen. Dies kann einerseits als strategisch situationsorientierter *Vorhalt* (Planungscharakter) interpretiert werden. Andererseits kann es unter Berücksichtigung des eigenen Systemstatus aus vergangenen Zyklen (Selbstreferenz u. Historizität) auch dem Abbau von aufgestauten bioenergetischen Entropien dienen, - eine dem Systemleistungsvermögen zuträgliche Wirkung. Überkompensationen in der Bilanzierung führen in der Regel zu autonomen bzw. Verhaltens- anpassenden Thermoregulationen in nachfolgenden Zyklen. Abbildung 4.9

[106] „…Der zweite Hauptsatz drückt die Tatsache aus, dass irreversible Prozesse eine Richtung der Zeit einführen…“

zeigt idealisiert über dem äußeren Zeitverlauf die zur Bilanzierung am Ende einer SO- Sequenz zugehörigen Beträge von Entropieänderungen des vorgestellten Konstrukts.

Die Berücksichtigung von Verhaltensstilen erfordert, durch die ihr innewohnende Historizität, eine auf die äußere Zeit bezogene Betrachtung. Trägt man die zeitdiskreten Bilanz- Änderungsgrößen über der äußeren Zeit auf, so kann von der Aufrechterhaltung des physischen Regulationsvermögens des Arbeitsplatzinhabers ausgegangen werden, so lang der Verlauf negative Entropiezuwachsgeschwindigkeiten verzeichnet. Die Annäherung des Systems an eine physische Regimegrenze könnte durch einen entsprechenden divergenten Verlauf (unter Berücksichtigung eines zeitlichen Akzeptanzbereichs zur Berücksichtigung von Pufferfunktionen) zu positiven Beträgen hin angezeigt werden. An dieser Stelle soll davon ausgegangen werden, dass die ergonomische Gestaltung derzeit im Lufttransport eingesetzter Verkehrsflugzeuge in Bezug auf Betätigungskräfte, Raumklima der Cockpits etc. in der Regel in einer akzeptablen Art und Form ausgelegt sind. Eine Ausnahme davon bilden z. T. leichte Transportflugzeuge nach EASA Part 23. Hier ist besonders bei hohen Umgebungstemperaturen und hoher relativer Luftfeuchtigkeit durch Verhaltensanpassung des Individuums darauf zu achten, dass die Schalentemperatur des Körpers niedrig gehalten werden kann, um einen adäquaten Entropieexport gewährleisten zu können. Defizitäre Entropieexporte bewirken rückgekoppelt ansteigende Körperkerntemperaturen. Sie verringern zwar die innere Entropieproduktion, senken aber als physisch defizitäre Rahmenbedingung besonders die dispositionelle psychische bzw. kognitive Leistungsfähigkeit.

Entsprechende Regeln zu Verhaltensanpassungen für Arbeitsplatzinhaber werden nur selten durch Luftfahrtunternehmen explizit bereitgestellt. Entsprechende Gestaltungsmaßnahmen sind ggf. in Flugzeugmuster-spezifischen Betriebshandbüchern i. d. R. als Systembeschränkungen aufgeführt (siehe Anhang A4.8).

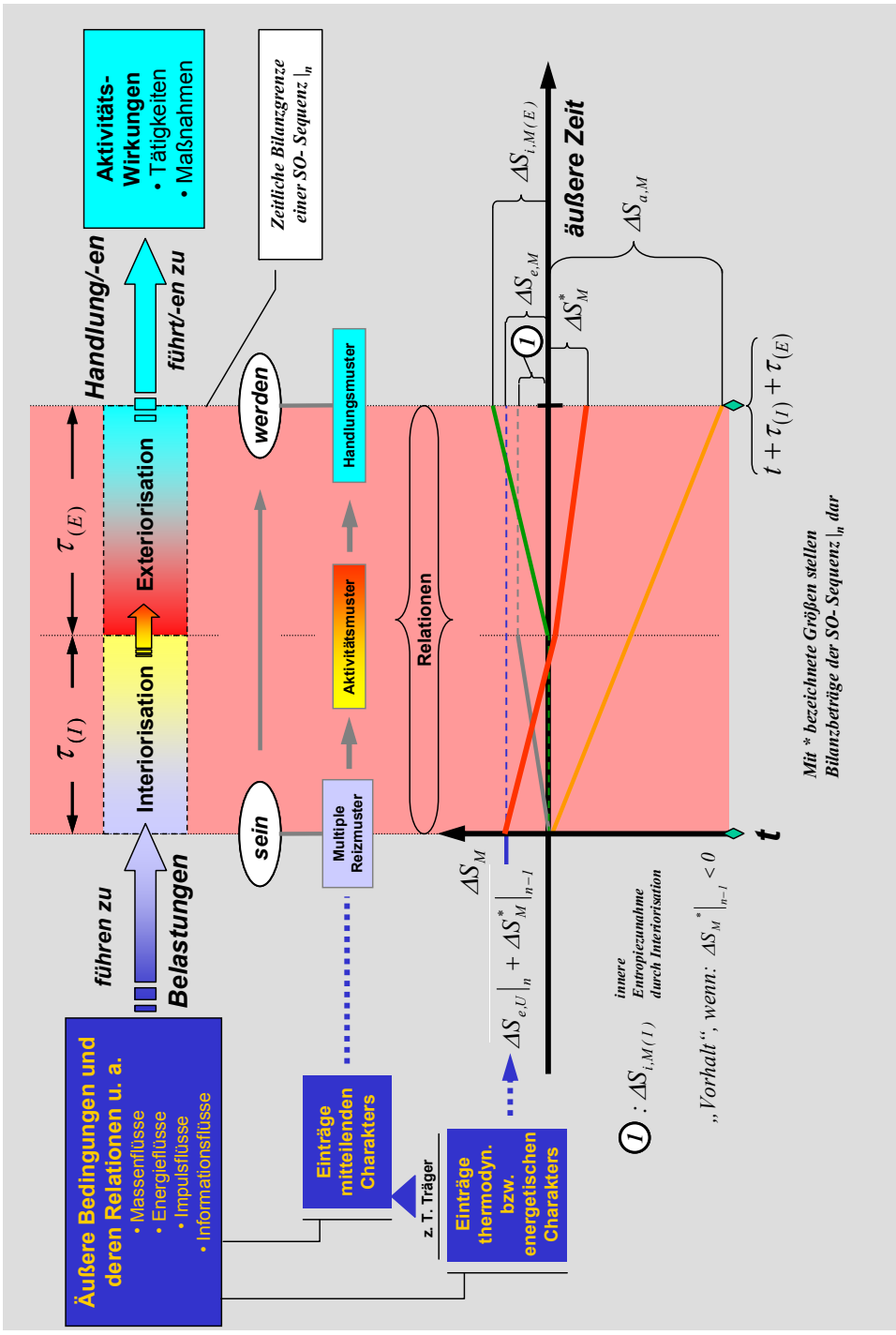


Abb. 4.9: **Bilanzierung bioenergetischer Entropiegrößen einer idealisierten SO-Sequenz (Konstrukt gem. Abb. 4.8)**

4.9 Zusammenfassung der mikroskopisch orientierten Betrachtungen

Der erste Teil des Konstruktentwurfs besteht aus der theoretischen Prozessanalyse zur Entstehung von situationsspezifischer Regulationsaktivität im Subsystem Arbeitsperson. Auf der Grundlage von naturwissenschaftlich fundierten Erkenntnissen sowie arbeitswissenschaftlichen Konzepten wurden wesentliche Prozessparameter zur mentalen Regulation von Arbeitshandlung identifiziert. Ihre Relationen wurden zum Teil in Analogie zur Nichtgleichgewichtsthermodynamik mathematisch abgebildet. In diesem Zuge gelingt es, den semantisch belegten Steuerstrom einer intendierten Systemantwort in Form einer vektoriellen Fließgröße zu extrahieren und zu beschreiben. Er wird als Interiorisationsstroms bezeichnet. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann seine Existenz als Absolutgröße allerdings nur über theoretische Plausibilitätsbetrachtungen (Abschnitt 4.4) formuliert werden, da z. Zt. davon ausgegangen werden muss, dass experimentelle Untersuchungsmethoden für seine Verifizierung noch außerhalb des jetzigen wissenschaftlichen Erkenntnishorizonts liegen. Eine Überprüfung kann damit nicht zum Bestandteil des vorliegenden Beitrags erklärt werden. Das durch berufsspezifische Erfahrung untermauerte Konstrukt stellte somit die Interiorisation in den Mittelpunkt der Betrachtung[107]. Die Ausprägung der Prozessgröße, die den Gang der Handlungsentstehung reguliert und das Maß an Irreversibilität des Prozesses kennzeichnet, repräsentiert in komplementärer Weise die entsprechende mikroskopische Organisationsform des Systems innerhalb von makroskopisch definierten Betriebsregimes. Deren jeweilige Beständigkeiten sind im Wesentlichen gebunden an mikroskopisch belegte Kriterien. Diese basieren auf zulässige Zuwachsgeschwindigkeiten der Residuen bilanzierter Prozessgrößen mit entropischem Charakter. Die zulässigen Grenzen dieser Raten resultieren aus der im Belastungsverlauf (Arbeits-Erholungs-Zyklus) veränderlichen, Trägerkapazität des natürlichen Systems. Damit reflektiert die Genese des Interiorisationsstroms u. a. als ein Aspekt gleichzeitig auch die augenblickliche Systemdaseinsform.

[107] Im Verlauf der Interiorisation von vormals äußeren Sachlagen in mikroskopische Aktivitätsmuster führen sortierende Selbstorganisationssequenzen zu Ordnungszuständen, die als ein Aspekt die dynamische Systemexistenz determinieren.

Kapitel 5

Zum Systemverhalten – Aufstellung eines Kriteriensystems zur Akzeptanzbewertung von menschlichem Regulationsvermögen

In diesem Kapitel wird ein Vorschlag für die mathematische Abbildung makroskopischer Aspekte zur Regulation von Arbeitshandlungen gegeben. Dabei stellen Betrachtungen zu observierbaren Reaktionsweisen des Systems den Hauptgegenstand der Ausführungen dar. Der mathematische Entwurf soll ein Hilfsmittel sein, um über die Modalität von Entwicklungstendenzen des Systems auf dessen Organisationsform schließen und damit deren Akzeptanzbewertung zugänglich machen zu können. Schließlich ließen sich Grenzen des vornehmlich mentalen Leistungsvermögens des Systems quantitativ darstellen, um daraus personenbezogene Gestaltungsmaßnahmen für den sicheren Betrieb komplexer Transportträgersysteme ableiten zu können. Allerdings stellt der theoretische Ansatz keine umfassende Erklärung der Handlungsregulation dar.

Das vorzustellende Konstrukt beschreibt in der Makroebene den Charakter von Regulationsaktivitäten, die in die Systemumgebung hinein gerichtet und absichtsbelegt sind. Die armierten Initiativen zum makroskopischen Verhalten können als strukturelle Ausprägungen des Interiorisationsstroms verstanden werden. Diese spiegeln als Ergebnis der Interiorisation in mikroskopischen Prozesseinheiten die Systemselbstorganisation wider. Damit enthält der mathematische Ansatz sowohl mikroskopische als auch makroskopische Aspekte der Regulation von Arbeitshandlungen. Weiterhin bildet er Kommunikationsformen unterschiedlicher Größenordnungen (von sich verändernden Verlaufsinitiativen und – konsequenzen) implizit ab. Als Erkenntnisgewinn kann gesehen werden, dass es theoretisch durchaus möglich ist, koevolutionäre Phasen von Regulationsprozessen zu fassen und abzubilden. Dabei wird gezeigt, dass allgemein als geisteswissenschaftlich einzuordnende Perspektiven sich weitgehend durchaus mathematisch strukturieren lassen. Aus den charakteristischen und observierbaren Tendenzen von Simulationsergebnissen des mikro- und makroskopisch belegten Algorithmus lassen sich Systemfließzustände in der Mesoebene ableiten. Diese können als konstitutionelle und dispositionelle Systemveränderungen betrachtet werden. Letztere machen die dynamische Existenz[108] des Systems aus.

5.1 Zum Systemverhalten als observierbare Dynamik der Regulationsstruktur

Die Verhaltensarten von re-kreativen Systemen resultieren aus der Formbarkeit ihrer mikro- und makroskopischen Strukturveränderungsprozesse während der Interaktion mit ihrer Umgebung und sich selbst. Das von außen observierbare Systemverhalten soll als Merkmal von makroskopischen Handlungsmustern verstanden werden, die sich im äußeren Zeitverlauf aufbauen und damit ständig ändern. Diese sind durch das Bestreben des (begrenzt) adaptiven Systems gekennzeichnet, fortwährend eine absichtsorientierte Austarierung von Einträ-

[108] Der Begriff *dynamische Existenz* soll hier in Anlehnung an [202] das reale lebende Systemdasein bezeichnen, welches sich in komplementärer Weise durch seine eigenen Veränderungen aufgrund koevolutionärer Fließzustände und den damit verbundenen Erscheinungen determiniert.

gen und Reaktionen unter situationsspezifischen Bedingungen erfolgreich zu bewerkstelligen. Wie in Kapitel 2 beschrieben stellen diese raumzeitlichen und funktionellen Wechselwirkungen von außen beobachtbare Vollzugsweisen zum Systemerhalt dar. Sie bilden Formen irreversibler Konsequenzen des Systems auf stationäre und / oder instationäre äußere Einflüsse von Geschehnissen unter Einfluss inhärenter Bedürfnisse bzw. Strategien der Anforderungsbewältigung. Das jeweilige makroskopische Verhalten reflektiert als sichtbare Erscheinung die entsprechende dynamische Existenz des Systems, deren autonomes[109] Wesen mit *regulativer zweckorientierter Sinnkonfiguration* umschrieben werden kann. Entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.2 können deren Organisationsformen mit linguistisch geprägten Bewertungen belegt werden, die Zustände von Ordnung über Unordnung bis Chaos kennzeichnen.

Die makroskopischen Muster der Aufgabenbearbeitung sind als Stil jeweils an bestimmte, vorwiegend mikroskopisch determinierte Betriebsregime gebunden. Deren mehrdimensionale Grenzen werden gemäß den Ausführungen in Tabelle 4.1 als *OPE* bzw. *PPE* bezeichnet. Verschiebungen bzw. Wechsel von deren jeweiligen Betriebsenveloppen sollen als die Folge von sich verändernden Trägergesamtkapazitäten und des Vermögens betrachtet werden, ausgewählte personenbezogene Bewältigungsstrategien einsetzten zu können. Daraus wird abgeleitet, dass prägnante Änderungen in der Art und Weise des Arbeitsvollzugs (bei gleicher Aufgabenstellung) hypothetisch auf das Überschreiten von Regimegrenzen hinweisen.

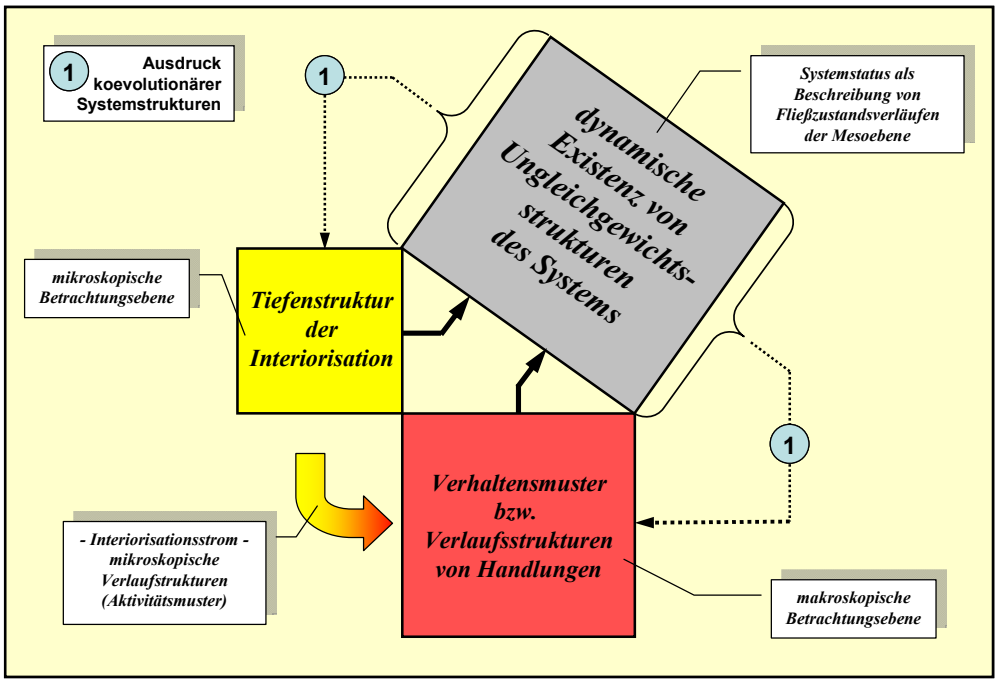


Abb. 5.1: **Zur Zusammensetzung der dynamischen Systemexistenz**

[109] … im Sinne: gegenseitiger Entsprechung von Funktion und Struktur [112h]

Wie schon vorab in der Fußnote 52 des Abschnitts 3.1 beschrieben, wird die dynamische Systemexistenz gekennzeichnet durch die Gesamtheit der Strukturentwicklungen sowohl von mikroskopischen als auch von makroskopischen Nichtgleichgewichtsprozessen. Darunter sind vornehmlich innere Konstellationen interaktiver Abläufe zum Aufbau des Interiorisationsstroms gemäß Abschnitt 4.5 ebenso zu verstehen wie auch die hier zu diskutierenden verschiedenen observierbaren Systemverhaltensmuster. Die Zusammensetzung dieses koevolutionären Gebildes[110] zeigt schematisch Abbildung 5.1. Die Belegung seiner Gestalt mit Statusprädikaten soll helfen das momentane Leistungsvermögen einer Arbeitsperson über Beschaffenheitskategorien zu kennzeichnen. Damit ließen sich gleichzeitig Einblicke hinsichtlich seiner Leistungsvoraussetzung zur Erwirkung von Betriebssicherheit gewinnen (siehe Tabelle 4.1 und Anmerkung A5.1). Dabei etikettiert der Begriff *Ordnung* als Güteparameter eine intakte Selbstorganisation zur Situationsregulation, die über die Observation makroskopischer Erscheinungen zur Kenntnis gelangt ist. Er ist ein Prädikat für einen akzeptablen Stil der Abfolge irreversibler Prozesse in unterschiedlichen Betrachtungsebenen von hoher Strukturkomplexität und deren Veränderungen und bewertet die Kommunikation des Systems mit seiner Umgebung und sich selbst.

5.2 Zur Auslegung eines mathematischen Ansatzes für die Abbildung des Charakters von Systemverhalten

Das makroskopische Systemverhalten kann unmittelbar als Regulation der systemeigenen Positionierung und Orientierung im Ereignisfeld des Flugbetriebsablaufs gesehen werden. Den Regulationscharakter gilt es mit Hilfe eines geeigneten mathematischen Ansatzes derart zu fassen, dass eine sicherheitsbezogene Einschätzung bzw. Bewertung der Systemreaktion auf Belastungen und dem daraus abgeleiteten Systemstatus möglich erscheint. Dazu soll eine Rechenvorschrift gefunden werden, welche rückgekoppelte Systemaktivitäten der Exteriorisation unter vorherrschenden Rahmenbedingungen abbilden kann. Dabei soll der Algorithmus derart ausgelegt sein, dass Auswirkungen von Veränderungen relevanter System- bzw. Prozessparameter direkt sichtbar werden. Im Einzelnen sollen die folgenden Anforderungen an die Arithmetisierung gestellt werden:

- Der Ansatz soll widerspruchsfrei zu der vorgestellten Belastungs- / Beanspruchungskonzeption sein.
- Limitierungen des Regulationsvermögens müssen Berücksichtigung finden[111]. Dabei wird das Regulationsvermögen als ein trilaterales, die Balance zwischen Belastung, Reaktion und einem akzeptierbaren Beanspruchungsniveau wahrendes Systemmerkmal mit Eigenschafts- und Leistungsaspekten gesehen.
- Die Eingabevariablen zur Systembelastung sollen aus den mikroskopischen Prozessgrößen der Interiorisation resultierenden.

---

[110] Als *Dasein* reflektiert es vornehmlich die Modalität der Anforderungsbewältigung. Es richtet sich in abstrakten raumzeitlichen Bereichen ein. Darunter werden hier Organisationsformen verstanden, die in ihrem Rahmen befindliche Wirkungsgefüge strukturieren und ordnen. Sie tragen das entwicklungsspezifische Gedächtnis des Systems und steuern u. a. damit seine eigene *religio*-Fähigkeit.

[111] Es kann davon ausgegangen werden, dass physiologische Anforderungen zur Bedienung der Betriebsmittel aufgrund deren Gestaltung nach Bauschriften (z. B. EASA-CS-25) i. d. R. gegeben sind.

- Es soll möglich sein, mathematische Abbildungen von Systemfließzustandsgrößen aus der Mesoebene über Parameter in die Rechenläufe einzubinden.
- Die mathematische Modellierung soll so ausgerichtet sein, dass Phänomene des Initiativen- / Konsequenzkonstrukts aus der Sicht der Betriebssicherheit eingeordnet werden können.

5.2.1 Voraussetzungen zur mathematischen Abbildung der *Exteriorisation*

Wie in Abbildung 3.6 gezeigt, liegt es nahe, eine mathematische Abbildung des Handlungsregulationsprozesses an der Exteriorisation zu platzieren und zunächst in erster Näherung als Demonstrationskonstrukt nach einem Kastenschema auszulegen [131a]. Diese Vorgehensweise besitzt den Vorteil, dass Rechenergebnisse bzw. der Datenausgänge mittelbar mit realen Beobachtungen verglichen werden können. Das mathematische Konstrukt baut sich aus Eingabevariablen und Parametern unterschiedlicher Betrachtungsebenen auf. Die Zustandsbeschreibung des Systems geschieht über ausgewählte Größen, welche der Mesoebene zugeordnet werden können. Die Einträge in das Einboxschema bzw. die äußeren Relationen sind mikroskopisch determinierte Resultate der Interiorisation.

Aufgrund fehlender Metriken müssen im Ansatz besonders gerichtete Variablen und Parameter derart operationalisiert werden, dass entsprechend festzulegende indikative Größen in skalarer Form vorliegen. Dieses Vorgehen besitzt den Vorteil, dass sich dadurch ein aufzubauender Algorithmus merklich vereinfacht. Damit sich der mathematische Ansatz trotz dieser Simplifizierung bewährt, muss sich die Modellierung auf fundierte berufsspezifische Erfahrungen und situationssignifikantes Eigenerlebtes stützen.

Im Ansatz werden Kennlinienverläufe in analytischer Form angegeben. Systemdynamiken werden deterministisch belegt. Sie besitzen einen nichtlinearen und aufgrund der natürlichen Kommunikationsgeschwindigkeiten des Systems diskreten Charakter, wobei generell die Komplexität raumzeitlicher Abbildung approximativ durch die Annahme der Konstanz bestimmter Variablen eingeschränkt wird.

5.2.2 Die mentale Anstrengung als Reflexion momentaner Systembeschaffenheit

Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4 umfasst der Begriff mentale Systemanstrengung I_F einerseits die regulatorisch bestimmten Regsamkeiten aus wirkenden Aktivierungssystemen sowie die Aufwendungen für den Strukturaufbau des Interiorisationsstroms. Andererseits reflektiert er implizit sowohl dessen Gehalt als auch in der Mesoebene die Positionierung des gegenwärtigen und hauptsächlich intellektuell determinierten Systemexistenzstatus. Als einhüllendes Reaktionsmerkmal wird der Ausprägung von I_F ein äquivalentes Maß von vorwiegend geistiger Beanspruchung über die Empfindung des subjektiven Situationserlebens eines Bewältigungsaktes von Arbeitsanforderungen in einem Zeitintervall zugemessen[112] (hier besonders als emotionale und psychische Belastungswirksamkeit). Somit bezieht sich eine Quantifizierung von I_F stets auf Situationskonstellationen eines abgegrenzten und

[112] Diese Position wird als konsistent zu Begriffsabgrenzungen der Dimensionen von Beanspruchung nach DIN EN ISO 10075-1, 2000, 3 und DIN EN ISO 6385:2004-05 betrachtet.

zu bewältigenden Szenarios bzw. Ereignisses. Als beschreibende Zustandsgröße setzt sie sich integrativ aus den Komponenten Dringlichkeit und Wichtigkeit einzelner Absichten zusammen und ist somit u. a. motivational belegt [162a]. Die Absichten bzw. die Bedürfnisse sind implizit in der sich konstituierenden Struktur des Interiorisationsstroms verankert. Dabei zeigt Letzterer u. a. den oben genannten Ressourcenabruf und damit den aktuellen zur Wirkung hin vorbereiteten (mikroskopischen) Regulationseinsatz des Systems an.

Zusammenfassend sind die mentalen Bemühungen einer Arbeitsperson charakterisierbar durch die Systemaktiviertheit[113], durch den zur Wirkung hin intendierenden Wert seiner Reaktionen und durch den *Klärungswillen* aus dem aktuellen Situationserleben. Dieses gehaltbezogene mikroskopische Maß umfasst zumindest zwei Hauptkennzeichen mentaler Zustände aus den Merkmalen *Subjektivität* und *Intentionalität*[114] [205]. Die mentale Systemanstrengung ist konform zur Produktionsrate an Interiorisationsentropie. Dabei wächst $I_F(t)$ in komplementärer Weise mit $\vartheta(t)$. In Anlehnung an *JØRGENSEN* et al. [206] soll hier das Niveau von I_F als Potentialabstand bzw. als Kontrast zwischen geistig- emotionaler Untätigkeit und dem augenblicklichen intellektuellen Fließstatus des lebenden Systems interpretiert werden. Mit Bezug auf Abschnitt 5.2.1 wird I_F als ungerichtete Größe in den mathematischen Ansatz eingeführt.

5.2.3 Zur Erfassung prägnanter Merkmalsausprägungen von Arbeitshandlungen

Die Gesamtheit makroskopischer Reaktionen des Systems aufgrund situationsspezifischer Einträge soll als Arbeitstätigkeit verstanden werden. Merkmalsträger dieser Tätigkeit sind Arbeitshandlungen bzw. Aktivitäten[115]. Die raumzeitliche Abfolge von Teilhandlungen bzw. Operationen wird als Regulationsstrom $\underline{R}_F(t)$ bezeichnet. In seiner zeitabhängigen Gesamtheit bildet er Handlungsmuster ab, deren Merkmale quantitativ beschreibbar und / oder von bewertbarer Art sind. Dabei tragen diese Attribute, gemäß Abschnitt 3.5.5, komplementäre Leistungs- und Charakteraspekte des Handlungsvollzugs und des -ergebnisses.

---

[113] als ein Attribut der Mesoebene (entsprechend Abschnitt 4.5)

[114] An dieser Stelle sei angemerkt, dass Systemzustände nicht nur abhängig vom aktuellen Situationserleben sind. Sie ändern sich auch durch Beanspruchungsfolgen im Wirkungszyklus von Arbeit und Erholung des Individuums.

[115] … Aktivitäten im Sinne der Wirksamkeitsausrichtung von äußerlich beobachtbaren Verhaltensarten u. a. nach berufsspezifischen Definitionen gemäß *GIESA* [207]

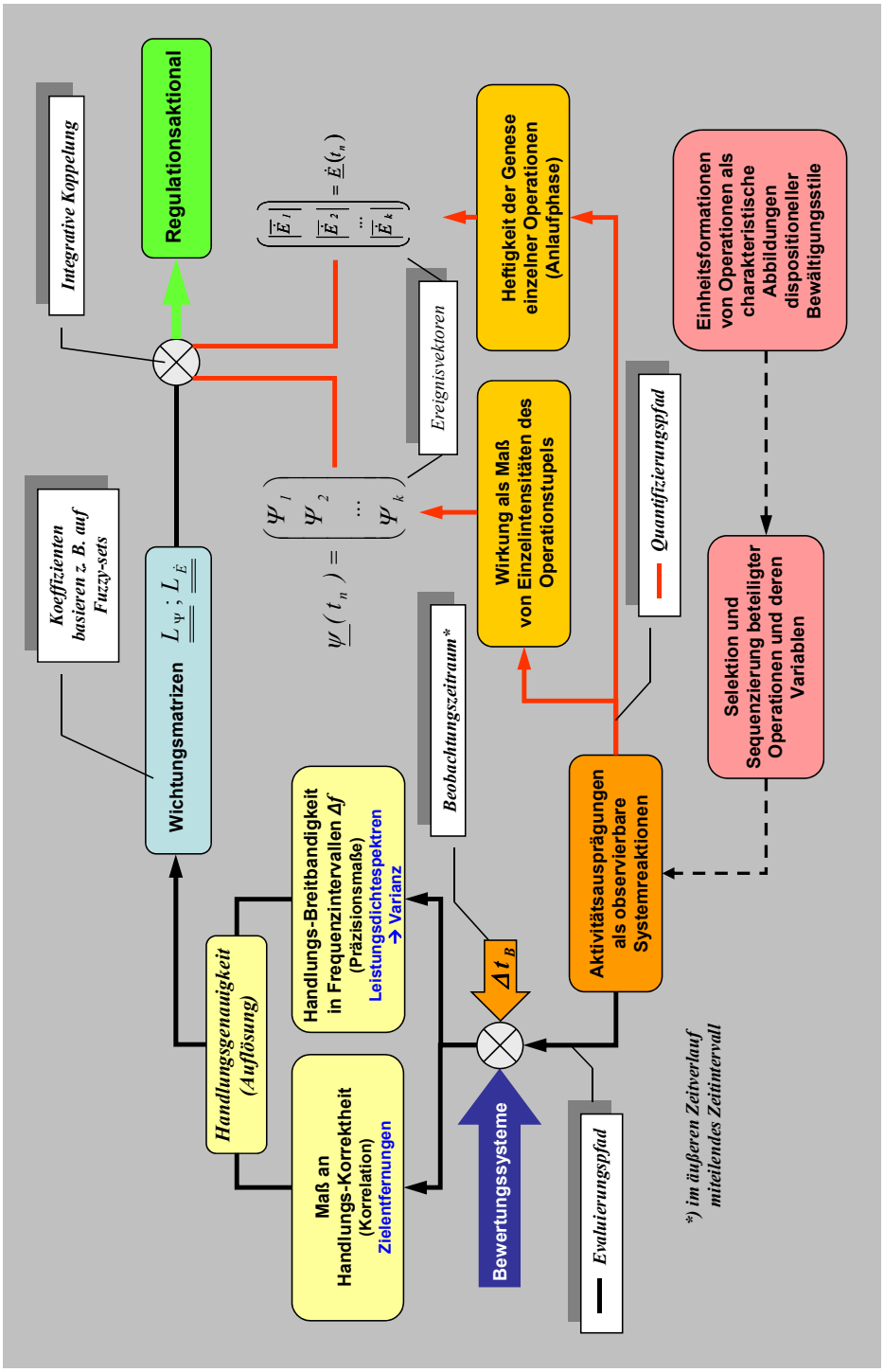


Abb. 5.2: **Zum Aufbau des *Regulationsaktionals***

Zur einheitlichen Erfassung prägnanter und mehrdimensionaler Merkmalsausprägungen von Arbeitshandlungen wird hier eine zusammenfassende zeitdiskrete Größe eingeführt. Sie soll als *Regulationsaktional* $P_F(t_n)$ bezeichnet werden. Darunter ist ein Skalar zu verstehen, der sich aus gewichteten Merkmalsausprägungen prägnanter Mustervariablen bzw. vereinbarungsgemäß, aus Variablen eines *k-Tupels* von Operationen[116] bestimmt. Das Regulationsaktional ist eine fiktive Hilfsgröße, um stark vereinfacht das objektiv belegte Maß der Ausprägung einzelner Handlungsaktivitäten im Kontext der aktuell vorliegenden Situationsregulation erfassen zu können. Es ist ein auf beabsichtige Wirkung hin zielgerichtetes Gebilde von Aktivitäten bestimmter informatorischer und energetischer Ausprägung. Das Konstrukt konstituiert Handlungen bzw. Handlungsabfolgen als determinierte Einheiten, wobei deren Wirksamkeit durch die Genauigkeit und Intensität ihres eigenen Vollzugs beschrieben werden. Den grundsätzlichen Aufbau des *Regulationsaktionals* aus einzelnen Merkmalsausprägungen einer Operationskonstellation zeigt schematisch Abbildung 5.2. Der Charakter seiner Änderungsdynamik soll hypothetisch für den Stil der Aufgabenbewältigung stehen.

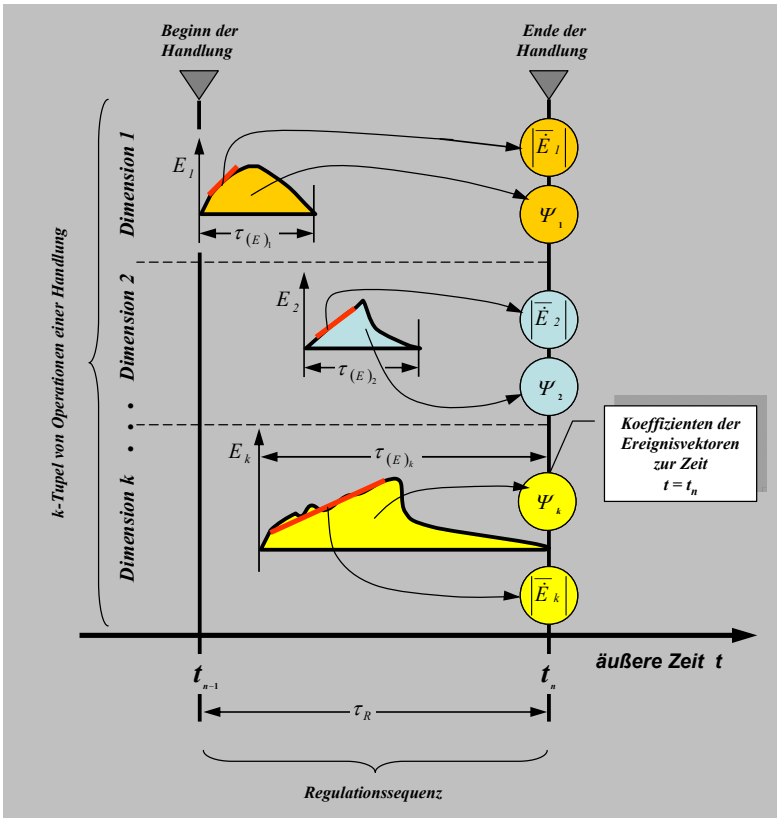


Abb. 5.3: **Zur Koeffizientenermittlung der Ereignisvektoren**

[116] Konstellation von Teilhandlungen

Die Beschreibung des Regulationsaktionals macht eine Verfolgung erfasster Veränderungen von Handlungsgrößen in zwei Entwicklungspfaden erforderlich. Ausgangsbasis sind Ausprägungen observierbarer Variablen von Handlungsabläufen. Letztere setzen sich i. d. R. aus einzelnen *Operationen* zusammen. Deren Strukturen gründen sich auf Reaktionsmuster des Systems, die wiederum an das individuelle Inventar von Einheitsformationen dispositioneller Bewältigungsstile gekoppelt ist.

Observierbare Systemreaktionen werden durch Aktivitätsausprägungen ausgewählter Variablen im Zeitverlauf als Rohdaten erhoben. Ihre Aufbereitung erfolgt sowohl qualitativ als auch quantitativ. Dazu werden ausgehend vom aktuellen Betrachtungszeitpunkt rückschauend Observierungszeiträume unterschiedlicher Dauer herangezogen: Auf dem *Evaluierungspfad* sind dies die im äußeren Zeitverlauf miteilenden Zeitintervalle von der Mindestdauer der momentanen Handlungsausführung[117]. Entsprechend sind auf dem *Quantifizierungspfad* die einzelnen Beobachtungszeitintervalle gleich der jeweils einhüllenden Vollzugsdauer τ_R von beteiligten Operationen einer Handlung. Damit ist sein Betrag[118]: $\Delta t_B = \tau_R \geq \tau_{(E)_i}$. Die aufbereiteten Ergebnisse aus einzelnen Beobachtungszeiträumen der beiden Pfade werden als Ereigniswerte synchronisiert und jeweils am Ende der zugehörigen zeitdiskreten Regulationssequenzen als Zwischenresultate in Form von Wichtungsmatrizen und Ereignisvektoren angegeben. Abbildung 5.3 zeigt dazu das prinzipielle Vorgehen für die Koeffizientenermittlung der Ereignisvektoren $\underline{\Psi}(t_n)$ und $\underline{\dot{E}}(t_n)$ des Quantifizierungspfades. Der Ereignisvektor $\underline{\Psi}(t_n)$ bildet den energetischen Gehalt eines Operationstupels ab. Seine Koeffizienten Ψ_i stehen als Einzelwirkungen für die Ausführungsstärke von Aktivitäten in deren Existenzverteilung.

$$\Psi_i(t_n) \;=\; \int_0^{\tau_{(E)_i}} E_i\,(t)dt \quad \text{mit:} \quad i = 1\ldots k \tag{5.1}$$

Entsprechend zeichnet der Ereignisvektor $\underline{\dot{E}}(t_n)$ die Raten der Teilhandlungsgenese (Anlaufphase) nach. Seine Koeffizienten $\left|\dot{\overline{E}}_i\right|$ stehen für die Heftigkeit des Vollzugs einzelner Operationen eines Tupels.

Die Bewertungsergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeitskriterien *Korrektheit* und *Präzision* von Handlungen gehen über Wertungszahlen in aufzustellende konsistente Tafelmatrizen $\underline{\underline{L}}_{\Psi}; \underline{\underline{L}}_{\dot{E}}$ ein (siehe Anmerkung A5.2). Dabei sollen besonders linguistisch geprägte Bewertungsaussagen unscharfer Mengen über Zugehörigkeitsfunktionen eingebunden werden. Als Wichtungsmatrizen enthalten sie Persönlichkeitsmuster und können als Anpassungswerk-

---

[117] Dabei ist darauf zu achten, dass die Beobachtungsdauer Δt_B soweit ausgedehnt wird, dass die Erfassung eines sinnvollen Frequenzspektrums der Veränderlichen bzw. der Beobachtungen erfolgen kann.

[118] Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im mathematischen Konstrukt vereinfacht $\Delta t_B = \tau_R = \tau_{(E)}$ gesetzt.

zeug zur Feststellung der Vergleichbarkeit von Datensätzen unterschiedlicher Probanden / Arbeitspersonen dienen. Sie übernehmen so die Übertragung eines messtechnisch erfassbaren Aktivitätssignals P in ein nahezu objektiv belegtes P_F. Die Matrizen müssen derart strukturiert sein, dass eine Wirkungs-orientierte Gewichtung der parallel zum Evaluierungspfad quantitativ erfassten Ereignisvektoren erfolgen kann.

Zum Zeitpunkt $t = t_n$ wird rechnerisch eine Koppelung der Ereignisvektoren mit den Wichtungsmatrizen durchgeführt, deren Ergebnis das *Regulationsaktional* der betrachteten Regulationssequenz *n* ist.

$$P_F(t_n) \;=\; \left[\underline{\underline{L}}_{\Psi}(t_n)\cdot\underline{\Psi}(t_n)\right]\cdot\left[\underline{\underline{L}}_{\dot{E}}(t_n)\cdot\underline{\dot{E}}(t_n)\right] \tag{5.2}$$

5.2.4 Grundlagen zur Formulierung des mathematischen Ansatzes

Die praxisorientierte Basis des mathematischen Ansatzes beruht auf selbst gemachten Beobachtungen auch über das eigene Verhalten im Flugbetrieb mit Transport- und Verkehrsflugzeugen. Weiterhin fließen Erkenntnisse über das Agieren von Cockpitbesatzungen unter hoher Arbeitsbelastung ein. Dabei handelt es sich hauptsächlich um die Beaufschlagung eines Arbeitssystems mit Situationen, die mit künstlicher Bedrohung belegt sind und deren Bewältigung üblicherweise in Flugsimulatoren trainiert wird.

Der mathematisch abzubildende Gegenstand soll hier der Verlauf des vorwiegend rationalen Wirkens von Piloten sein, welches in Abhängigkeit ihrer eigenen Systemzustände steht. Dabei gilt es entsprechende mathematische Funktionen zu formulieren, die wesentliche „rückgekoppelte Aspekte“ der Systemdynamik nach Abbildung 3.6 darstellen können. Aufgrund der diskret verlaufenden Interiorisation unter limitierten Ressourcen bietet es sich an, als „funktionelles Gleichnis“ für die mathematische Modellierung, entsprechende Verfahren aus der Populationsökologie anzusetzen. Das Vorgehen geschieht in zwei Schritten: Zunächst wird in einem analytischen Ansatz die grundlegende Abbildungsform von Regulationsaktivitäten unter Systembeanspruchung gewählt (Kennlinie stationärer Nichtgleichgewichtszustände des Systems). Dabei handelt es sich um eine gebräuchliche Kennlinienform, wie sie üblicherweise zur Prozessmodellierung von natürlichen Systemen Anwendung findet [206a]. Es ist die analytische Lösung einer nichtlinearen Differentialgleichung, die sich zur Abbildung exponentiellen Wachstums unter Ressourcenbegrenzung eignet und erstmals von *VERHULST* zur Untersuchung von Populationsdynamiken eingeführt wurde [209].

Diese wird in einem zweiten Schritt in ihre entsprechende Rekursivform überführt. Damit wird dem Ansatz ein kybernetischer, zeitgerichteter und prozessualer Charakter verleihen („Dynamisierung“). Hiermit soll dann ein Zugang zur theoretischen Analyse von Regulationsdynamiken des Systems und zu den daraus abzuleitenden Formen seiner dynamischen Existenzen ermöglicht werden.

Für die Funktionsbeschreibung wird als makroskopische Prozessgröße die *Agilität* A_F einer Arbeitsperson eingeführt. Mathematisch stellt sie den Differentialquotienten aus der relativen Regulationsaktivität des Subsystems Mensch mit dem aktuellen Niveau an *mentaler Systemanstrengung* dar. Sie drückt die psychophysische Beweglichkeit eines Mitglieds der Cockpitcrew aus, ein verändertes Maß an dosierter Regulationsaktivität zielgerichtet in seine Umgebung einzubringen und wirksam werden zu lassen. Aus einer externen Perspektive ist

sie zu interpretieren als das Änderungsmaß einer Gesamtheit von vornehmlich volitiven, emotionalen und kognitiven Prozessen, die das Vermögen des Subsystems Mensch anzeigen, mit seiner Umgebung zu kommunizieren.

Zunächst wird die relative Regulationsaktivität als subjektiv determinierte Größe aus dem Quotienten von aktuell wirksamer zu maximal möglich einzubringender Aktivität[119] für die Regulation von Betriebssituationen bestimmt. Als Indikator für die Regulationsaktivität wird dazu das Regulationsaktional aus Gleichung (5.2) eingeführt. Die relative Regulationsaktivität erhält man aus:

$$p_F = \frac{P_F}{P_{F,\max}} \tag{5.3}$$

Zusammen mit der prozessgebundenen Fließzustandsgröße I_F aus Gleichung (4.17), folgt für die Systemagilität unter Konstanz anderer Abhängigkeiten in erster Näherung:

$$A_F := \frac{dp_F}{dI_F} \tag{5.4}$$

Zur Abbildung des Systemverhaltens unter begrenztem Leistungsvermögen soll die mathematische Beschreibung einen Funktionsparameter enthalten, der es ermöglicht die Grundform des Regulationsverlaufes unter Belastung abzubilden. Dieser soll proportional zur bereits herrschenden relativen Regulationsaktivität und proportional zum noch zur Verfügung stehenden „Spielraum“ an relativer Regulationsaktivität sein. Für die Veränderung der Systemvariablen p_F wird die folgende nichtlineare Kennlinie aufgestellt [210]:

$$A_F = \frac{dp_F}{dI_F} = p'_F = \alpha \cdot p_F - \beta \cdot p_F^2 \tag{5.5}$$

Gleichung (5.5) wird als Veränderungsfunktion bezeichnet. Darin bezeichnet α einen kontrollierenden Proportionalitäts- und β einen Dämpfungsparameter. Die Funktionsform entspricht im Ansatz grob den von *COLQUHOUN* postulierten Relationen[120] zwischen menschlicher Anstrengung und Leistung [211].

Gleichung (5.5) muss als zentrales theoretisches Konstruktelement betrachtet werden. Dem Funktionsverlauf jenseits des Kurvenmaximums hängt, wie später ersichtlich wird, eine einschränkende Note an (siehe auch [27f]).

Die Agilität der Arbeitsperson ist gering beim Vorhandensein von gehaltsarmen Interiorisationsströmen und / oder bei spärlich ausgebildeter psychophysischer Affinität, die als Konstellation ein unbeträchtliches Niveau an *mentaler Systemanstrengung* induzieren. Das System befindet sich dann in einem Fließzustand mit lethargischem Charakter. Bei An-

[119] Letztere bezeichnet den größten zu erreichenden physischen Einsatz eines betrachteten Individuums, den es aufgrund seiner Handlungskompetenz im ausgeruhten Zustand in der Lage ist in das Geschehen einzubringen.

[120] Begriffe Anstrengung und Leistung wurden dort allerdings nicht weit reichend genug spezifiziert.

näherung an die maximale Ausschöpfbarkeit seiner Regulationskapazität nimmt die Systemagilität infolge Saturation ab.

In Abbildung 5.4 sind der Regulationsfunktion aus der Veränderungsfunktion hypothetisch Bewusstseinslagen, psychische Anspannungszustände und generell zu erwartende Eigenschaften des Subsystems Mensch gemäß Tabelle 5.1 zugeordnet worden.

Zuordnungsnummer in Abb. 5.4	psychische Anspannungszustände	zu erwartende Bewusstseinslagen	zu erwartendes makroskopisches Verhalten
1	Schläfrigkeit	Teilweise Aufmerksamkeits- und Bewusstseinsverlust	Unkoordiniert, verzögerte Reaktionen; gestörte Zeitsequenzen bei Geschicklichkeitsleistungen
2	Entspannte Wachheit	„Wandernde“ Aufmerksamkeit	Gute Routinereaktionen; schöpferische Leistung
3	Wache Aufmerksamkeit	Selektive Aufmerksamkeit, Erwartung und Antizipation, Konzentration	Gut organisiert; optimales Leistungsvermögen
4	Starke Gefühle, Erregung und Spannung	Eingeengtes Bewusstsein, Aufmerksamkeitsspaltung, Konfusion	z. T. desorganisiert; Mangel an Kontrolle

Tab. 5.1: **Zuordnung psychischer Aspekte nach [27g] zum aufgestellten Verlauf der Regulationsfunktion in Abb. 5.4**

Die Illustration zeigt die analytische Lösung[121] der Gleichung (5.5). Die Kennlinie stellt den aus der flugbetrieblichen Praxis abgeleiteten Grundverlauf der relativen Regulationsaktivität einer Arbeitsperson im Cockpit unter Arbeitsbelastung dar. Die Aktivität des Subsystems wird, ausgehend von einem Anfangszustand p_{F_0} (Arbeitspunkt als mittleres Regulationsniveau), über der Ausprägung der mentalen Systemanstrengung betrachtet.

Die Regulationsaktivität zur Beeinflussung bzw. Kontrolle und damit zum Schutz des Arbeitssystems kann als Gesamtheit antriebsmittelbarer Handlungen und damit deren Umfang als Tätigkeit verstanden werden. Ihr Ausprägungsverlauf über I_F ist als Fließzustandsfunktion vornehmlich abhängig von dem aktuellen Strom an Interiorisationsgrößen unter Ressourcenbegrenzung. Form gestaltend wirken auch Charakter- und Leistungsmerkmale des Besatzungsmitglieds, die mit Hilfe von Modulationsparametern faktoriell Einzug in die mathematische Beschreibung finden. Ebenso ist es möglich den Schwund an psychophysischen Leis-

[121] Der Funktionsverlauf besitzt aufgrund seines analytischen Ursprungs hier einen „sanftmütigen“ Charakter. Der Infinitesimalansatz sorgt für stetiges Verhalten bei Zustandsänderungen, welches nur durch eine ideale unendlich schnelle Kommunikationsgeschwindigkeit zwischen System und seiner Umgebung erreicht werden könnte.

tungsvoraussetzungen mathematisch über einen anzupassenden Quotienten zu berücksichtigen.

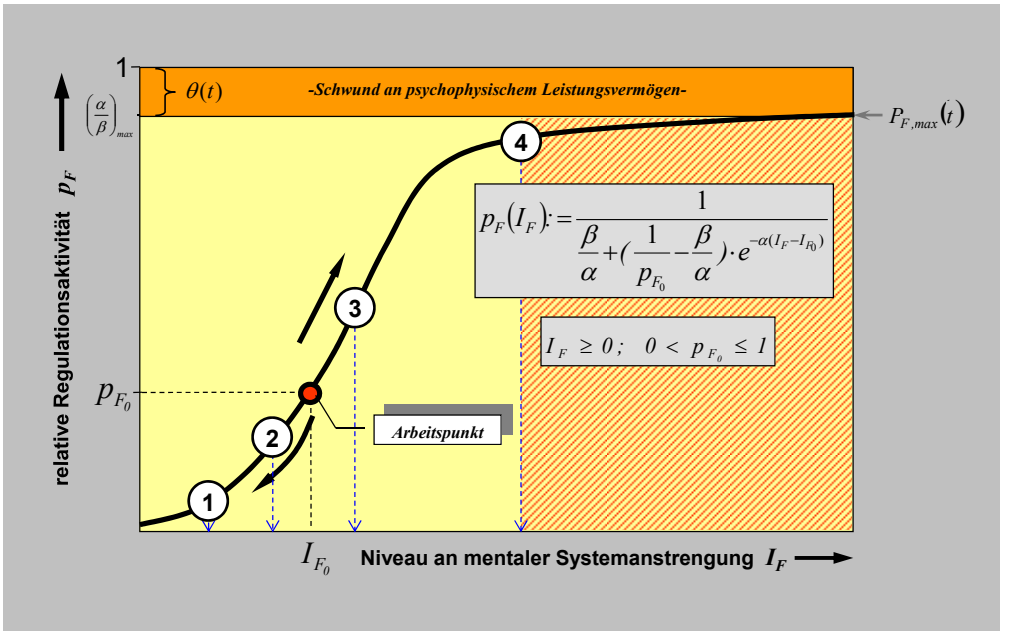


Abb. 5.4: **Relative Regulationsaktivität als Funktion der mentalen Systemanstrengung (Regulations- bzw. Veränderungsfkt.)**

5.2.5 Ein diskretes Konstrukt für die Abbildung der Modalität der Regulationsgenese

Zur Ableitung von Daseinsformen autopoiesischer Systeme aus absichtsbelegten Aktivitätsbeschreibungen heraus bedarf es der Kenntnis momentaner Regulationsabfolgen. Hier wird davon ausgegangen, dass die Dynamik der Handlungsaktivitätsgenese die Organisationsform des Systems reflektiert. Die Kennzeichnung dieser Prozesse kann mathematisch über rekursive Ansätze erfolgen. Unter Beibehaltung des Grundkonsenses von exponentiellem Wachstum mit Sättigung, werden die nichtlinearen Kennlinienscharen (in der Art der in Abb. 5.4 gezeigten) mit Hilfe eines Entwicklungsalgorithmus (Euler-Cauchy-Verfahren) „dynamisiert“. Dabei ist die Einzelschrittfolge der Genese makroskopischer Systemaktivität (jeweils ausgehend von Arbeitspunkten) in Abhängigkeit von der Dynamik der mentalen Systemanstrengung zu setzen. Um Aussagen zur Modalität des Systemverhaltens machen zu können, muss die endliche Kommunikationsgeschwindigkeit der Arbeitsperson mit ihrer Umgebung Berücksichtigung finden. Dazu wird der Kern des mathematisch zu beschreibenden Regulationsprozesses in diskreter Form gemäß Abbildung 5.5 beschrieben.

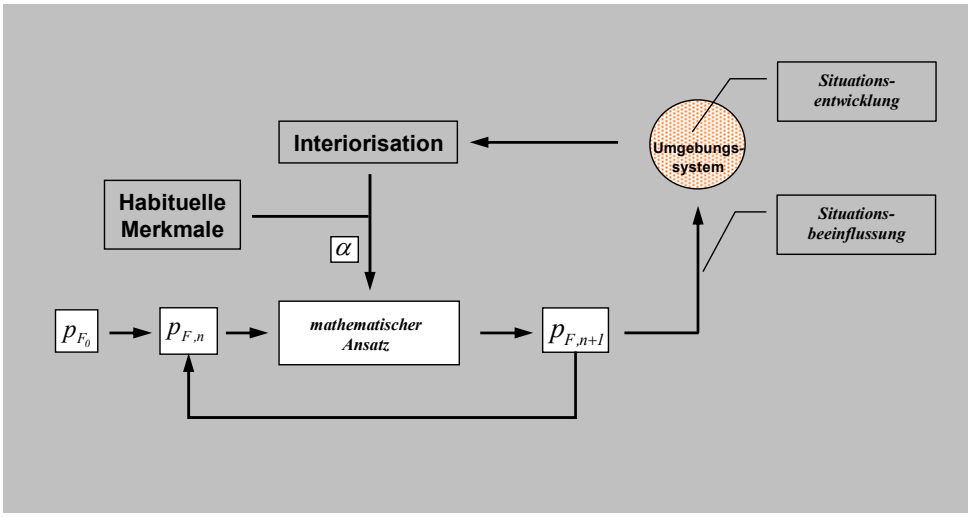


Abb. 5.5: **Rückkoppelungsprozess des Subsystems Arbeitsperson**

Unter Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung folgt mit

$$p'_F \approx \frac{\Delta p_F}{\Delta I_F} + O\left(\Delta I_F^2\right) \tag{5.6}$$

die diskretisierte Form von Gleichung (5.5) unter asymmetrischer Zeitausrichtung ins Futur:

$$p_{F,n+1} = p_{F,n} + \left[\phi \cdot p_{F,n} \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{\phi} p_{F,n}\right)\right] \cdot \Delta I_F \tag{5.7}$$

Nach [210] wird die numerische Schrittweite eingeführt:

$$\Delta I_F \coloneqq \frac{\partial I_F}{\partial t} \cdot \Delta t + O\left(\Delta t^2\right) \quad \text{mit:} \quad \Delta t = \begin{cases} \tau_{(I)} : & 0 \le t \le \tau_{(I)} \\ 0 \quad : & \tau_{(I)} < t \le \tau_{(E)} \end{cases} \tag{5.8}$$

In Gleichung (5.8) bedeutet $\frac{\partial I_F}{\partial t}$ die Änderung der *mentalen Systemanstrengung*. Diese vom Individuum selbst generierte Variable steht in Relation zu äußeren Betriebs- und inneren Systembedingungen. Ihre Ausprägung resultiert neben der empfundenen Schwierigkeit der Anforderungsbewältigung im Wesentlichen aus dem subjektiven Einschätzungsvermögen einer objektiven Bedrohung. Sie gründet sich somit auf wahrgenommene Unterscheidungen von Merkmalen der Umgebung und trägt u. a. Individualaspekte der aktuellen Wachsamkeit sowie der *kognitiven Flexibilität*[122]. Diese Relativgröße kann als Maß an geistiger

[122] Konstrukt aus der amerikanischen Instruktionspsychologie: Interpretiert als Vermögen der Adaption und Assoziation von Wissen auf veränderte komplexe Aufgabenfelder [212].

Eindringlichkeitsänderung der Interiorisation verstanden werden. Im mathematischen Konstrukt wirkt der Differentialquotient als eine Steuergrößenkomponente und reflektiert Aspekte der Systembeanspruchungsänderungen. Er soll im Weiteren als *Interiorisationsoperand* bezeichnet werden.

Die Modulation der Basisregulationsfunktion (Gl. (5.7)) aufgrund entsprechend aktueller Lebens- und Betriebskonstellationen erfolgt im mathematischen Sinne durch die Auswahl einer passenden Funktion aus dem Inventar an Regulationskennlinien mit Hilfe eines Kontrollparameters, der wie folgt vereinbar wird:

$$\alpha \;:=\; \phi \cdot \Delta I_F = \;\phi \cdot \frac{\partial I_F}{\partial t} \cdot \Delta t \tag{5.9}$$

Ausgehend von einem aktuellen Arbeitspunkt im Prozess der Aufgabenbewältigung steuert α die „Schnelligkeit" des Erreichens eines neuen Niveaus an (relativer) Regulationsaktivität. Die Ausprägung des Kontrollparameters beeinflusst die Steilheit des Funktionsverlaufs bzw. der Annäherung an eine vom Individuum selbst gesetzte Zielvorgabe an Regulationsaktivität. Die Kontrollgröße α wächst in erster Näherung mit dem Grad an Systembelastung. Sie ist direkt proportional zur Dauer aktueller Regulationssequenzen und zu Leistungs- und Charaktermerkmalen der Arbeitsperson, die in den Faktor ϕ eingehen. Damit vereint α wesentliche Elemente der *Menschlichen Zuverlässigkeit*. Dies macht eine spätere detaillierte Betrachtung von Modulationskomponenten erforderlich.

Ein abgesenktes bzw. gewünschtes Niveau an Regulationsaktivität kann im Ansatz ebenso berücksichtigt werden. Im mathematischen Sinne wird dies indirekt durch einen Dämpfungsparameter dargestellt, der analog zu Gl. (5.9) wie folgt vereinbart wird:

$$\beta \;:=\; \lambda \cdot \Delta I_F = \;\lambda \cdot \frac{\partial I_F}{\partial t} \cdot \Delta t \tag{5.10}$$

Damit wird aus Gl. (5.7):

$$p_{F,n+1} = p_{F,n} + \alpha \cdot p_{F,n} - \beta \cdot p_{F,n}^2 \tag{5.11}$$

In Gl. (5.11) geht α einzeln sowohl als Kontrollparameter als auch gleichzeitig über eine Quotientenbildung mit β als Vorgabegröße der intendierten Regulationsaktivität ein. Hier gilt es aus mathematischer Sicht zwei Fälle zu unterscheiden: Einerseits legt das Verhältnis von α / β bzw. ϕ / λ das angesteuerte Regulationsniveau fest, welches durch mentale Systemanstrengung geordnet erreicht werden soll (Ziel). Andererseits ist es möglich über die Quotientenbildung ein allseitig abgesenktes Regulationskapazitätsniveau des Systems zu reflektieren, welches phänomenologisch die maximal mögliche wirkungsgerichtete Aktivität $P_{F,\max}$ einer spezifisch betrachteten Arbeitsperson[123] abbildet (siehe Abbildung 5.4). Der kor-

[123] Diese Relation kann qualitativ durch praktische berufsspezifische Beobachtungen bestätigt werden. Eine weiter reichende Interpretation des Begriffs Regulationskapazität ist Anmerkung A5.3 zu entnehmen.

respondierende Schwund an psychophysischem Leistungsvermögen soll als Relativgröße beschrieben werden mit:

$$\theta(t) = 1 - \left(\frac{\phi}{\lambda}\right)_{max} = 1 - \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)_{max} \tag{5.12}$$

Durch Gleichung (5.12) wird ein makroskopisch determinierter Aspekt von Systemermüdung ausgedrückt. Mikroskopisch determinierte Phänomene von Systemalterung sind sowohl explizit als auch implizit in der Ausprägung von α enthalten. Der mathematische Ansatz kann damit eine Systemdegradierung berücksichtigen, die sich i. d. R. sowohl im Arbeitsvollzug als auch im Ergebnis widerspiegelt.

5.2.6 Zur Anpassung der Regulationsfunktionen an individuelle Wesensmerkmale

Die Form und der Charakter der Regulationsfunktionsschar sind abhängig von der Art und Weise des Umgangs mit Arbeitssituationen. Das individuelle Inventar an Strategien zur Aufgabenbewältigung ist u. a. wiederum an spezifische Charakter – und Leistungsmerkmale der jeweiligen Arbeitsperson gebunden. Aufgrund von deren natürlicher Vielfalt und den unterschiedlichen Dimensionen anderer, die aktuelle Leistungsdisposition beeinflussender Aspekte können in den mathematischen Ansatz zunächst nur Ausrichtungstendenzen zu Eigenschaftsstrukturen fraktal eingearbeitet werden [213]. Diese werden erfahrungsgeleitet so gewählt, dass einige berufsspezifisch relevant erscheinende Aspekte der *Menschlichen Zuverlässigkeit* erfasst werden können. Im Folgenden wird die Argumentation für eine quantitative Belegung des in Gl. (5.9) enthaltenen Faktors ϕ und der Zeitdauer $\tau_{(I)}$ von Interiorisationssequenzen bereitgestellt.

Handlungsregulationsprozesse unterliegen der Systemselbstreferenz (siehe Kapitel 3), die sich hauptsächlich in emotionalen Befindlichkeiten ausdrückt. Emotionen[124] bilden sich aus Relationen individuumsspezifischer Strukturkomponenten mit deren Ausprägungen und dynamischem Charakter. In Anlehnung an *HILLE* werden Letztere als Modulationsgrößen bezeichnet [159a]. Sie wirken regulierend in zirkulärer Art besonders auf die Modalität von Prozessverläufen der Interiorisation ein. Dabei wurden als besonders relevante Einflüsse identifiziert: die *Aktiviertheit* des Systems als Zustandsvariable, die *Selektionsschwelle*, der *Auflösungsgrad* und die *Abtastrate* als Prozesskenngrößen.

Die *Aktiviertheit* des Systems (siehe Abschnitt 5.2.2) resultiert im Wesentlichen aus der Kombination der Situationsentwicklung in Verbindung mit Persönlichkeitsveranlagungen. Das Aktiviertheitsgrundniveau eines Arbeitszyklus unterliegt erlernten, rationalisierten und vorwegnehmenden Anstrengungsregulationen [27h].

Über die *Selektionsschwelle* wählt das System ein handlungsleitendes Motiv aus. Dies geschieht über Kriterien der Wichtigkeit und der Dringlichkeit aus Bedürfnissen generierter Motive sowie die selbst eingeschätzte Fähigkeit zur tatsächlichen Befriedigung eines Bedürfnis-

[124] „… Eine Emotion ist dadurch gekennzeichnet, dass Prozesse mit einer bestimmten Schnelligkeit (vgl. Aktiviertheit), einer bestimmten Nachhaltigkeit (vgl. Selektionsschwelle), einer bestimmten Genauigkeit (vgl. Auflösungsgrad) und einer bestimmten Aufmerksamkeit (vgl. Abtastrate) ablaufen. …“ [159a].

ses (eigene Kompetenzeinschätzung). Die Selektionsschwelle berücksichtigt Wertigkeiten von Handlungstendenzen und ist somit abhängig von der Ausprägung des individuellen Inventars an operationellen Abbildungssystemen. Ihre Ausprägung kann als ein wesentliches Stabilitätsmaß der Zielorientierung bzw. der Regulationsnachhaltigkeit gesehen werden. Erkennbare Konfusionen beim Handlungsvollzug können ggf. die Selektionsschwelle gegen Null tendieren lassen, wie z. B. die in Abschnitt 4.5 genannten Unfallszenarien unheilvoll bestätigen. Entsprechend den Ausführungen in Anhang A5.4 lässt sich auch hierüber das Phänomen des Handlungsversäumnisses in Anlehnung an *HACKER* anschaulich darstellen [27i].

Der *Auflösungsgrad* drückt zum einen die Feinheit der Eintragsaufnahme sowie der Bedeutungsgenerierung in der ersten Interiorisationsstufe aus. Damit steht er für den Grad an Genauigkeit der generierten *aktuellen Information* (Abbildung 4.6). Zum anderen beeinflusst er die Güte des Strukturaufbaus vom Interiorisationsstrom in der zweiten Interiorisationsstufe. Dies geschieht mit einer der Wichtigkeit des Bedürfnisses proportionaler Sorgfalt. Bei zunehmender Dringlichkeit einer Bedürfnisbefriedigung nimmt der Grad an Genauigkeit hinsichtlich der Handlungsgenerierung und -ausführung ab.

Die auf die Umwelt gerichtete Aufmerksamkeit bestimmt die Höhe der *Abtastrate*. Dabei handelt es sich um die Impulsfolgefrequenz der Situationsbildauffrischung. Sie steht im wechselseitigen Verhältnis mit der Aufmerksamkeit der Motiverfüllung. Die Abtastrate steht für Ausmaß und Güte der Systemgrenzenkoppelung zur Umgebung. Ihre Ausprägung ist u. a. abhängig von der Interiorisationssequenzdauer $\tau_{(I)}$, vom individuellen Kenntnissystem bzw. vom OAS-Inventar, dem Vigilanzverhalten und der augenblicklichen Zustandsangst (Furcht) des Subsystems. Einflüsse der Basisemotion Furcht werden später im Laufe dieses Abschnitts näher erläutert.

Die Struktur der Zusammensetzung oben genannter Modulationsgrößen und deren Relationen[125] können als Kern der Basisemotion *Furcht* in qualitativer Form Abbildung 5.6 entnommen werden. Entsprechend eines Konstruktes von *LEVENTHAL* [214] ist das Emotionsgeschehen widerspruchsfrei in den Prozessstufen der Interiorisation als fest verankert (Abbildung 4.6) zu sehen. Dabei ist die Bedeutungsgenerierung in der Komparatorstufe primär mit der Emotionsentstehung verknüpft. In der 2. Interiorisationsstufe ist die Wandlung von Erstmaligkeit in Bestätigung mit emotionalen Reaktionen verschmolzen.

Diese können in Abhängigkeit eines bewertenden Vergleichs zwischen intendierten - und geforderten Aktivitätsmustern den Strukturaufbau des Interiorisationsstroms unbewusst wirkend begleiten oder bewusst steuern.

[125] Vorschläge zu einer entsprechenden Arithmetisierung bieten u. a. Beiträge einer Forschungsgruppe um *DÖRNER* [159b].

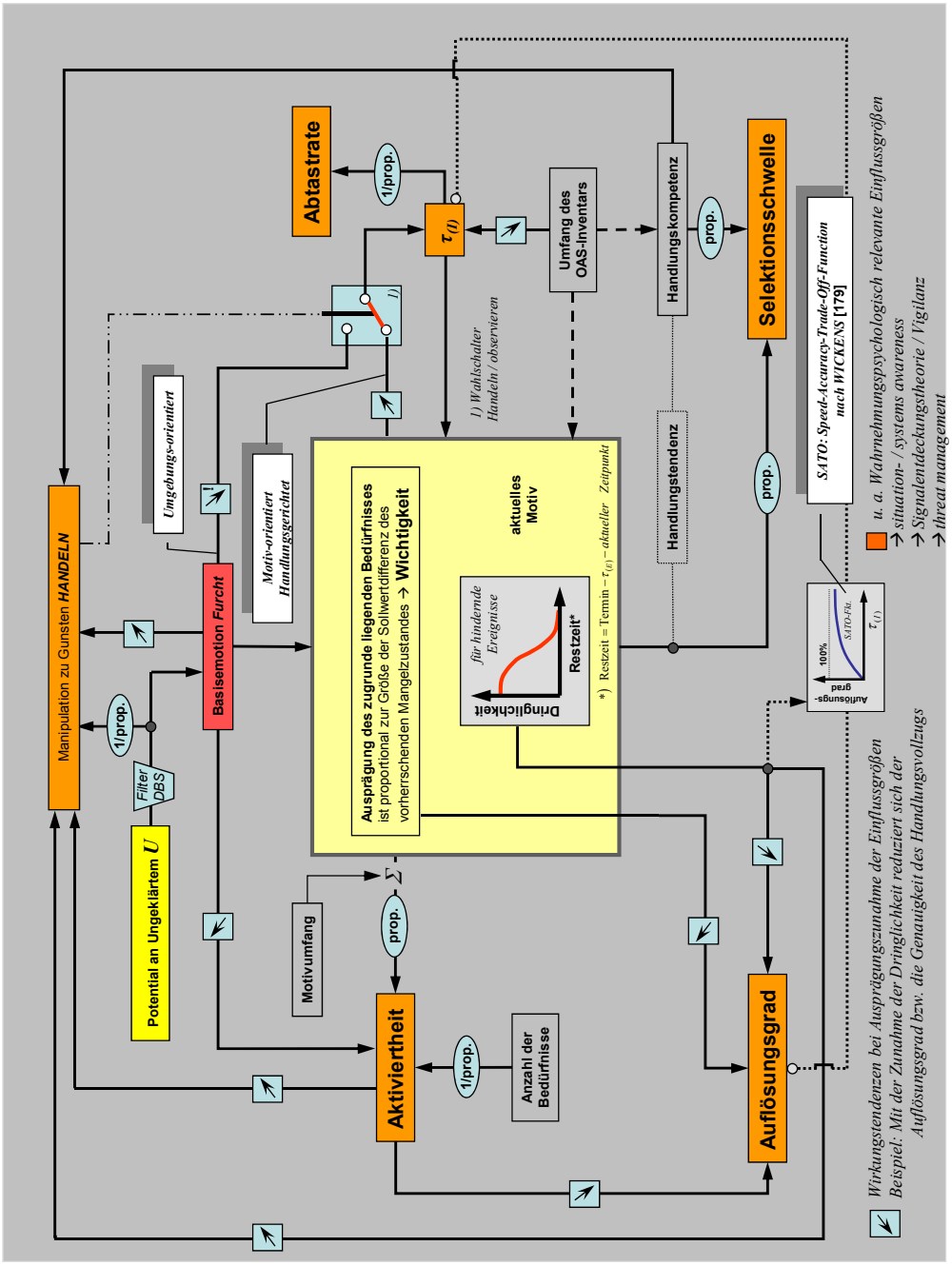


Abb. 5.6: **Zusammensetzung von Modulationsgrößen als Kern der Basisemotion *Furcht* bzw. *Angst***

Wie in Kapitel 3 beschrieben, ist das Emotionsgeschehen an eine Inanspruchnahme von vorwiegend energetischen und palliativen Ressourcen gebunden und trägt damit zur Produk-

tion von Interiorisationsentropie bei. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei großen Zieldiskrepanzen eines „missmatch“-Falls u. a. negative emotionale Zustände induziert werden [215]. Diese wirken als internale Zusatzbeanspruchungen bzw. als emotionale Selbstbeanspruchung und stören damit die Zuweisung struktureller Ressourcen. Reduktionen der Interiorisationsaktivität hinsichtlich pragmatischer Aufgabenbewältigungen wären die Folge, die sich besonders in der Verlängerung der Dauer von Verarbeitungszeiten niederschlagen. Als eine besondere Selbstbeanspruchungsgröße des Systems Mensch wird von *SCHÖN-PFLUG* die Emotion *Angst*[126] herausgestellt [216]. Aus der persönlichkeitsspezifischen Angstneigung und der habituellen Tendenz, unter Belastung das Anspruchsniveau zu senken, konnte eine praktisch orientierte Konstruktion zur Erfassung und Kategorisierung von stabilen, situations- und zeitgeneralisierten Verhaltensveranlagungen erarbeitet werden. Diese, auf Angst- Leistungs- bzw. Angst- Verhaltensrelationen basierenden *dispositionellen Bewältigungsstile* (*DBS*), unterscheiden subjektspezifische Formen der Inanspruchnahme von Leistungsvoraussetzungen für den Umgang mit Belastungssituationen. Dabei wurden drei *DBS*-Kategorien bestimmt, die in Tabelle 5.2 aufgeführt sind.

Persönlichkeits-veranlagungen	**Ausprägungen Kategorien**		
1) Eigenschaftsangst	hoch	niedrig	niedrig
1) Habituelle Anspruchs-niveausetzung	niedrig	niedrig	hoch
Furcht vor Misserfolg 2)	hoch	mittel	niedrig
Allgm. Selbstwirksamkeit 2)	niedrig	mittel	hoch
Dispositioneller Bewältigungsstil (DBS)	**ängstlich sensitiv**	**ängstlich defensiv**	**flexibel**

1) Diagnoseschema zur Ermittlung der aufgeführten Bewältigungsstile 2) korrespondierende Aspekte

Tab. 5.2: ***DBS*-Kategorien nach *WIELAND-ECKELMANN u. BÖSEL* [215a]**

Die verschiedenen dispositionellen Bewältigungsstile determinieren sich hauptsächlich durch das jeweils unterschiedlich verwendete Zeit- und Ressourcenmanagement zur Ausführungskontrolle der Selbstorganisation, um sich möglichst effizient der als unangenehm empfundenen und damit belastenden Emotion *Angst* zu entledigen. *WIELAND-ECKELMANN* weist darauf hin, dass die i. d. R. angewendeten Strategien nicht nur auf die Beseitigung interner Ist-Soll-Diskrepanzen gerichtet sind. Neben habituellen Veranlagungen des Individuums sind sie auch vom aktuellen *Beanspruchungserleben* und damit von der Abrufbarkeit bzw. vom

[126] Deren Relevanz zur Ausbildung des Weltbezugs eines Individuums wird in Anmerkung A2.22 deutlich unterstrichen.

Niveau existierender Ressourcen abhängig [124]. In Tabelle 5.3 sind hierzu relevante wissenschaftliche Erkenntnisse zusammengefasst.

Dispositioneller Bewältigungsstil	**ängstlich sensitiv**	**ängstlich defensiv**	**flexibel**
Formen vorwiegend eingesetzter internaler Strategien zur Selbstregulation	Fokussierung der Aufmerksamkeit (Vigilanzsteigerung)	Kognitive Vermeidung -Diskrepante Realitätseinschätzung-	Wirklichkeits-Angepasste Verhaltensregulierung
Form externaler Selbstregulation als Reaktion auf das aktuelle Beanspruchungserleben	Habituelle Anspruchsniveausenkung: Zeit- und situationsgeneralisierter Verarbeitungsstil über Neudefinition externer Anforderungen zur Verbesserung des Anforderungs- Kapazitätsverhältnisses (im Flugbetrieb ohne Sicherheitseinschränkungen kaum einsetzbar aufgrund externer Begrenzungen operationeller Aktionsräume). Annahme: Anspruchsniveausenkungen könnten mit Zuständen der Annäherung an die Trägerkapazität korrelieren. Ursache dazu: Mikroskopische Regimewechsel, die sich makroskopisch in kompensatorischen Verhaltensmustern äußern.		
Doppeltätigkeit: Bevorzugte Strategie der Aufgabenbearbeitung bei extern veranlasster, gerichteter Zielsetzung	Präferenz der vorgezogenen Lösung der Zweitaufgabe unabhängig von externen Zielvorgaben	Starke Determinierung der Bearbeitungsstrategie durch externe Zielvorgaben	Keine eindeutigen Präferenzen
Doppeltätigkeit: Bearbeitungsstrategien bei extern gerichteter Zielsetzung auf die Zweitaufgabe	Keine Aussage	Minderung der Regelleistung der Erstaufgabe → starke Abhängigkeit von externen Zielvorgaben	Keine Aussage
Leistungsaustauschprozesse bei der Doppelaufgabenbewältigung	Gewohnheitsmäßige Tendenz eher zu parallelen Aufgabenbewältigungen. Bei Interferenzen zwischen Einzelaufgaben → Effektivitätseinbußen. Extrem ermüdungsintensiv	Tendenz eher zu sequentieller Bearbeitung. (Strategie kann ggf. Anspruchsniveausenkung hervorrufen, um Effizienzeinbußen zu vermeiden)	Angepasst an konkrete Aufgabenanforderung

Tab. 5.3: **Strategien zur Bewältigung von Arbeitsanforderungen in Abhängigkeit *Dispositioneller Bewältigungsstile* - Tätigkeitsspezifizierte Überarbeitung nach [215b] -**

Die Bestimmung des tendenziellen Ausmaßes von aufgaben- und subjektinduzierten Anteilen an der psychischen Gesamtbeanspruchung bei der im Flugbetrieb relevanten Bewältigung von Mehrfachanforderungen ist generell über einen empirischen Zugang denkbar (ggf. über das in [217] geschilderte Verfahren). Über unterschiedliche Ausprägungen der Verhältnisse von aufgaben- zu personenbezogenen Ressourceneinsätzen, können weiterhin Aussagen zur internalen Effektivität von Belastungsbewältigungen getroffen werden [215c]. Dies erfolgt operationalisiert im Wesentlichen über die Indikatoren *energetische Aktiviertheit*[127] *(GA)* und *ängstliche Anspannung (HA)*. Die Höhe der Verhältnisbeträge steht qualitativ für die jeweilige internale Effektivität der Ressourcennutzung. Damit ist es möglich in Abhängigkeit von *DBS*-Kategorien generell Aussagen über das Spektrum möglicher psychomentaler

[127] „… Energetische Aktiviertheit GA ist, da eine hohe Leistung eine Verkürzung der Reaktionszeiten bedeutet, positiv mit der Leistung korreliert…“ [215c]

Funktions- und emotionaler Selbstbeanspruchungsanteile an der psychischen Gesamtbeanspruchung sowie zur Effektivität von Verhaltenspotentialen zu treffen [218]. Letztere können u. a. auch als prädikatierte Leistungsvoraussetzungen interpretiert werden.

Angaben zur Effektivität verschiedener Bewältigungsstile bzw. zur Ressourcennutzung können ggf. erste Hinweise zum Ermüdungsverlauf über der Expositionszeit von Arbeitsanforderungen geben. In der Vorbereitung einer theoretischen Analyse soll sich dazu der Definition des Interiorisationswirkungsgrades nach Gl. (4.15) bedient werden. Dieser kann helfen Äquivalenzen zwischen qualitativen Aussagen und quantitativen Wertebereichen zuzuordnen. Eine entsprechende Aufstellung ist Tabelle 5.4 zu entnehmen.

	Dispositioneller Bewältigungsstil		**ängstlich sensitiv**	**ängstlich defensiv**	**flexibel**
psychische Gesamtbeanspruchung	Tendenzielles Ausmaß **psychomentaler Funktionsbeanspruchung** bei der Bewältigung von Mehrfachanforderungen (aufgabeninduziert)	**Indikatoren** Energetische Aktiviertheit (GA)	gering	hoch	hoch
		Indikatoren Selbstsicherheit	gering	mittel	hoch
	Tendenzielles Ausmaß **emotionaler Selbstbeanspruchung** bei der Bewältigung von Mehrfachanforderungen (subjektinduziert)	**Indikatoren** Ängstliche Anspannung (HA)	hoch	mittel	gering
		Indikatoren Ärger	hoch	gering	gering
	(Internale) Effektivität der Ressourcennutzung im Bewältigungsprozess von Mehrfachanforderungen	Qualitative Aussage zum Verhaltenspotential über das Verhältnis GA/HA	→ eher uneffektiv $\frac{GA}{HA} < 1$	→ suboptimal $\frac{GA}{HA} \approx 1$	→ effektiv $\frac{GA}{HA} > 1$
		Interiorisationswirkungsgrad $\eta_{(I)}$ Gl. (4.15) (hypothetische Größenzuordnung)	$\eta_{(I)} < 0{,}5$	$\eta_{(I)} \approx 0{,}5 - 0{,}8$	$\eta_{(I)} > 0{,}8$

Tab. 5.4: **Anteile der psychischen Gesamtbeanspruchung in Abhängigkeit von personentypischen Strategien der Belastungsbewältigung und den daraus abgeleiteten Aussagen über die Effektivität der Ressourcennutzung. Darstellung der Interpretation empirischer Ergebnisse nach [215c] und [218].**

Wie im *DBS*-Konzept deutlich wird, nimmt die Emotion Furcht / Angst einen wesentlichen Einfluss auf die Art und Weise der Anforderungsbewältigung und muss daher als relevanter Einflussparameter auf Arbeitsleistung eines Individuums verstanden werden. Der folgende Diskurs stellt eine berufsspezifisch Verbindung zwischen wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen aus der Anthropotechnik und der im vorliegenden Beitrag gesetzten Aufgabe

her, über die Modalität der Regulationsgenese von Piloten im Arbeitsprozess Rückschlüsse auf die Limitierung menschlichen Leistungsvermögens ziehen zu können.

Wie in Abschnitt 4.5 beschrieben, werden im Fachgebiet der Flugregelung / Flugführung mathematische Ansätze zur Bedienermodellierung von dynamischem Pilotenverhalten eingesetzt [187]. Die Zielsetzung besteht hauptsächlich in der Entwicklung bzw. dem Einsatz von Kriterien für die Abstimmung von Regelstrecken (Flugzeug) mit Piloten-Steuerungsdynamiken und daraus abgeleiteten Gestaltungsmaßnahmen [219]. Allerdings weißt *DUDA* darauf hin, dass die verwendeten Modellierungen von Pilotenverhaltensmustern nur für spezielle, z. T. stereotype Flugaufgaben gelten können [183a]. In Vorbereitung zu Auslegungsanstrengungen von vornehmlich hochkomplexen Flugsteuerungssystemen wurde das Pilotenverhalten empirisch ermittelt. Dies geschieht i. d. R. über eine Parameteridentifizierung auf der Grundlage mathematischer Konstrukte und unter festgelegten Aufgabenprofilen bei bekannten Steuerungs- bzw. Flugeigenschaften eines Erprobungsträgers im Flugversuch.

Die ermittelten Modellierungsparameter zur Abbildung des Pilotenverhaltens werden dann u. a. in Übertragungsfunktionen eingebunden. Als wesentliche Einflussgrößen werden im Allgemeinen betrachtet: die Pilotenverstärkung eines Steuerungseingabesignals und die Zeitkonstanten für Vorhalt (lead), Verzögerung (lag), äquivalente Zeitverzögerung (processing time) sowie neuromuskuläre Zeitverzögerungen.

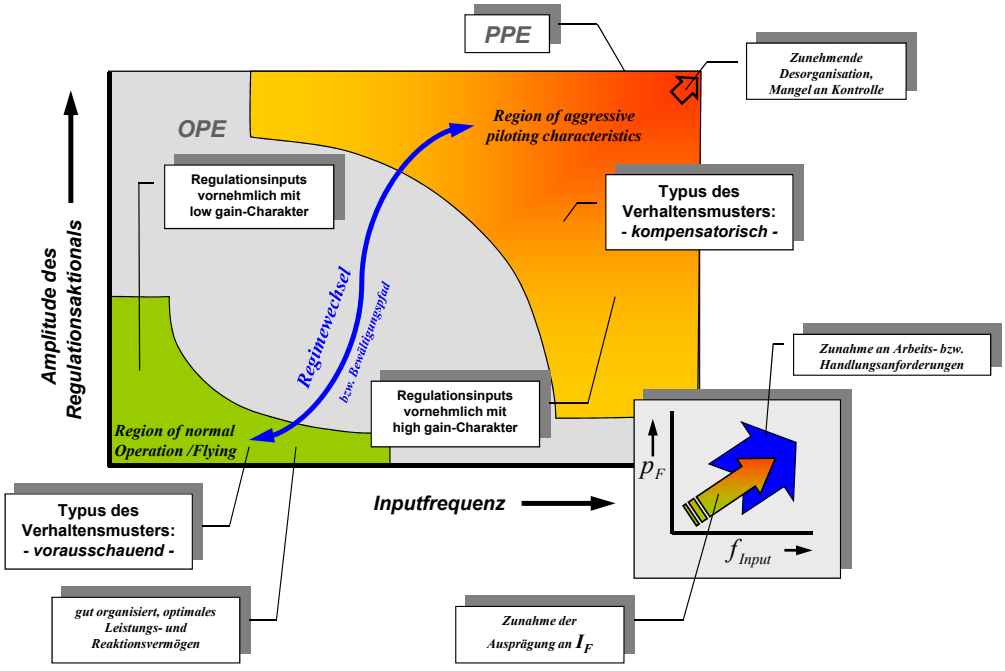


Abb. 5.7: **Darstellung von Verhaltenstendenzen als Amplituden-Frequenz Relation der Betätigungsaktivität in Anlehnung an [221]**

Erfahrungen aus der Flugversuchstechnik haben gezeigt, dass es möglich ist, das Steuerungsverhalten von Piloten i. d. R. in zwei Hauptkategorien einzuordnen. Diese werden über die Verstärkung von Eingabegrößen (Amplitude und Frequenz als Ausprägungen von Hand-

habungsdaten) in das Flugzeugsystem charakterisiert. Es wird unterschieden zwischen *low-gain-* und *high-gain*-Charakter. Das Steuerverhalten trainierter Flugzeugführer in normalen Flugbetriebssituationen kann üblicherweise dem *low-gain-Modus* zugeordnet werden. Der *high-gain-Modus* korreliert üblicherweise mit kompensatorischen Steuerverhalten und tritt überwiegend bei der Bewältigung von Aufgaben mit hoher Genauigkeit und / oder unter hoher Bedrohung auf. *BRIEGER et al.* beschreibt die Zuordnung mit [220]: "… When tracking becomes necessary, i. e. an error signal exceeds a certain threshold prompting the pilot to close the control loop; pilots by nature adopt the lowest possible gain piloting technique, which is consistent with satisfactory task performance. However, when pilots experience stress, anxiety or fear they will assume a high gain control technique…"

Gemäß eigener Erfahrungen im Flugbetrieb können die geschilderten Effekte / Phänomene und daraus gewonnenen Ergebnisse als konsistent zum oben beschriebenen *DBS*-Ansatz gesehen werden [118]. Grundlegende Verhaltenstendenzen entsprechend der empirischen Ergebnisse aus „*PIO*- Versuchsreihen" sind in Abbildung 5.7 aufgeführt.

Wenn man die oben beobachteten Handhabungsweisen von Piloten auf die Art der generellen Bewältigung von Arbeitsanforderungen überträgt, ist eine deutliche Tendenz einer Abhängigkeit der Regulationsheftigkeit vornehmlich von der psychischen bzw. mentalen Gesamtbeanspruchung zu erkennen. Damit wird auch die Koppelung von Aufgabenerfüllung und Bedrohung sichtbar: Die Erfüllung so genannter *Tracking-Aufgaben* erfordert generell vom Piloten eine hohe Güte seiner Handlungen bzw. präziser ausgedrückt, eine hohe Genauigkeitsanforderung an den Handlungsvollzug, der im Flugbetrieb meist mit einer erhöhten Gefährdung des Arbeitssystems gekoppelt ist.

Wie von *WIELAND-ECKELMANN* gezeigt, korreliert das Niveau an energetischer Aktiviertheit (GA) in Abhängigkeit der *DBS*-Ausrichtung mit dem Grad dieser aufgabenspezifischen Anforderungen [215c]. Ebenso liegt für das Niveau an ängstlicher Anspannung (HA) und die mit den *DBS*-Kategorien korrespondierenden FM- Ausprägungen ein proportionaler Bezug zur Systemgefährdung vor. Daraus induziert sich ein subjektives Bedrohungserleben als Abbild emotionaler Selbstbeanspruchung. Letztere erhöht sich i. d. R. mit der Annäherung an den Erdboden, an die operationellen Betriebsgrenzen des Flugzeugs, mit erschwerenden operationellen Rahmenbedingungen und / oder mit einem selbst assoziierten möglichen Versagen des eigenen Regulationsvermögens. Letztere selbstwertrelevante Komponente soll besonders abhängig vom Ausbildungs- und Trainingsstand der Arbeitsperson gesehen werden. Es kann hier davon ausgegangen werden, dass dieser Aspekt in erster Näherung das eigene Wissen um Kompetenzmangel widerspiegelt. Die Ausprägung des selbstwertrelevanten Einflusses ist abhängig vom Maß an befürchteten unmittelbaren und mittelbaren existentiellen Konsequenzen.

Die Konfrontation der Piloten mit leistungsbezogenen und selbstwertrelevanten Situationen im Flugbetrieb tritt hauptsächlich in den Flugphasen Start, Abflug, Anflug und Landung und / oder in Verbindung mit nicht normalen Betriebserschwernissen (z. B. schwierige Wetterbedingungen, „Abnormals", „Emergencies" etc.; siehe auch Abb. 6.6) auf. Dies gilt ebenso für militärische Einsätze in Flugphasen der Zielverfolgung, des Präzisionsflugs im Flugverband oder der Luftbetankung.

Die objektive Systemgefährdung kann aus flugmechanischer Sicht vereinfacht mit Hilfe physikalisch messbarer Größen darstellt werden. Dies sind in erster Linie der Anstellwinkel des

Flugzeugs α_{ref} und die Bodenannäherungsgeschwindigkeit[128] (*ROD*) w in Abhängigkeit der Flughöhe H. Als erfahrungsgeleiteter Vorschlag zur Einschätzung einer flugzustandsspezifischen Systembedrohung (als individuelles Erleben) werden dazu in erster Näherung quadratische Zusammenhänge aufgestellt. Eine Überlagerung kann u. U. durch Superposition erfolgen. Dabei dient als Bezugsniveau der Zustand einer potentiellen fatalen Schädigung des Gesamtsystems $B(\alpha_{ref}; H; w) = 1$.

$$B(\alpha_{ref}) := \frac{-4 \cdot \alpha_{ref}^2 + 4 \cdot \alpha_{ref,\max} \cdot \alpha_{ref} + 1 - 2 \cdot \alpha_{ref,\max}}{1 - 2 \cdot \alpha_{ref,\max}} \tag{5.13}$$

$$B(H; w) := \frac{w^2}{w_{\max}^2} + \frac{b-1}{H_{\max} \cdot w_{\max}} \cdot H \cdot w \tag{5.14}$$

In Anlehnung an einen Vorschlag von *KNAUF* wäre es möglich einen Zugang zur Einschätzung von Wetterphänomenen auf die Systembedrohung zu erhalten [85a]. Als dritte Komponente hat die aktuelle Betriebsgüte des Flugzeuges einen entscheidenden Einfluss auf das Bedrohungserleben. Der technische Zustand eines Flugzeugs ist vornehmlich abhängig von der Qualität der Wartung und Instandhaltung. Das aktuelle Maß an Lufttüchtigkeit beeinflusst prägnant die anderen Gefährdungskomponenten.

Wie in Abbildung 5.6 gezeigt und in Tabelle 5.5 aufgeführt wirkt sich die Basisemotion *Furcht* i. d. R. direkt sowie indirekt über die Motivbildung auf die Modulationsgrößen aus.

Einflusstendenz der Emotion *Frucht* auf die Ausprägung der Modulationsgrößen	**Aktiviertheit**	**Abtastrate**	**Auflösungsgrad**	**Selektionsschwelle**
vornehmlich bei Umgebungsorientierung **Observierungsgerichtet**	↑	↑	↓	↓
vornehmlich bei Motivorientierung **Handlungsgerichtet**	↑	↓	↓	↑

Tab. 5.5: **Einflusstendenzen der Basisemotion *Furcht* auf Modulationsgrößen nach [159c]**

[128] Der Parameter b in Gleichung (5.14) stellt das relative Bedrohungsmaß an der Stelle $B(H_{max};w_{max})$ dar.

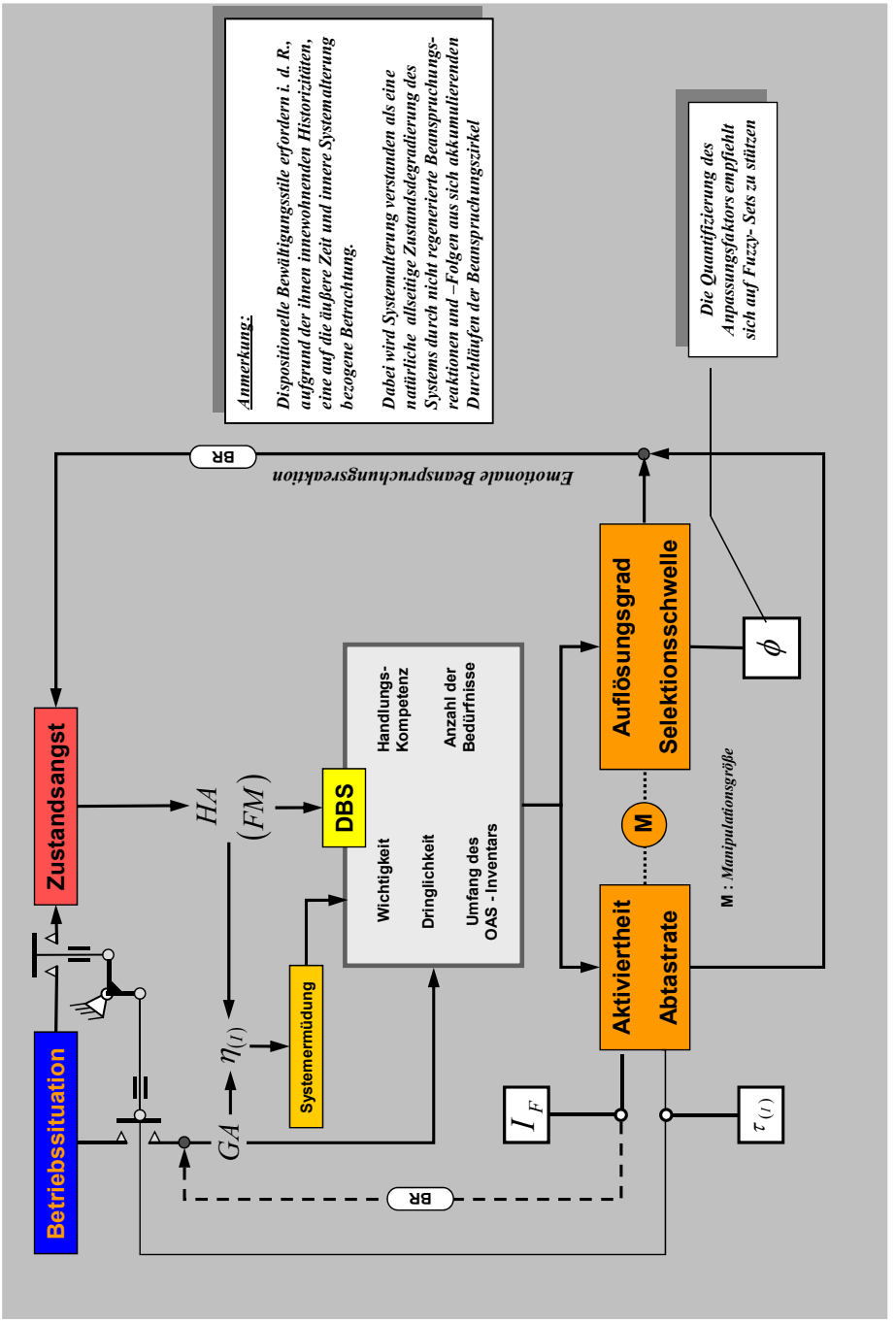


Abb. 5.8: **Darstellung des emotional geprägten Beanspruchungsreaktionszirkels der Interiorisation gemäß der Belastung - Beanspruchungskonzeption aus Abb. 3.6**

Im mathematischen Ansatz soll die vielfältige Verwobenheit emotionaler Einflüsse auf das Regulationsgeschehen in erster Näherung mit Hilfe der Modulationsgrößen aus Abbildung 5.6 erfasst werden. Dabei wird sich auf die Einarbeitung der oben als besonders relevant erkannten Basisemotion *Furcht* als einhüllende Einflussgröße beschränkt. Neben der jeweils separaten Berücksichtigung der *Aktiviertheit* (implizit über I_F) und der Interioriationszeitdauer $\tau_{(I)}$ und damit der *Abtastrate* können in dem mathematischen Ansatz die vorwiegend motivational geprägten Kenngrößen *Auflösungsgrad* und *Selektionsschwelle* in den Anpassungsfaktor ϕ eingebunden werden. Damit enthält Letzterer operationsrelevante Leistungs- bzw. Charakterausrichtungen des Individuums.

Wie in Abbildung 5.8 gezeigt, sind diese in den *DBS*-Kategorien berücksichtigt. Aus mathematischer Sicht wirkt der Anpassungsfaktor auf den Kontrollparameter α der Regulationsfunktion hinsichtlich der Konsequenzänderung (über die Steigung im Arbeitspunkt) für $\phi > 1$ verstärkend und für $0 < \phi < 1$ vermindernd.

Ein abnehmender Auflösungsgrad von Observationen bzw. eine abnehmende Gründlichkeit der Durchführung von Handlungsabläufen erfordern i. d. R. Nachbesserungen, die dann unter höherer Dringlichkeit bzw. geringerer Restzeit vollzogen werden müssen. Die Genauigkeit der Aufgabenausführung nimmt dadurch weiter ab. Im Zirkelschluss bedeutet dies eine Destabilisierung des Systemfließzustandes. Ebenso wirkt eine abnehmende Selektionsschwelle[129], die unkonzentriertes Arbeiten impliziert und die Zielorientierung degradiert. Damit gehen beide Modulationsgrößen umgekehrt proportional in die Beschreibung des Anpassungsfaktors ein. Den Vorschlag einer hypothetischen Zuordnung der Größenordnungen von $\phi > 0$ zeigt für drei *DBS*-Kategorien bei unterschiedlich ausgeprägten Handlungskompetenzen Tabelle 5.6.

Dispositioneller Bewältigungsstil	**ängstlich sensitiv**	**ängstlich defensiv**	**flexibel**
Tendenziell gering ausgeprägte Handlungskompetenz	$\phi >> 1$	$\phi << 1$	$\phi > 1$
Tendenziell hoch ausgeprägte Handlungskompetenz	$\phi \approx 1$	$\phi \leq 1$	$0{,}5 < \phi \leq 1$

Tab. 5.6: **Hypothetische Zuordnung von Größenordnungen des Anpassungsfaktors ϕ für unterschiedliche *DBS*-Kategorien**

Die Basisemotion *Ärger* kann ebenso über die Kernstruktur der Modulationsgrößen beschrieben werden. Sie unterscheidet sich im Wesentlichen von der *Furcht* durch ein niedrige-

[129] Der Einfluss einer überhöhten Selektionsschwelle auf die Regulation von Flugbetriebsbedingungen wird in Anmerkung A5.5 aufgezeigt. Dieser Fall kann durch den mathematischen Ansatz nicht abgebildet werden.

res Maß an Manipulationsvermögen aufgrund eines eingeschränkten Handlungsspielraums [159b]. Ärger kann augenscheinlich als Selbstbeanspruchung angesehen werden. Er ist Ressourcen raubend und trägt damit entsprechend zur Systemermüdung bei. Seine Wirkungsrichtung hinsichtlich der Modulationsgrößen entspricht derjenigen der *Furcht*. Der Betrag seiner Ausprägung ist allerdings geringer, im Allgemeinen jedoch zeitlich länger andauernd.

Eine wesentliche Variable der Systemzustandscharakteristik ist die benötigte Zeitdauer zum Vollzug einzelner Interiorisationssequenzen. Sie beeinflusst die *Abtastrate* bzw. das zeitliche Antwortverhalten des Systems auf Einwirkungen von Arbeits- bzw. Flugbetriebssituationen und damit die System- Umgebungs- Kommunikationsgeschwindigkeit. Wie in Abbildung 5.6 gezeigt ist $\tau_{(I)}$ im Modus mit vornehmlich observierendem Charakter umgekehrt proportional zur Ausprägung der Zustandsangst. Während des motivorientierten Regulationsprozesses steigt $\tau_{(I)}$ mit der Ausprägung von Arbeitsanforderungen. Wie in Abschnitt 4.5 angedeutet könnte als vertretbar angesehen werden, zur Quantifizierung der Interiorisationszeit in erster Näherung das *MERKEL-HICKSCHE* Gesetz anzusetzen [186]. Diese vornehmlich aus psychophysikalischen Erkenntnissen gewonnene Rechenvorschrift beschreibt ausgehend von einer Einfachreaktionszeit von ca. 0,2 s annähernd die Abhängigkeit der Reizidentifizierungsdauer[130] von der Anzahl an Entscheidungsalternativen N detektierter Reize bei gleicher Auftrittswahrscheinlichkeit. Die mathematische Funktion ist somit abhängig von der Situationskomplexität bei konstant angesetztem systeminhärentem Signalinventar als Bezugsparameter.

Damit soll gelten:

$$\tau_{(I)}^{Näherung} \approx 0{,}235 - \tau_N + k_H \cdot ld\ (N) \quad \text{für} \quad N \geq 1 \tag{5.15}$$

Dabei ist k_H ein empirisch zu erfassender Anpassungsfaktor, der den aktuellen Systemzustand bei Informationszuwachs bzw. der Aufgabenkompliziertheit mit dem Anstieg der Anforderungskomplexität berücksichtigt. In Abbildung 5.9 ist näherungsweise der mittlere Verarbeitungszeitbedarf bei Antwort auf eines der N- Signale aufgeführt. Die Art der Reizdarbietung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Zeitdauer zur Beantwortung besonders bei der Bewältigung von Mehrfachaufgaben. Die überschlägige Auswertung empirischer Daten aus [215d] ergibt einen deutlichen Trend, dass eine taktile Reizsetzung ca. die 1,5- fache und eine visuelle ca. die 1,1-fache Beantwortungszeitdauer gegenüber einer auditiven Reizpräsentation erfordert.

[130] siehe Anmerkung A5.6

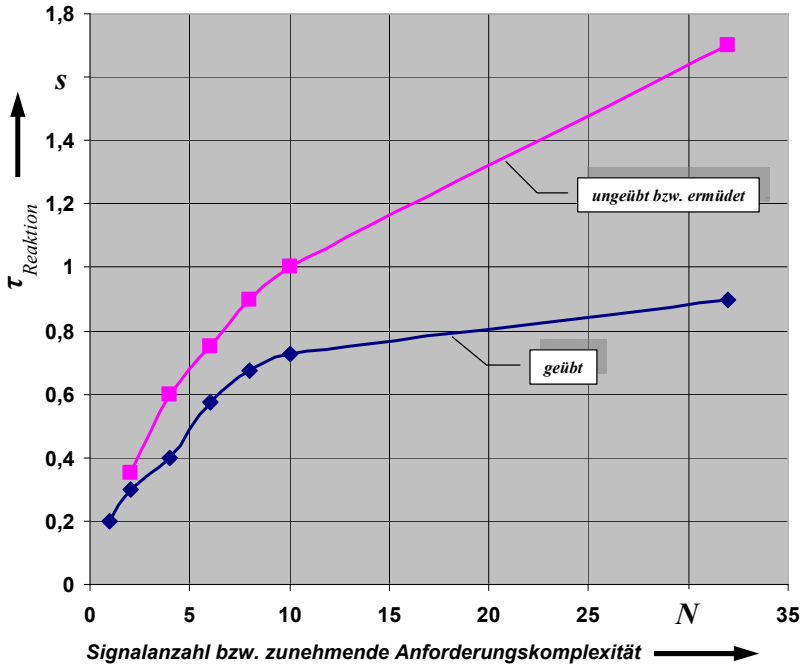


Abb. 5.9: **Mittlere Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Anforderungskomplexität – Werte nach [27b]**

Im Zuge der Erstellung des vorliegenden Beitrags wurden wissenschaftliche Erkundungen zur Erfassung von Beantwortungszeiten auf einen detektierten Reiz im realen Flugbetrieb durchgeführt [222]. Es zeigte sich, dass sich die durchgeführten Versuche in realer Umgebung nur zur groben Abschätzung von Größenordnungen eignen. Die Ergebnisse weichen z. T. im erheblichen Maße von den oben genannten Laborwerten ab (siehe Diskussionen in Anmerkung A5.7). Dennoch bilden sie aus heutiger Sicht eine relevante Grundlage, um die messtechnisch erforderlichen Abtastraten zukünftiger Datenaufzeichnungen bei weiterführenden empirischen Untersuchungen zu ermitteln. Somit könnten zunächst die folgenden Richtwerte[131] für die Minimaldauer einer Interiorisationssequenz angesetzt werden.

Vorausschauendes Verhalten[132]: $\tau_{(I)} > 0{,}5s$; Kompensatorisches Verhalten[133]: $\tau_{(I)} > 0{,}2s$.

[131] Eine Bestätigung der Größenordnungen wird als notwendig erachtet!

[132] …unter vornehmlich geringer mentaler Systemanstrengung

[133] …unter vornehmlich hoher mentaler Systemanstrengung

5.2.7 Berücksichtigung relevanter Veränderungen von Leistungsvoraussetzungen

Relevante Veränderungen der aktuellen psychophysischen Leistungsdisposition im äußeren Zeitverlauf sollen hier durch das Phänomen *Ermüdung* eingegrenzt gekennzeichnet sein. Diese reflektiert als Maß die Auswirkung der Inanspruchnahme systemimmanenter Ressourcen. Unter einem *Ermüdungsvorgang* ist ein, i. d. R. durch Erholung im nahen Zeithorizont reversibler Minderungsprozess des menschlichen Leistungsvermögens zu verstehen. Darunter fallen u. a. sowohl körperspezifische Funktionsbeeinträchtigungen von Sensoren und Rezeptoren als auch Veränderungen kognitiver und psychophysischer Leistungsvoraussetzungen bzw. der zeitlichen Verläufe ihrer Verfügbarkeit. Diese Verschlechterung von Systemeigenschaften kann sich besonders in mehrdimensionalen Degradierungen der Güte von Handlungsregulationscharakteristika bzw. von System-Umgebungsinteraktionen äußern. Das Ermüdungserleben ist i. d. R. durch eine subjektiv bewusst gewordene, mit negativer Tendenz belegte Veränderung des bioenergetischen, emotionalen, volitiven und damit motivationalen Empfindens (besonders des Anstrengungsbewusstseins) gekennzeichnet. Die daraus vom Individuum selbst abgeleitete und damit individualspezifische aktuelle Befindlichkeit wird hier mit *Müdigkeit* bezeichnet. Der *Ermüdungsgrad* hingegen soll einhüllend eine diagnostizierte Systemfließzustandverschlechterung bezeichnen, die sich im Wesentlichen in herunter gestuften Systemeigenschaften äußert. Wie in Abschnitt 4.5 (noch mit hypothetischem Charakter belegt) begründet resultieren diese mikroskopisch aus dem Ausmaß der Anhäufung an Interiorisations- und bioenergetisch belegter Entropie. Aus Gründen der Vollständigkeit sei an dieser Stelle angemerkt, dass dieses Konzept durchaus einer Ermüdungsinterpretation gerecht wird, die nach *LAURIG* als *beanspruchungsbezogene Systemgesamtermüdung* einzuordnen ist [224]. Makroskopisch lässt sich das Ermüdungsphänomen i. d. R. nur durch Organisationsveränderungen bzw. durch Effekte diagnostizieren, welche Systembeeinträchtigungen anzeigen. Diese sind an Veränderungen von Indikatoren gebunden, die in Form von physikalischen Größen und / oder erkennbaren Ausprägungsmustern von Fließzustands- bzw. Verhaltensmerkmalen auftreten können. Allerdings ist ein objektivierter, quantitativer Zugang zur Erfassung von Ermüdungsgraden bzw. deren Veränderungen im Zeitverlauf (Ermüdung) z. Zt. in der wissenschaftlich orientierten Literatur nur vereinzelt und diffus erkennbar, da sich hier die Empirie im Wesentlichen auf Befragungsmethoden stützt, deren Ergebnisse mit eher qualitativem Charakter Aussagen zur aktuellen individuellen Befindlichkeit liefern. Im Folgenden wird eine detaillierte Argumentation für eine quantitative Belegung des in Gl. (5.12) enthaltenen Degradierungsfaktors λ über phänomenologisch bestimmte Möglichkeiten zur Abschätzung von θ bereitgestellt, um der Relevanz des Sachverhalts möglichst umfassend gerecht werden zu können.

In Anlehnung an *BOKRANZ* soll die Systemgesamtermüdung ursachenorientiert kategorisiert werden: in biologische Ermüdung und in Arbeitsermüdung [225] sowie „antriebsbedingte Ermüdung“. Arbeitsermüdung umfasst zustandrelevante Reaktionen und Folgen[134] von Systemprozessen entsprechend durchlaufener Beanspruchungszirkel, welche in Abbildung 3.6 aufgezeigt sind. Dabei sollen arbeitsbedingte Veränderungen der dispositionellen Leistungsvoraussetzungen vereinfacht der Interiorisation und der Exteriorisation zugeordnet werden.

[134] nach *LEONTJEW* sind zu zuordnen: Beanspruchungsreaktionen im Kontext des Handlungsvollzugs - und Beanspruchungsfolgen im Zusammenhang von Tätigkeitsausführungen [123a].

So ist in erster Näherung der Handlungsvollzug die Ursache von vornehmlich physiologischer bzw. muskulärer Arbeitsermüdung. Hingegen sind gemäß dem vorliegenden Ansatz psychische Fehlbeanspruchungen weitgehend dem Prozess einer mangelhaften Interiorisation zuzuschreiben. *HACKER et al.* weisen darauf hin, dass psychisch beanspruchende Tätigkeiten muskuläre Anteile stets mit einbeziehen [188a]. Psychische Fehlbeanspruchungen äußern sich in psychischer Ermüdung und in ermüdungsähnlichen Zuständen.

Eine tendenzielle Aussage zum Progress individueller Systemermüdung könnte u. a. ansatzweise über die internale Effektivität der Ressourcennutzung bei der Bewältigung von Mehrfachanforderungen getroffen werden. Wie in Tabelle 5.4 in Verbindung mit Abbildung 5.8 aufgeführt kann über die Indikatorenverhältnisse von GA zu HA bei gleicher Aufgabenstellung davon ausgegangen werden, dass gemäß der *DBS*-Zuordnung eine eher ängstlich sensitiv veranlagte Arbeitsperson stärker ermüdet als eine mit flexiblem Bewältigungsstil.

Psychische Ermüdung bewirkt i. d. R.

- Anspruchsniveausenkung zum Zweck der Aufwandsminimierung
- Veränderungen im Entscheiden in inhaltlicher und zeitlicher Form
- Verlängerung und Streuungsvergrößerung von Entscheidungs- und Reaktionszeiten → wachsen mit der Kompliziertheit der Antwortableitung
- erschwert das Orientieren in der Umwelt und das Kontrollieren des Tätigkeitsvollzugs
- hinsichtlich sensorischer Systeme:
  1. Abnahme der Akkommodation (Akkommodationsbreite bis zu 1/3 schlechter)
  2. Vergröberung von Absolut- und Unterschiedsschwellen im Mittelwert über Kollektive → voreilige Fixierung auf Wahrnehmungshypothesen / Wahrnehmungsverzerrung
  3. Konvergenz und Ausblendzeit durch Lidschläge sowie Flimmerschmelzfrequenz
  4. Hör- und Unterschiedsschwellen verschlechtern sich
- Zeitweilige Reaktionsblockierungen → operationalisiert als Reaktionszeiten mit einer Dauer, die das Mehrfaches von durchschnittlichen Reaktionszeiten beträgt
- Die Reaktionszeitverzögerungen nehmen mit der Dauer der Belastung zu
- Abfall der Entdeckungsleistung (schon nach einer Expositionszeit von 30-60min Dauer)
- Teilweise völliges Übersehen von Signalen
- Ausbleiben von auch hoch geübter Reaktionen auf entdeckte Signale
- Verringert die Selektionsschwelle → Denkablauf nimmt sprunghafte und abschweifende Formen an → Ordnungsverlust
- Verlust an Zielgerichtetheit
- Bewusstwerden eigener Fehlleistungen verzögert sich
- Verschiebung von Entscheidungskriterien
- Prüfende Denkweisen können Hasardstrategien weichen
- Komplexe Situationen verursachen „thematisches Vagabundieren“
- Anwachsen der Gesamtausführungszeit von Regulationen

Tab. 5.7: **Zur Phänomenologie von psychischer Ermüdung [188a]**

Hilfreich bei der Erfassung psychischer Ermüdung könnten die von *SCHMIDTKE* abgeleiteten Stufen von Ermüdungsgraden sein, welche durch einen polygraphischen Messansatz von *ROHMERT* und *LUCZAK* validiert wurden [226]. Allerdings konnten im Zuge einer Literaturrecherche keine quantitativen berufsspezifischen bzw. allgemein gültigen Angaben zum zeitlichen Verlauf von Ermüdungsgraden unter Einwirkung von Arbeitsbelastungen für Verkehrsflugzeugführer ausgemacht werden. Als wissenschaftlich abgesichert können hingegen phänomenologische Beschreibungen zur psychischen Ermüdung gesehen werden. Wie in Kapitel 2 diskutiert, soll die Tätigkeit von Flugzeugführern als vornehmlich sensorische, diskriminatorische und kombinatorische Arbeit abgegrenzt werden, sodass Erscheinungen von psychischer Ermüdung hier hohe Relevanz erhalten. Diese stellen eine Komponente von Arbeitsermüdung dar. Dazu sind zusammenfassend wesentliche Erkenntnisse aus [188a] in Tabelle 5.7 aufgeführt.

Für die vorliegende Belastungs- Beanspruchungskonzeption lässt sich i. d. R. die Auswirkung von psychischer Ermüdung auf die Regulation von Flugbetriebsabläufen im Transportträgerarbeitssystem übergeordnet zurückführen auf eine Qualitätsverschlechterung der Interiorisation und der damit verbundenen defizitären Ausbildung entsprechender Interiorisationsströme. Gründe hierzu werden vornehmlich in motivational geprägten Zielverlagerungen im Zuge von Aufwandsverminderungen[135] gesehen. Sie führen exemplarisch u. a. zu Verschlechterungen vielfältiger Mechanismen der Informationsüberführung und -speicherung im Kurz- und Langzeitgedächtnis, sowie zur Verlängerung der Verweildauer von Information im sensorischen Speichern. Den dadurch hervorgerufenen „Simplifizierungen" der logisch-semantischen Interiorisationsstruktur haften weiterhin Defizite im Umgang mit Komplexität an.

Durch das Anwachsen der Zeitdauer von Ausführungen der Exteriorisation, wie z. B. die von Bewegungsabläufen und die Güte der Bewegungskoordination aufgrund visueller Schwellvergröberungen, wird die Qualität der System-Umgebungsinteraktion gemindert.

Neben der psychischen Ermüdung sollte ggf. möglich sein, im mathematischen Ansatz auch relevante Aspekte ermüdungsähnlicher Fließzustände zu berücksichtigen. Darunter sind reversible Stadien veränderter Systemeigenschaften von begrenzter Dauer zu verstehen, die eine Regeneration des Systems im Verhältnis zur Tätigkeitsdauer einer Arbeitsperiode in relativ kurzer Zeitdauer durchlaufen können. Ihre Formen bzw. Arten können gruppiert werden in: Monotoniezustände, Zustände der psychischen Sättigung in Verbindung mit verminderter Wachsamkeit (Vigilanzsenkung) sowie Stress.

Wirkungen von reizarmen Umgebungs- und / oder einförmigen Tätigkeitsbedingungen über eine längere Zeitdauer führen i. d. R. zu Reaktionen des Individuums, die einhüllend mit der Systembeschaffenheit *Monotonie* bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um einen Fließzustand, der sich im Wesentlichen durch eine herabgesetzte Systemaktiviertheit bzw. geringes Aktivierungsvermögen über die Stimulation des Kortex vom retikulären Aktivierungssystem bestimmt (siehe Abschnitt 4.3 und [188b]). Dies gilt sowohl im psychologischen als auch im physiologischen Sinne. In Abgrenzung zur *psychischen Ermüdung* lässt sich der Zustand

[135] Im Hinblick auf Abbildung 4.3 könnte dies als eigene (wirkende) internale Schutzmaßnahme des Systems interpretiert werden, damit es seine „Funktionalität" weiterhin (allerdings auf einem abgesenkten Niveau) möglichst lang gewährleisten kann.

durch eine Erhöhung von Reizänderungen bzw. eine Änderung der Bedeutungseinordnung der Aufgabe beenden. Allgemein gelten Symptome wie z. B. eine verlängerte Reaktionszeit und eine Verlangsamung der Grobmotorik als Indizien für Monotoniezustände. Als besonders anfällig für Monotoniezustände in der Verkehrsluftfahrt sind die Flugphasen *Cruise* bei Nacht.

Ein dem Monotoniezustand ähnliches Phänomen, das auf eine Veränderung von Leistungsvoraussetzungen aufgrund von Umgebungseinflüssen und Tätigkeitsstrukturen zurückzuführen ist, tritt vorwiegend bei diskriminatorischer Arbeit auf. Dabei handelt es sich um das Nachlassen der Aufmerksamkeitszuwendung bei der Observierung einer Vielzahl von Indikatoren zu Situationszeitverläufen. Es konnte festgestellt werden, dass die Wahrscheinlichkeit relevanter Signalentdeckung im Zeitverlauf abnimmt und die Dauer zu deren Beantwortung zunimmt. Diese Erscheinung soll hier als *Vigilanzsenkung* bezeichnet werden, wobei in der Literatur Bezeichnungsunterscheidungen zwischen Zustand, Symptom bzw. Phänomen diffus ausgeführt sind. Es wurde festgestellt, dass die Wachsamkeit auf bestimmte Signale zu reagieren sich im Zeitverlauf der Tätigkeit auf ein niedrigeres Niveau gegenüber dem Tätigkeitsbeginn i. d. R. von ca. 70 %, - bei älteren Arbeitsplatzinhabern auf ca. 60% vermindert. Die Abnahme der „Vigilanzleistung“ wird vornehmlich mit einem niedrigen Niveau an Aktiviertheit der Arbeitspersonen begründet. Als weitere Einflüsse sind Zustandsgrößen von Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Lärm etc. angegeben. Vigilanzsteigerungen können durch Verstärkungen von Signalausprägungen erzeugt werden [157].

Die beiden voraus genannten ermüdungsähnlichen Zustände sind wie die psychische Ermüdung u. a. durch eine Zunahme an mentalen Blockierungen und den damit verbundenen z. T. exzessiven Verlängerungen von Reaktionszeiten gekennzeichnet.

In Abgrenzung zur Monotonie wird von *psychischer Sättigung* (gesteigerte Spannungslage mit ihren möglichen Symptomen z. B. *Frustration* und *Depression*) bei einem unlustbetonten bzw. ärgerlichen und mit hoher psychischer Anspannung versehenen Systemzustand gesprochen. Sein Auftreten kann dem Überschreiten von Toleranzschwellen (je nach Typus) zugeordnet werden und ist somit durch negative Emotionen gekennzeichnet. Vereinfacht dargestellt zeichnet sich dieser besonders durch ein eher erhöhtes Niveau an psychischer Aktiviertheit bei gleichzeitig geringer Motivation zu einer bestimmten Aufgabenbearbeitung (erscheinen von negativ belegter Reizbarkeit) aus. Diese kann sich bis zur Aversion gegen die Übernahme bzw. Fortführung bestimmter Tätigkeiten erstrecken. Psychische Sättigungszustände sind i. d. R. mit Leistungsverschlechterungen besonders durch Simplifizierungs- bzw. Primitivierungstendenzen des Handlungsvollzugs und einem Anstieg von Fehlerhäufigkeiten verbunden. Teilweise können Affekthandlungen mit Enthemmungstendenzen beobachtet werden [227] (siehe Anmerkung A5.8). Das Auftreten von psychischer Sättigung kennzeichnet i. d. R. das Erreichen der Grenze von individuellem Regulationsvermögen.

Durch Missverhältnisse zwischen persönlich bedeutsamen Zielen bzw. individuellen Bedürfnissen und der Möglichkeit ihrer Ausführung bzw. Befriedigung kann es zu nachhaltig wirkenden negativen emotionalen Befindlichkeiten zusammen mit physiologischen Reaktionen und sozialen Prozessen kommen. Die Erscheinungsform dieser Wechselwirkungen zwischen Lebewesen und Anforderung werden in Anlehnung an *SELYE* mit *Stress* bezeichnet [228]. Bei diesen Anpassungsaktivitäten des Individuums handelt es sich um Vorbereitungen von vorwiegend biologischer bzw. physiologischer Art zur Situationsbewältigungen, die bei häufiger wiederholter Unterdrückung der entsprechenden Ausführungen zu krankhaften Folgeer-

scheinungen führen können. Das Auftreten von *Stress* ist an subjektiv gebildete *Stressoren* gebunden, die sich u. a. aus Komponenten der Interaktions-, Aufgaben-, Organisations-, Qualifikations- und Aufgabenstruktur des Individuums in / mit seiner Umgebung ergeben können [223a]. Als besonders relevanter Auslöser wurde Zeitdruck erkannt [188]. Phänomenologisch ist ein Stresszustand neben erheblichen organischen Prozessveränderungen u. a. durch eine hohe Ausprägung an Aktiviertheit bei einem hohen Niveau an Zustandsangst gekennzeichnet. Zusammen mit starken psychischen Anspannungszuständen resultiert daraus der Verfall von Regulationsstrukturen, die zu desorganisierten Verhaltensmustern chaotischen Charakters führen und deutlich das Überschreiten der *PPE* anzeigen.

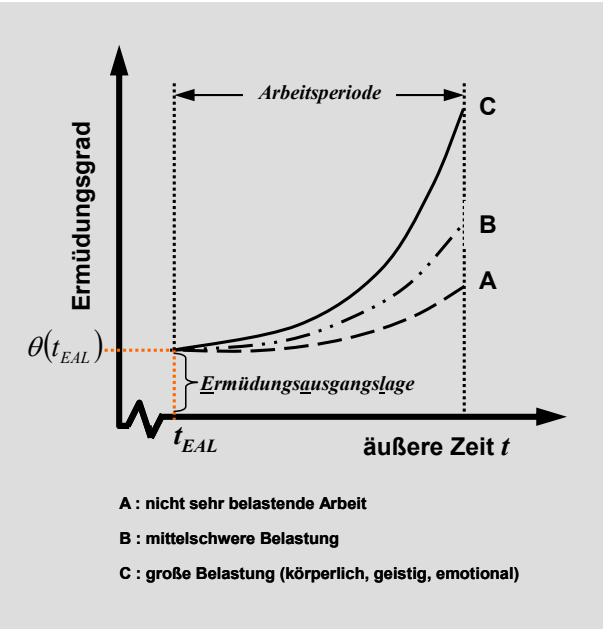


Abb. 5.10: **Prinzipieller Ermüdungszuwachs in Abhängigkeit von Arbeitsbelastung und –dauer - Darstellung in Anlehnung an [229] -**

Zur Ermüdung bei vorwiegend kombinatorischer Arbeit postuliert *BOKRANZ* qualitativ, dass der Ermüdungsgrad in Abhängigkeit von der Belastungshöhe und der Expositionsdauer überproportional zunimmt [223b]. Dieser prinzipielle Zusammenhang ist in Abbildung 5.10 aufgetragen. Es kann davon ausgegangen werden, dass Kurzpausen einen Anstieg von Ermüdungsgraden über die von *SCHMIDTKE* kategorisierte Stufe 3 hinaus verhindern. Diese sollen das System jedoch nicht bis auf das Ausgangslagenniveau des Belastungszyklus regenerieren können. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass Dauerbeanspruchungsgrenzen bei Nachtschichtarbeit gegenüber Tagschichten in etwa in der halben Zeitspanne erreicht werden.

Neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge muss dem chronobiologischen Synchronisationsvermögen ein weitaus größerer Einfluss auf die menschliche Leistungsdisposition und auf den Erhalt seiner Gesundheit zugemessen werden als i. A. bislang angenommen worden ist [230]. Auf Grundlage der subjektbezogenen Mittellage von Schlafperioden an Ta-

gen ohne sozialen Verpflichtungen (MSF) und der Tageslänge ist es i. d. R. möglich Individuen einem Chronotypus (Spät- bzw. Frühtyp) zuzuordnen. Wie in Abbildung 5.11 gezeigt unterliegt der individuelle Chronotyp Veränderungen im Laufe des menschlichen Lebens. So tendieren junge Menschen zum Spättyp wo hingegen ältere Menschen mit zunehmendem Lebensalter immer früher schlafen gehen. Weiterhin sind geschlechtsspezifische Unterschiede erkennbar. Der Effekt ist bei Männern stärker ausgeprägt als bei Frauen. (Weitere Informationen zu körpereigenen Koordinierungsfunktionalität können Anmerkung A5.9 entnommen werden).

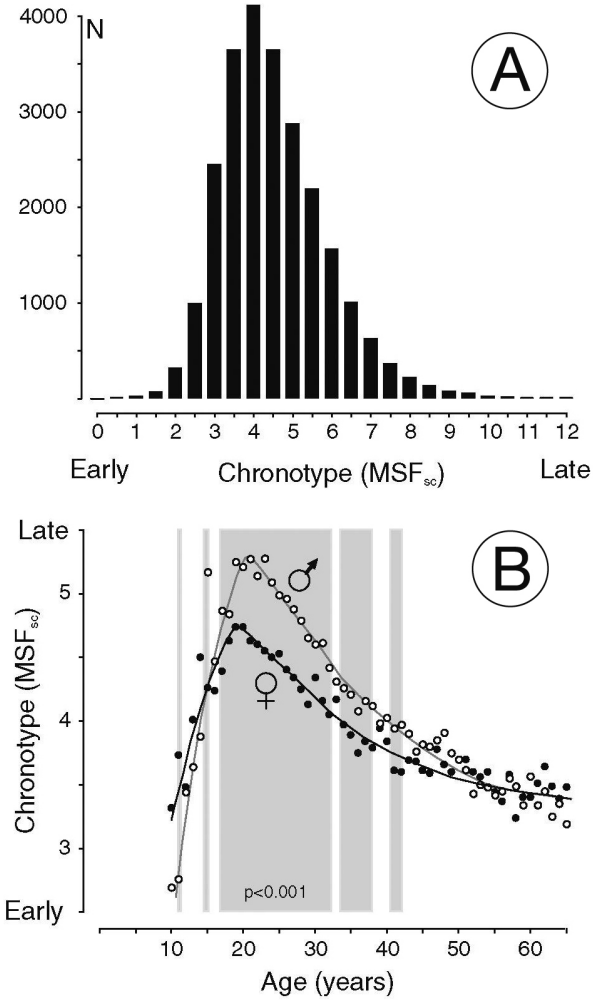


Abb. 5.11: **A) – Chronotypverteilung einer Gesellschaftsstichprobe**
B) - Lebensalterabhängige Veränderung des Chronotypus
Quelle: [231]

Kommt es aufgrund von äußeren Rahmenbedingungen der Arbeitsgestaltung zu Zeitdifferenzen zwischen dem Beginn der arbeitsbedingten Wachperiode und dem Chronotyp-

spezifischen Neustart des Tages, so treten basisbiologische Phasenverschiebungen auf. – Das Individuum lebt in diesem Fall nicht im Gleichgang zu seiner biologischen Rhythmik. *ROENNEBERG* und *MERROW* beschreiben den Effekt als *Social Jetlag* [232]. Das Maß seiner Ausprägung kann durch die oben beschriebene äußere Zeitdifferenz indiziert werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich annähernd proportionale biologische Phasenverschiebung u. a. in einem verminderten Leistungsvermögen und verstärkten Müdigkeitsempfinden auswirken. Diese Erscheinungen werden durch Synchronisationsschwierigkeiten aufgrund wechselnder Tag / Nachtarbeitsschichten und / oder durch eine schnelle Überwindung von Zeitzonen besonders während und nach transmeridian durchgeführten Streckenflügen erheblich verstärkt. Daher sollte versucht werden wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse aus dieser noch relativ jungen Forschungsrichtung in den vorliegenden mathematischen Ansatz einzuarbeiten. Es sei angemerkt, dass die Auftritthäufigkeit von Fehlhandlungen durchaus signifikant mit Extrema des Circadian Rhythmus invers korrelieren.

Einflüsse psychophysischer Veränderungszyklen nach dem Biorhythmus-Konzept auf die Auftretenshäufigkeit von Unfällen und auf das Leistungsvermögen konnte wissenschaftlich nicht eindeutig nachgewiesen werden [233]. Daher wird dieser Aspekt in dem vorliegenden Beitrag nicht weiter berücksichtigt.

Arbeitsermüdungen stehen in Wirkungsbeziehungen zum Phänomen der biologisch bedingten Ermüdung, die sich im Wesentlichen von der Arbeitsermüdung durch personenspezifische Effekte circadianer Rhythmik und den Auswirkungen eines aufgebauten Schlafmangels bzw. Regenerationsdefizits abgrenzt. Ermüdungen spezieller biologischer Systeme (z. B. visuelle-, auditive Ermüdung) korrespondieren zu den beiden erst genannten Ermüdungsarten.

Fasst man die oben aufgeführten Aspekte zusammen, so können psychischen Fehlbeanspruchungen Einbußen von Regulationsproduktivitäten[136] zugeschrieben werden. Diese äußern sich vornehmlich in einer Verminderung der Wirksamkeit von Interaktionen mit der Umgebung. Damit leidet nicht nur die Effizienz der regulativen Beeinflussung von Flugbetriebssituationen, sondern es muss im Besonderen auch von einer zunehmenden potenziellen Bedrohung des Systems ausgegangen werden. Zu einer kritischen Destabilisierung des Systemverhaltens könnte es besonders dann kommen, wenn

- die Dynamik der Situationsentwicklung mit steigendem Potential an Ungeklärtem eine höhere Abtastrate erfordert, als die Prozessgeschwindigkeit der Interiorisation zulässt. Dieser Effekt verstärkt sich durch eine entsprechend geringere Geschwindigkeit des Handlungsvollzugs.
- die Regulationsagilität, gemäß der Begriffsvereinbarung aus Abschnitt 5.2.4., soweit abnimmt, dass Bestrebungen zur Begrenzung der Extension aktueller Entwicklungen von Situationsfreiheitsgraden unzureichend sind.

5.2.8 Methodischer Ansatz zur Einarbeitung wesentlicher Aspekte von Ermüdung

In weitgehender Ermangelung an spezifisch direkt nutzbaren Messdaten zur Ermüdungsthematik von Verkehrsflugzeugführern kann nur ein erfahrungsgeleitetes methodisches Vor-

[136] Produktivität im eingeschränkten Sinne nach *Instrumentalitätskonzepten* gemäß [27j]

gehen zur Quantifizierung der Veränderungstendenzen von Indikatoren[137] zu Leistungsvoraussetzungen vorgestellt werden.

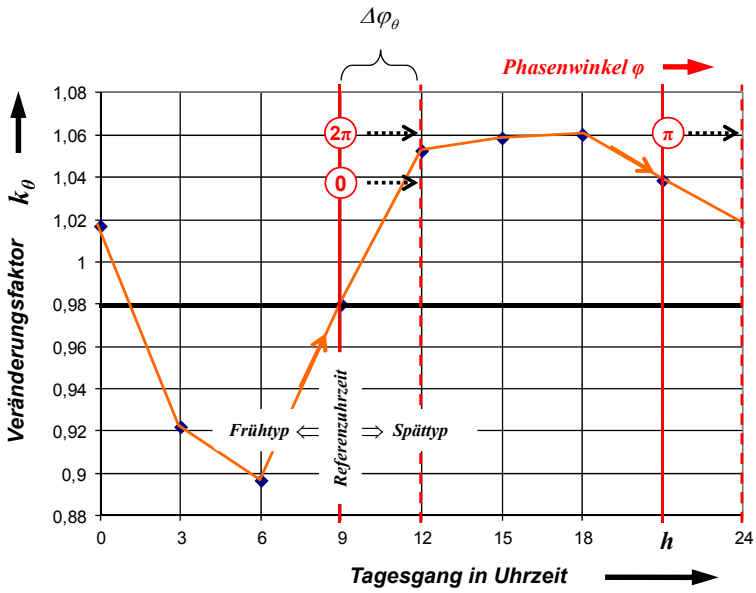


Abb. 5.12: **Gemittelte Vielfache von Leistungsindikatoren im Verlauf einer 24 Stundenperiode – Werte nach [235]**

Die Einarbeitung relevanter Aspekte von vorwiegend mentaler Systemermüdung in den mathematischen Ansatz kann explizit in erster Näherung über geeignete Variation der Funktionssteuergrößen θ und τ erfolgen. Wie in Abbildung 5.4 gezeigt, bezeichnet dabei θ die Schmälerung des psychophysischen Leistungsvermögens des Systems. Dieser „Schwund" soll indikativ für den Systemermüdungsgrad stehen. Sein prinzipieller Verlauf über der Expositionszeit von Arbeitsanforderungen ist Abbildung 5.10 zu entnehmen. Mit dem Aufgabenschwierigkeitsgrad c und der Expositionszeit von Arbeitsanforderungen

$$t_{Exp} = t - t_{EAL} \tag{5.16}$$

soll hypothetisch für das relative Maß an „Schwund" besonders von mentalen Leistungsvoraussetzungen geschrieben werden:

$$\theta(t,\varphi) := \frac{\theta(t_{EAL})}{k_\theta(\varphi)} \cdot e^{\left(\frac{c \cdot t_{Exp}}{\eta_{(t)}}\right)} \tag{5.17}$$

[137] Als brauchbarer Indikator zur Erfassung von Ermüdungseffekten erwiesen sich u. a. bei kombinatorischer Arbeit unter vornehmlich visueller Informationsaufnahme die zeitlichen Veränderungen der Ausprägungen von Lidschlagraten [234]. Allerdings muss dabei ggf. das Phänomen des *Starrens auf einen Monitor* (→ verminderte Lidschlagfrequenz) beachtet werden.

Aus theoretischer Sicht liegt es nahe Systemgesamtermüdungen methodisch über geeignete Superpositionsarten von Einzelkomponenten zu erfassen. So soll der Veränderungsfaktor k_θ vornehmlich biologisch begründbare Schwankungen im Tagesgang berücksichtigen. Seine Ausprägung wird durch individuelle circadiane Rhythmen bestimmt, die hier vereinfacht in Form einer Sinusfunktion angenähert werden soll. Auf der Grundlage von Messungen leistungsspezifischer Größen werden die im Verlauf einer 24 Stundenperiode aus [235] entsprechend aufbereiteten und gemittelten Vielfache in Abbildung 5.12 aufgetragen. Dabei wurde von einer Referenzuhrzeit von 0900 Uhr ausgegangen. Chronotyp-spezifische Aspekte berücksichtigt der empirisch gewonnene Befund aus den frühen 1970er Jahren nicht. Allerdings könnte der Grund für die z. T. große Streubreite der Messergebnisse u. a. die in Abschnitt 5.2.7 beschriebenen Desynchronisationseffekte sein.

Als erste Näherung einer diesbezüglich anzusetzenden Korrektur soll der chronobiologische Früh- / Spättypus bzw. der transmeridiane Einflusscharakter berücksichtigt werden. Dies könnte über eine Verschiebung des Phasendifferenzwinkels um $\Delta\varphi_\theta = \pm\Delta t_{SJL} \cdot 0{,}262 / h$ gegenüber der Referenzuhrzeit erfolgen. Der Veränderungsfaktor k_θ ist fest an den Zyklus mit der Dauer von 2π des individuellen Chronotypus gebunden. Dabei kann grob die Tagperiode angesetzt werden von $0 \Rightarrow \pi$ und entsprechend die Nachtperiode von $\pi \Rightarrow 2\pi$. Für die Näherung soll gelten:

$$k_\theta(\varphi) \approx 0{,}98 + 0{,}08 \cdot sin(\varphi + \Delta\varphi_\theta) \tag{5.18}$$

Das methodische Vorgehen für die näherungsweise Ermittlung der Verlängerung von Regulationszeiten aufgrund von Systemermüdung erfolgt prinzipiell in der gleichen Weise wie dasjenige zur Erfassung des Parameters θ. Die Grunddaten der in Abbildung 5.13 aufgetragenen Reaktionszeitverläufe stammen aus Abbildung 5.9 und sind gemäß der Bemerkung im Abbildungstext aufbereitet worden. Die Kurvenverläufe entsprechen tendenziell Messergebnissen zu Ermüdungsphänomenen von hoch belastetem Zugleitpersonal nach einer Studie von *BABADSCHAJAN et al.* [227a]. Es wäre wünschenswert die gewöhnlich mit dem Ermüdungsgrad zunehmenden mentalen Blockierungserscheinungen und damit z. T. exzessiven Verlängerungen von Regulationszeiten[138] zusammen mit ihren stochastischen Verteilungen in zukünftigen Ansatzerweiterungen zu berücksichtigen [226]. Für eine Sequenzdauer von Regulationsprozessen $\tau = \tau_{(I)} + \tau_{(E)}$ wird zunächst angesetzt:

$$\tau(t,\varphi) := k_\tau(\varphi) \cdot \tau(c, t_{EAL}) \cdot e^{\left(\frac{c \cdot t_{Exp}}{\eta_{(I)}}\right)} \tag{5.19}$$

[138] Dieser Effekt konnte z. T. in den Flugversuchen messtechnisch erfasst werden [222].

Bemerkung:
Der interpretations-orientierte Ansatz basiert auf den Daten aus Abb. 5.9. Diese wurden paarweise (geübt / ermüdet) jeweils dem Beginn und dem Ende einer Arbeitsperiode von 10 h (2. DVO Luft-BO) zeitlich zugeordnet (eingetragene Punkte).

Signalanzahl	a	b
2	0,2943	0,019
4	0,3802	0,051
6	0,5562	0,033
8	0,6512	0,036
10	0,6964	0,040
32	0,8312	0,080

zunehmende Anforderungskomplexität bzw. Aufgabenschwierigkeit

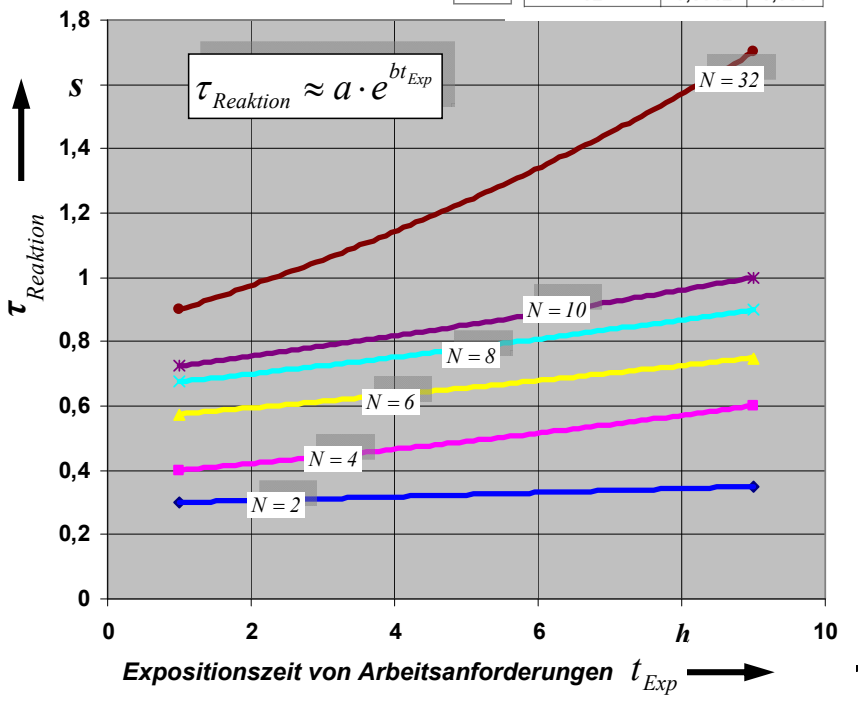


Abb. 5.13: **Ansatz zur näherungsweisen Erfassung der Veränderung von Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Einwirkungsdauer von Arbeitsanforderungen**

Dabei kann der Aufgabenschwierigkeitsgrad c proportional zur Signalanzahl N in Abbildung 5.13 gesetzt werden. Das Veränderungsmaß von τ über den äußeren Zeitverlauf gilt in erster Näherung auch für $\tau_{(I)}$.

Die Behandlung chronobiologischer Tagesschwankungen erfolgt über den Veränderungsfaktor k_τ nach dem gleichen Verfahren wie für k_θ. Der Ansatz basiert auf Messungen von Einfachreaktionszeiten im Verlauf einer 24 Stundenperiode [235]. Auch hier wurde von einer Referenzuhrzeit von 0900 Uhr ausgegangen. Die Veränderungen der Zeitdifferenzen sind als gemitteltes Vielfaches einer mittleren Verarbeitungszeit in Abbildung 5.14 aufgetragen. Mit Hilfe einer Polynomaproximation soll zur Berücksichtigung circadianer Effekte als erste Näherung geschrieben werden:

$$k_\tau(\varphi) \approx -0{,}0038\varphi^4 + 0{,}04535\varphi^3 - 0{,}1452\varphi^2 + 0{,}1628\varphi + 0{,}9124 \quad \text{mit: } R^2=0{,}9547 \qquad (5.20)$$

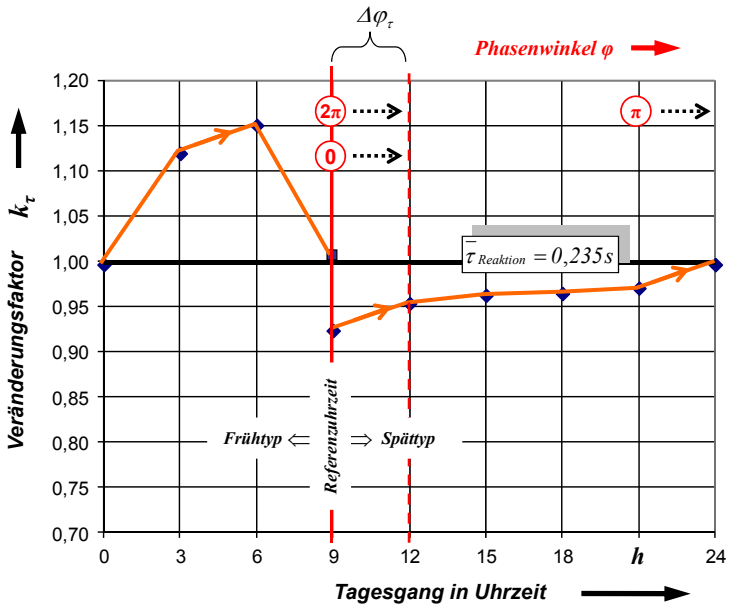


Abb. 5.14: **Gemittelte Vielfache von Einfachreaktionszeiten im Verlauf einer 24 Stundenperiode – Werte nach [235]**

Ebenso könnte der individuelle Früh- bzw. Spättypus wieder über eine Verschiebung des Phasenwinkels um $\Delta\varphi_\tau = \pm\Delta t_{SJL} \cdot 0{,}262 / h$ gegenüber der Referenzuhrzeit berücksichtigt werden.

Die Konzeption des mathematischen Konstrukts bietet eine Basis zur Berücksichtigung weiterer Auswirkungen ermüdungsähnlicher Fließzustände auf die aktuelle Leistungsdisposition von Arbeitspersonen. So ist es denkbar durch eine geeignete Manipulation bzw. Anpassung des Interiorisationsgradienten und / oder der Funktionsgrößen θ, ϕ und τ z. B. Auswirkungen von Körperschwingungen, wie sie beim Betrieb von Flugzeugen mit Propellerantrieb auftreten, zu berücksichtigen. Es wird vorgeschlagen, dies als Gegenstand zukünftiger Forschungsbeiträge zu setzen. Darunter fällt u. a. auch die Vornahme einer Einbindung von latent wirkenden und situationsspezifischen Einflüssen aus Sozial- und Arbeitsumgebungen sowie anderen Umgebungsfaktoren[139].

So ist es z. B. direkt möglich den Einfluss von Lärm auf die Interiorisation u. a. über τ einzuarbeiten. Als Grundlage bieten sich dazu Messergebnisse von *SCHÖNPFLUG et al.* an [236]. Weiterhin können Daten über entsprechende Ausprägungen von Schalldruckpegeln in Cockpits von Verkehrsflugzeugen mit Turboluftstrahlantrieb in z. T. nicht frei zugängigen Flugbetriebsunterlagen (OM-A) renommierter Luftverkehrsgesellschaften[140] gefunden wer-

[139] Bei Überlagerung durch Superposition sind ggf. Kompensationseffekte zu berücksichtigen.

[140] Das Tragen von Gehörschutz bzw. die Benutzung von Geräusch-kompensierenden Kopfhörern wird i. d. R. durch den Arbeitgeber explizit vorgeschrieben.

den. Der mittlere Umgebungsschalldruckpegel durch technische Systemfunktions- und Strömungsgeräusche beträgt in Cockpits von z. Zt. gängigen Verkehrsflugzeugen ca. 78 dB(A). Durch eine zusätzliche Schalldosis durch annähernd andauernden Sprechfunkverkehr erhöht sie sich auf ca. 89-97 dB (A).

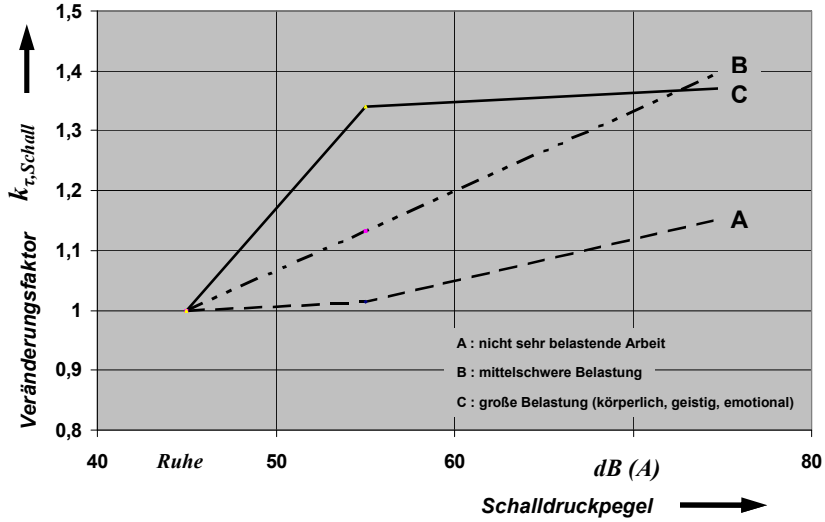


Abb. 5.15: **Das Vielfache von Entscheidungszeiten als Funktion des Schalldruckpegels der Umgebung – Werte nach [237]**

5.2.9 Zur Kategorisierung der Entwicklungsverläufe von Regulationsaktivitäten

Umgebungssituationen erfordern von der Arbeitsperson sowohl die Erkenntnis über die Notwendigkeit einer Reaktion als auch ein darauf abgestimmtes Maß an regulativ determinierter Regsamkeit. Für die Anforderungsbewältigung erfolgt im Zuge der Interiorisation eine Vorwegnahme der intendierten Regulationsaktivität nach Zielsetzungstechniken[141]. Diese Intentionen finden sich implizit als *internale Zielgrößensetzungen* in der aufgestellten Konzeption zur Genese von Arbeitshandlungen wieder. Sie werden als Relativkenngröße mit p_{FV} bezeichnet. Dabei handelt es sich um die jeweils subjektgenerierten Regulationsvorgaben einer Arbeitsperson, welche diese gedenkt während der Exteriorisation in die physikalische Realität zu transferieren. Die Variable p_{FV} kann Werte zwischen *Null* und *Eins* annehmen. *Null* steht theoretisch für keine-, *Eins* für eine maximal angestrebte Aktions- bzw. Anstrengungsausprägung. Wie in Kapitel 4 beschrieben, werden mit der jeweiligen zeitdiskreten *internalen Zielgrößensetzung* Investitions-abgeglichene Antriebe generiert. Diese legen als *psychophysische Affinität* zusammen mit dem Gehalt und der Struktur des Interiorisationsstroms sowohl die Modalität der Regulationsaktivitätsgenese als auch letztlich in komplementärer Weise

[141] …auf der Basis des jeweils vorhandenen OAS-Inventars der Arbeitsperson und dem gewählten Stil der Anforderungsbewältigung.

das Ergebnis in Form der Regulationsgüte hinsichtlich ihrer Wirksamkeit auf die angestrebte Situationsbeeinflussung fest[142].

Aus der momentanen Bewusstseinslage des Subjekts heraus werden Konsequenzen i. d. R. zunächst unabhängig von seiner tatsächlichen momentanen Leistungsdisposition generiert. Der Grund dafür ist die Unkenntnis der Arbeitsperson über das aktuelle Maß an objektiver Degradierung der eigenen mentalen Leistungsvoraussetzungen. Erst im Verlauf der Handlungsausführung wird eine mögliche Diskrepanz zwischen der Vorgabe und der realen Abfolge für sie selbst erkennbar und durch „Nachbesserung" minimierbar. Diese Optimierung ist fester Bestandteil der Handlungsregulation.

Ebenso lässt sich erst über das Prozessgelingen eine mögliche Systemdegradierung identifizieren. Aussagen hierzu ergeben sich einerseits über die Modalität der Ansteuerung von p_{FV}, welches makroskopisch durch die Art und Weise der Genese vom Entwicklungsziel[143] p_F^{∞} reflektiert wird. Andererseits können Rückschlüsse auf Veränderungen des Regulationsvermögens durch Vergleich des Erfolgs der Situationskontrolle über zu spezifizierende Gütefunktionen (also bei jeweiliger Kenntnis des Arbeitsergebnisses) von ausgeruhter Arbeitsperson zu aktuell gealtertem Subsystem unter sonst gleichen Randbedingungen erfolgen.

Im mathematischen Ansatz wird für die maximal erreichbare relative Regulationsaktivität geschrieben:

$$p_{F,max}^{\infty} = 1 - \theta \tag{5.21}$$

Dieses Maximum des *mathematischen Fixpunkts* entspricht einer individuellen Vorgabe von $p_{FV} = 1$. Damit umspannt der Wertebereich an zu erwartender und aus einer externen Perspektive aus beobachtbarer relativer Regulationsaktivität: $0 < p_F^{\infty} \leq 1 - \theta$. Die Variable p_{FV} tritt im mathematischen Konstrukt nicht explizit auf. Sie ist allerdings implizit in dem Verhältnis von α / β bzw. ϕ / λ enthalten. Es kann vermutet werden, dass große Diskrepanzen zwischen p_{FV} und p_F^{∞} bzw. $p_{FV} \rightarrow p_F^{\infty}$ einen destabilisierenden Einfluss auf das Systemverhalten besitzen.

Im mathematischen Konstrukt können unterschiedliche Muster von Entwicklungsverläufen zum Erreichen von Zielvorgaben p_F^{∞} über die veränderliche Kontrollgröße α dargestellt bzw. beeinflusst werden. Dabei stellt α eine wesentliche Relation zwischen der mikro- und makroskopischen Betrachtungsebene dar. Die Kontrollgröße trägt jeweils mikroskopische

---

[142] Makroskopisch soll der Gesamtprozess als mentale Vorgabesteuerung bezeichnet werden, wobei nach entsprechend wissenschaftlichen Erkenntnissen aus der Motivationspsychologie antizipierte Folgen regulativer Aktivität als Wirksamkeit / Wirkung bzw. Konsequenz der momentanen Zielbildung gelten.

[143] p_F^{∞} wird im mathematischen Sinne als Fixpunkt bzw. Attraktor bezeichnet, auf den sich die Entwicklung der Regulationsaktivität hin zu bewegt

Initiativen, welche makroskopische Konsequenzen herausfordern[144]. Wie im weiteren Verlauf des Abschnitts gezeigt wird, ist es möglich die jeweiligen Ausprägungen von α aussagekräftig zu strukturieren, indem sie in definierte Wertebereiche eingeordnet werden. Einige Sektionen dieses Größenspektrums umschließen mathematisch wiederum die autopoiesische Existenzdomäne des Systems.

Zur Beschreibung der Wesensart von Regulationsaktivitätsentstehungen sollen die Muster betrachteter Trajektorien des Regulationsaktionals mit Ordnungseigenheiten belegen werden. Das Hauptaugenmerk sei dabei zunächst auf das erfolgreiche und eindeutige Erreichen der jeweiligen Zielvorgaben bzw. des jeweils intendierten Fixpunktes p_F^∞ gelegt.

Die Bestimmung des Fixpunktes[145] der diskreten Gleichung (5.11) soll aus Gründen der Übersichtlichkeit nach einem grafischen Iterationsverfahren aus [239] erfolgen. Die bildliche Darstellung erlaubt dabei ein direktes Erkennen der Struktur des Entwicklungspfads. Das Prinzip einer rechnerischen Betrachtung kann [131b] entnommen werden.

Die Abbildungen 5.16, 5.17 und 5.18 zeigen verschiedene Muster makroskopischer Systemdynamiken des diskreten Konstrukts. Der Funktionsverlauf aus Gleichung (5.5) ist für jeweils unterschiedliche Parameter α und Zielgrößensetzungen $p_{FV} \to p_F^\infty$ farblich in Schwarz ausgezogen. Die Trajektorien des Entstehens relativer Regulationsaktivität durch eine Systembeanspruchung sind, ausgehend von einem momentanen Arbeitspunkt p_{F0}, als rot markierte Schrittfolge dargestellt. Im grau hinterlegten Histogrammfenster ist dieser Verlauf über die Schrittfolgeanzahl der Regulationssequenzen aufgetragen. Dabei korrespondiert die jeweilige Weite[146] einzelner Ereignissprünge mit der zugehörigen Zeitdifferenz:

$$\Delta t = \tau = \tau_{(I)} + \tau_{(E)} \tag{5.22}$$

Abbildung 5.16 zeigt für den Wertebereich $0 < \alpha \leq 1$ eine stabile Charakteristik des makroskopischen Systemverhaltens. In diesem Intervall konvergiert p_F aperiodisch gegen den Fixpunkt p_F^∞ in der Form einer Einwärtstreppe. Dabei sinkt die Schrittfolgeanzahl der Iteration zum Erreichen von p_F^∞ mit wachsendem α.

---

[144] …entgegen der Betrachtungsweise einer reinen Ursachen-Wirkungs-Beziehung wird hier die Perspektive von *TOYNBEE* vorgezogen, welcher die nicht notwendigerweise Vorhersagbarkeit von Antworten auf Herausforderungen unterstreicht [238]

[145] Der Vollständig halber sei auf die triviale Lösung der Gleichung (5.7) von $p_F^\infty = 0$ hingewiesen.

[146] in Abb. 5.16, 5.17 und 5.18 jeweils konstant gesetzt

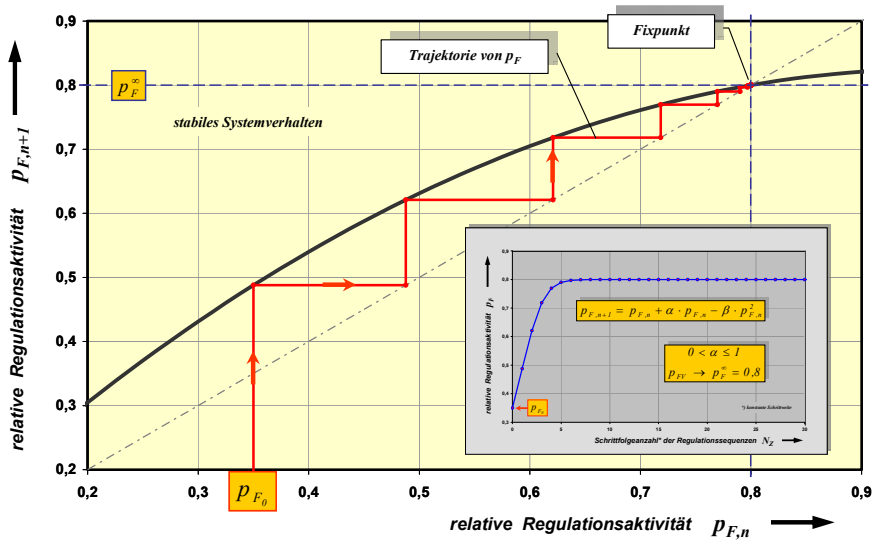


Abb. 5.16: **Histogramm einer aperiodischen Konvergenz relativer Regulationsaktivität gegen den Fixpunkt einer Zielvorgabe** $p_{FV} \rightarrow p_F^\infty = 0{,}8$

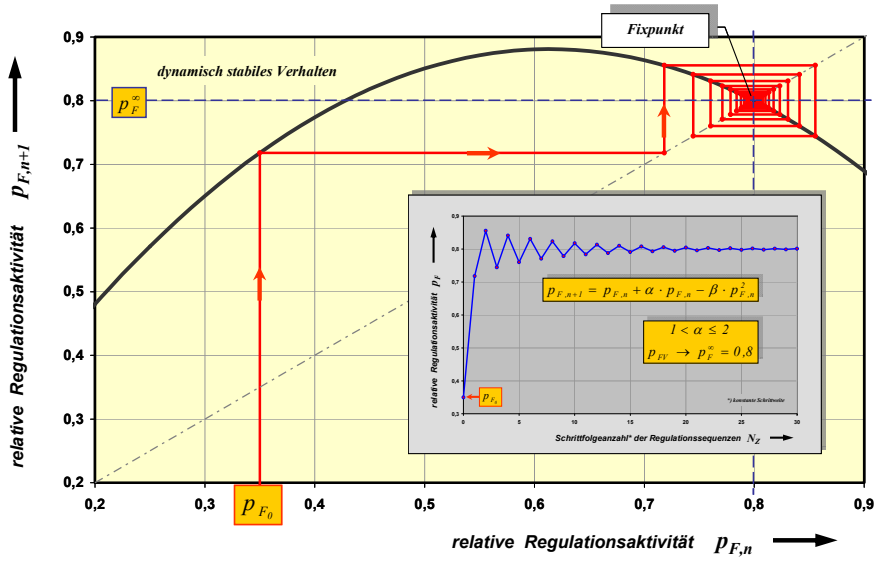


Abb. 5.17: **Histogramm einer periodischen Konvergenz[147] relativer Regulationsaktivität gegen den Fixpunkt einer Zielvorgabe** $p_{FV} \rightarrow p_F^\infty = 0{,}8$

---

[147] Das Phänomen des dynamischen Überschießens der Zielgrößen zum Einstellen observierbarer stationärer Fließgleichgewichte kennzeichnet u. a. die belebte Existenz offener Systeme [178a]. So sind dynamische „p_F -*Overshoots*“ auch für $p_F^\infty = p_{F,max}$ operationell u. a. durch kurzfristige, systeminterne Bereitstellungen psychophysischer Leistungsreserven möglich.

Für den Wertebereich $1 < \alpha \leq 2$ ist als Beispiel in Abbildung 5.17 eine Trajektorie dargestellt zur Entstehung von relativer Regulationsaktivität. Die Ansteuerung internaler Zielgrößensetzungen hat einen dynamisch stabilen Charakter. Es liegt ein periodisches Konvergenzverhalten in der Form einer einwärts gerichteten Spirale vor. Die Anzahl der Iterationsschrittfolgen zum Erreichen eines intendierten Aktivitätsniveaus ist geringer als diejenige im [0,1] - Intervall (Abb. 5.16). Das bedeutet, dass sich der Geschehensablauf der Ansteuerung von $p_{FV} \rightarrow p_F^{\infty}$ schneller vollzieht, jedoch zunächst ungenauer ist. Der Dämpfungsgrad des Konvergenzorbits um p_F^{∞} sinkt mit wachsender Ausprägung von α .

Der Wertebereich $2 < \alpha \leq 3$ zeichnet sich durch anfänglich konvergentes Bestreben zum Erreichen des intendierten Fixpunktes p_F^{∞} aus. Wie in Abbildung 5.18 gezeigt, wird allerdings keine eindeutige Lösung erlangt. Der Fixpunkt spaltet sich auf und die Trajektorie konvergiert in Form einer auswärts gerichteten Spirale gegen zwei symmetrische Lösungen (Bi-Stabilitäten) $p_{F,1}^{\infty}$ und $p_{F,2}^{\infty}$, zwischen denen diese dann oszilliert. Dabei ist:

$$p_{F,1}^{\infty} = p_F^{\infty} + \delta_{F1} \quad \text{und} \quad p_{F,2}^{\infty} = p_F^{\infty} - \delta_{F2} \quad \text{mit:} \quad \delta_{F1} \approx \delta_{F2} \qquad (5.23a \text{ u. b})$$

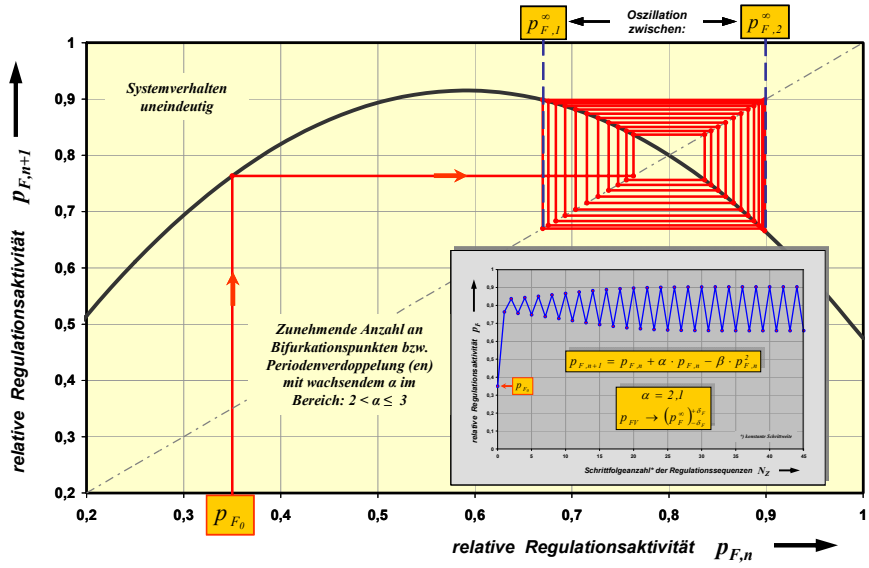


Abb. 5.18: **Darstellung einer ersten Fixpunktaufspaltung im Histogramm (Zielvorgabe $p_{FV} \rightarrow 0{,}8$ wird nicht eindeutig erreicht)**

Mit wachsender Ausprägung von α nimmt die Anzahl von Bifurkationspunkten und damit Periodenverdoppelungen zu. Dies geschieht bei gleichzeitiger Verkürzung der dazugehörigen α-Distanzen im Bifurkationsdiagramm ($p_{F,x}^{\infty} = f(\alpha)$). Das Maß an Uneindeutigkeit des makroskopischen Systemverhaltens steigt mit der Anzahl von Mehrfachstabilitäten.

Als Fazit der Betrachtungen kann festgehalten werden, dass - solang der Entwicklungspfad von $p_{F,n}$ gegen p_F^{∞} konvergiert und damit im entsprechenden Endfließzustands-Diagramm (Bifurkationsdiagramm) eine eindeutige Lösung existiert - eine geordnete Regulationsweise des Systems unterstellt bzw. von dem Vorhandensein einer Systemdynamik stabilen Charakters gesprochen werden kann. Unter diesen Voraussetzungen kennzeichnet das makroskopische Verhaltensmuster eine geordnete und innerhalb der *PPE* liegende dynamische Systemexistenz als ein Teil des autopoiesischen Betriebsbereichs. Damit ist das System, nach der hier favorisierten Interpretation, fähig „… zur Regulierung der eigenen Beziehung mit der Umgebung und zur Selbstregulation“ (siehe Abschnitt 2.3.4). Diese Aussage kann für uneindeutige Lösungen jenseits des ersten Bifurkationspunktes nicht getroffen werden. Daher wird hier davon ausgegangen, dass bei Vorhandensein von Mehr- bzw. Uneindeutigkeit von Konvergenzen die dynamische Systemexistenz außerhalb der *PPE* liegt. Dabei steigt das Maß an operationellen Defiziten des Systems bzw. die Dissoziation seiner Handlungsstruktur mit der Zunahme von Lösungen der Regulationsfunktionen. Entsprechend der oben aufgeführten Argumentation gilt für das Intervall $0 < \alpha \leq 1$:

- Eine geordnete dynamische Systemexistenz ist vorhanden.
- Diese liegt innerhalb der *OPE*.
- Das Phasenportrait zeigt einen Fixpunktattraktor[148].

Im Intervall $1 < \alpha \leq 2$ trägt das makroskopische Muster Aspekte, welche dem Typus eines kompensierenden Systemverhaltens ähneln:

- Die dynamische Systemexistenz kann mit dem Prädikat *geordnet* belegt werden.
- Ihre Ungleichgewichtsstrukturen existieren im Bereich zwischen der *OPE* und der *PPE*.
- Die Entwicklungslinien im Zustandsraum[149] laufen in Spiralform in einen Fixpunktattraktor.

Im Intervall $2 < \alpha \leq 3$ gilt:

- Die dynamische Systemexistenz liegt außerhalb der PPE.
- Ihr ungeordneter Charakter bzw. Komplexitätsform steigt mit wachsendem α.
- Die Trajektorien bilden im Zustandsraum Grenzzyklen (Mehrfachstabilitäten).

Mit weiter steigendem α und damit wachsender Sensitivität des Systems zerfällt die Ergebnisstruktur von Gleichung (5.11) vollends. Das Systemverhalten ist weder voraussagbar noch greifbar. Die dynamische Existenz des natürlichen Systems läuft beim Überschreiten des Feigenbaumpunktes[150] ins (deterministische) Chaos. Die Entwicklungslinien verlaufen u. U. völlig irregulär und nicht-periodisch in einem begrenzten Gebiet des Zustandsraumes. Die Systemdaseinsform liegt weit außerhalb der *PPE* und zeigt eindeutig das Verlassen des ope-

[148] Definition Attraktor siehe Anmerkung A5.10

[149] siehe Anmerkung A5.11

[150] Der „Feigenbaumpunkt“ trennt im Bifurkationsdiagramm den Periodenverdoppelungspfad vom chaotischen Bereich.

rationell relevanten autopoiesischen Betriebsbereichs an. Das System ist somit unfähig zur Regulierung der eigenen Beziehung mit der Umgebung und zur Selbstregulation.

α - Wertebereich	Charakter der Ansteuerung internaler Zielgrößensetzung bzw. der makroskopischen Verlaufsstrukturen	Organisationsform der korrelierenden dynamischen Systemexistenz	mathematisch eindeutige Fixpunktlösung der spez. Regulationsfunktion	Phasenportrait
[0 ; 1]	aperiodische Konvergenz	geordnet	vorhanden	
[1 ; 2]	dynamisch stabil	geordnet	vorhanden	
[2 ; 3]	dynamisch indifferent	ungeordnet	Anzahl von Mehrfachlösungen bzw. Fixpunktaufspaltungen steigt mit wachsendem α	
[> 3 → ∞]	dynamisch instabil	chaotisch	nicht existent	

OPE

PPE

Tab. 5.8: **Zuweisung von Organisationsformen für die Kategorisierung dynamischer Systemexistenzen in Abhängigkeit der Kontrollgröße α aus der Modalität der Regulationsgenese (in Anlehnung an [240])**

Zusammenfassend zeigt Tabelle 5.8 die Zuweisung bzw. die Ableitung von entsprechenden Organisationsformen dynamischer Systemexistenzen aus der Modalität der Regulationsgenese zu den diskutierten Intervallen der Kontrollgröße α (siehe auch Anmerkung A5.12).

In Ergänzung zum Zuordnungssystem der Tabelle 5.8, das sich im Wesentlichen aus der Ausprägung des Interiorisationsoperanden und der Interiorisationszeit ergibt, sind stationäre Fließzustände in anderen Zeithorizonten mit zu betrachten. Neben der Änderungscharakteristik der mentalen Systemanstrengung als ein Aspekt des „α - Einfluss“ zur Identifizierung von Grenzen menschlichen Regulationsvermögens, bietet wie Abbildung 5.4 mit Tabelle 5.1 zeigt die Ausprägung des mentalen Anstrengungsniveaus ebenso Rückschlüsse auf Organisationsformen mikroskopischer SO-Regime.

In Kapitel 4 wurde beschrieben, dass die mentale Systemanstrengung im Wesentlichen mit der Produktionsdichte der Interiorisationsentropie korrespondiert (Gl. (4.17)). Weiterhin wurde argumentiert, dass ein stabiles und damit akzeptables SO-Regime nur zur Verfügung stehen kann, solang die Zuwachsgeschwindigkeit bilanzierter Entropieresidien kleiner ist als der vom augenblicklichen Trägerkapazitätsniveau abhängige Betrag an maximaler Fluktuationsausdehnung (Abb.4.7) erlaubt. Ist diese Forderung nicht erfüllt, steht keine für die Bewältigung von Anforderungen notwendige Fluktuationsmarge in der Entropieproduktionsgeschwindigkeit bereit. Entsprechend des in Abb. 4.8 gezeigten Zusammenhangs fordert die Bilanzierungsbeziehung nach Gl. (4.21) für einen akzeptablen inneren Entropiezuwachs des Systems einen adäquaten Entropieexport. Dieser ist wiederum im Wesentlichen durch das Handlungsgelingen determiniert – also dem Erfolg der Situationsbeeinflussung als Arbeitsergebnis.

Misserfolg in der Regulation von Arbeitshandlungen im Flugbetrieb fördert die Extension von Situationsfreiheitsgraden (siehe Abschnitt 2.6.4), welches wiederum rückgekoppelt (siehe Abb. 5.5) das Potential an Ungeklärtem erhöht und damit eine größere Entropieproduktionsdichte notwendig wird, um ein adäquates Sicherheitsniveau wieder herzustellen. Durch diesen Rückkoppelungsprozess könnte das System durchaus in den schraffierten Bereich der Abb. 5.4 getrieben werden, wodurch es unweigerlich (ebenso wie bei zu hoher Änderungsdynamik der mentalen Anstrengung) einem Status zustrebt, der durch Dissoziation von Handlungsstrukturen gekennzeichnet ist, falls die Systembedrohung bestehen bleibt oder zunimmt und keine adäquaten SO-Alternativregime aufgerufen werden können.

In Tabelle 5.9 wird ein Kriteriensystem zur Identifizierung von Grenzen menschlichen Regulationsvermögens vorgeschlagen. Es wird deutlich, dass die beiden aufgeführten Komponenten hinsichtlich des Bewertungsgegenstandes in komplementärer Weise miteinander korrespondieren.

Hinweis:

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass es möglich ist mit Gl. (5.11) auch Entwicklungsverlaufsmuster von Relaxationsphasen des Subsystems abzubilden. Ein grafisch aufbereitetes Beispiel dazu kann Anmerkung A5.13 entnommen werden.

Element	Kriterienbezug	Gegenstand	Indikator	OPE / PPE- Kriterien*	Phänomen bei Nichterfüllung
Bilanz-Komponente	Arbeitsergebnis	Güte der Handlungswirksamkeit	$\left(\frac{dS_i^*}{dt}\right)$	$\left(\frac{dS_i^*}{dt}\right)_{(R)} \overset{!}{\leq} k_{OPE} \cdot \tilde{\vartheta}_{zul}$ $\left(\frac{dS_i^*}{dt}\right)_{(R)} \overset{!}{\leq} k_{PPE} \cdot \tilde{\vartheta}_{zul}$	Dissoziation von Handlungsstrukturen
Alpha-Komponente	Arbeitsvollzug	Modalität der Regulationsgenese	α	$\alpha_{OPE} \leq 1$ $\alpha_{PPE} \leq 2$	

*) Margenfaktoren: $k_{OPE} < k_{PPE} < 1$

Tab. 5.9: **Kriteriensystem zur Identifizierung von Grenzen menschlichen Regulationsvermögens im Arbeitsprozess**

Kapitel 6

Zur Vorbereitung der empirischen Nachweisführung

Die Entwicklung des theoretischen Konstrukts wurde kontinuierlich berufsspezifisch hinterfragt, um das Ausmaß der Idealisierung festzustellen, die logische Vereinbarkeit mit anderen Theorien herzustellen und die innere logische Konsistenz zu gewährleisten. Die Beschreibungsprinzipien wurden derart strukturiert, dass einerseits ihre empirische Überprüfung als durchführbar erscheint und andererseits Konsequenzen gewonnener Resultate widerspruchsfrei bewertbar werden. Der Tauglichkeitsnachweis soll entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 1.2 erfolgen.

6.1 Methodik zur Eignungsprüfung des theoretischen Konstrukts

Um die Eignung des theoretischen Konstrukts für die angestrebte Modellbildung zu prüfen bzw. nachzuweisen, wird ein dreistufiges Vorgehen vorgeschlagen. Dabei sind Teillösungen von zwei Nebenproblem- und einer zusammenfassenden Hauptproblemstellung zu realisie-

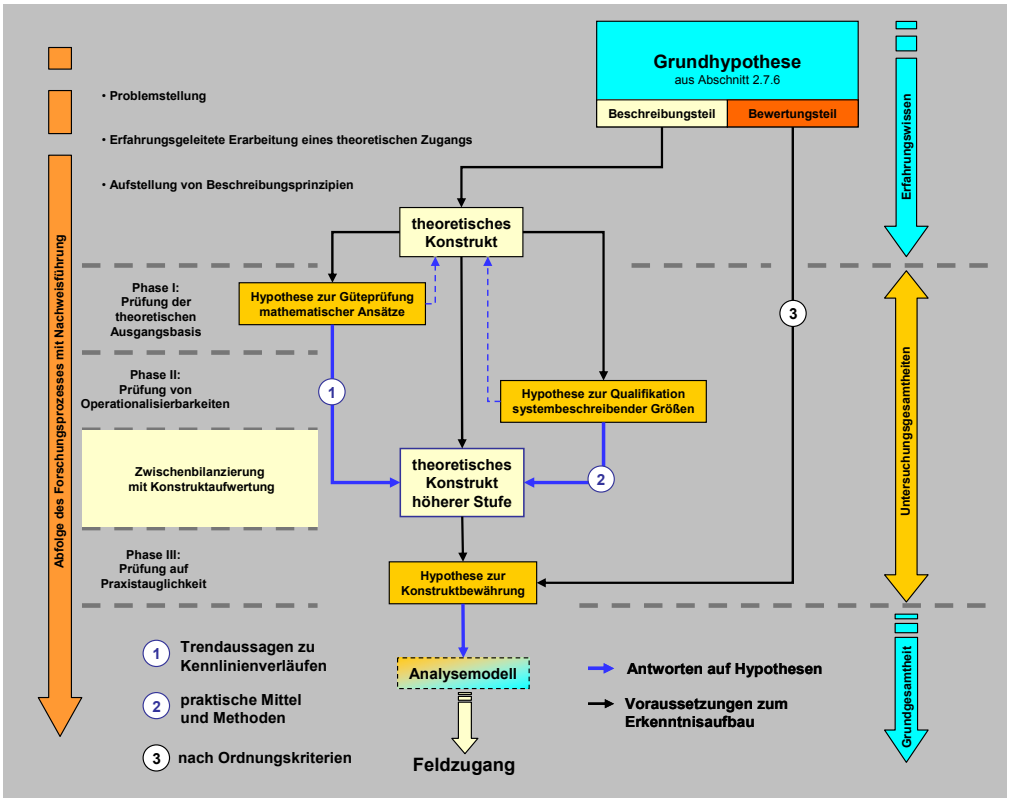


Abb. 6.1: **Vorschlag zur Abfolge des Nachweisprozesses für die Konstruktverifizierung**

ren. Die grafisch aufbereitete Bearbeitungssequenz zeigt Abbildung 6.1. Sie besteht aus den folgenden drei Phasen:

- Zunächst gilt es die mathematischen Ansätze auf ihre Güte hin zu überprüfen.
- Darauf folgt, die Operationalisierbarkeit System-beschreibender Indikatoren und mikroskopischer Prozessdeterminanten festzustellen. Dies ist sowohl von der Methodenwahl als auch vom projektierten Verfahrensablauf zur Nachweisführung der dritten Phase abhängig.
- Letztlich soll die Praxistauglichkeit des Konstrukts nachgewiesen werden.

Die beiden letzten Phasen sind einerseits im konzeptionellen Kontext ihrer widerspruchsfreien Realisierbarkeit unter realen Umgebungsbedingungen zu sehen. Andererseits müssen ihre Ergebnisse sowohl zueinander kompatibel als auch schlüssig zu den Ergebnissen aus der ersten Nachweisphase sein. Dies bedeutet, dass sich die Nachweisführung sowohl aus Ergebniselementen der einzelnen Phasen zusammen setzt, als auch als Erkenntniskollektiv aus der integrativen Komponentenzusammenstellung besteht. Letztere macht den eigentlichen Erkenntnisgewinn aus und trägt somit Prüfcharakter für die Gesamtanordnung.

6.1.1 Phase I: Zur Güteprüfung grundlegender mathematischer Beschreibungsansätze

Das Ziel in der ersten Phase ist der Erhalt von empirisch gewonnenen zentralen Trendaussagen zur Art der angesetzten Kennlinienverläufe. Diese beschreiben die Veränderungsbedingungen des Prozessmerkmals *Regulationsaktivität* von Arbeitspersonen unter Belastungsbedingungen bei begrenztem Ressourceneinsatz. Sie bilden den Kern des zu bestätigenden Konstruktunterbaus.

Der Problemgegenstand erschließt sich in der Unklarheit über funktionale Zusammenhänge zwischen freien Variablen von zu operationalisierender mentaler Systemanstrengung und der Größe, welche die Ausprägung der zugehörigen Regulationsaktivität anzeigt. Die Problembedingungen ergeben sich einerseits aus Subjektivitätsaspekten der Arbeitsperson und andererseits aus der Unsicherheit über die Wahl geeigneter praktischer Mittel und Methoden. Die Problemstellung ist dahin gehend bereits simplifiziert, als es zunächst nur gilt die Form bzw. Wirkung der im Konstrukt angesetzten mathematischen Beziehung zu verifizieren. Damit wird das Relationsproblem einer Lösung zugänglicher gemacht.

6.1.2 Phase II: Zur Prüfung der Repräsentationseignung von Prozessdeterminanten

Die Zielsetzung der zweiten Phase zur Feststellung der Konstrukttauglichkeit besteht in der Prüfung der in Kapitel 5 aufgestellten Parameter bzw. Variablen hinsichtlich ihrer Repräsentationseignung als regulationsvorgebende Instanzen und ihrer damit verbundenen Nutzbarkeit als Organisationsindikatum[151] von dynamischen Systemexistenzen. Der Problemgegenstand reflektiert sich in der Schwierigkeit die Substanz wesentlicher Prozessgrößen, wie z. B. des *Interiorisationsoperanden* zu operationalisieren und damit gleichzeitig den Beweis hinsichtlich seiner Existenz anzutreten. Damit verbunden ist auch die Extraktion eines entsprechend zweckdienlichen Indikators. Die Problembedingungen entspringen im Wesentlichen aus der Unkenntnis bezüglich einer aussichtsreichen Realisierungsmethode zur quantitativen

[151] Der Begriff *Indikatum* bezeichnet hier das durch einen Indikator *Anzuzeigende* [109b].

Erfassung und Auswertung mikroskopischer Veränderungsdaten. Diese lässt sich wiederum an den heutigen begrenzten Möglichkeiten der Messtechnik festmachen, wobei die hohe Dynamik und die Art des Indikatums bzw. des Messobjekts das Problematische induzieren.

Die zweite Phase der Nachweisführung wird demzufolge von einem Demonstrationsproblem dominiert.

6.1.3 Phase III: Konstruktanpassung und -kalibrierung

Das Ziel der dritten Phase des Eignungsnachweises besteht in der Qualitätssteigerung der arithmetischen Beschreibungsprinzipien. Diese impliziert das theoretische Konstrukt in einen Modellstatus überführen zu können. Die Problemstellung richtet sich somit auf den eigentlichen Nachweis der Praxisbewährung des theoretischen Konstrukts. Der Problemgegenstand erschließt sich einerseits in der Aufstellung eines geeigneten Kriteriensystems zur Realitätsabbildungsgüte der Modellierung mit der Festlegung geeigneter Idealisierungsgrade. Andererseits bedarf es der Eröffnung einer tauglichen Methode zur Kategorieneinordnung der Ergebnisse aus der projektierten Gegenüberstellung, wie sie in Abbildung 2.21 dargestellt ist. Dabei geht es um den Vergleich von qualitativen Aussagen zu beobachtbaren Verhaltensmustern von Arbeitspersonen mit zeitlich synchronisierten quantitativen Messgrößen. Wesentliche Problembedingungen bestimmen sich aus der Situationskomplexität an sich und aus den Subjektivitätsaspekten in der Situationsbeurteilung durch die Kompetenz bzw. Persönlichkeit der Bewertenden.

Als Zusammenführung der vorangehenden Teilproblemstellungen besitzt die Struktur der vorliegenden Hauptproblemstellung somit theoretische wie praktische Komponenten. Sie ist sowohl von strategischer als auch von analytischer Natur und ist durch ein komplexes Demonstrationsproblem gekennzeichnet.

6.1.4 Grundvoraussetzungen zur Untersuchungs- Methodik

Zur Verifikation des Wahrheitsgehalts des theoretischen Konstrukts (als Urteil) wird zu den drei projektierten Qualifikationsphasen ein hypothetisches Aussagensystem formuliert. Die Reihenfolge der Aufstellung kennzeichnet gleichsam das proklamierte Konzept zu ihrer Bearbeitung, um den aufbauenden und gegebenenfalls iterativen Charakter des Ablaufs zur Zielrealisierung gewährleisten zu können. Als vorläufige Erklärung des Relationsproblems der ersten Phase sei die folgende Konditionalaussage formuliert:

- Wenn die beiden kontinuierlichen und subjektiv determinierten Merkmale, *relative Regulationsaktivität* und *mentale Systemanstrengung* eines Arbeitsprozessabschnitts synchronisiert zueinander in Beziehung gesetzt werden, dann würde ihr Ausprägungszusammenhang einen S-förmigen Verlauf aufzeigen, der mit einer Exponentialfunktion gemäß Abbildung 5.4 beschreibbar wäre.

Die zweite Phase der empirischen Untersuchung weist sich durch die Aufspaltung des vorliegenden Demonstrationsproblems aus: Einerseits gilt es implizit den Operandencharakter von $\partial I_F / \partial t$ als einen wesentlichen Bestandteil des Kontrollparameters α nachzuweisen. Andererseits steht die Sortierbarkeit des gesamten, durch α ausgedrückten Prozessdeterminantenkollektivs zur Darstellung von Organisationsformen im Fokus der Beweisführung. Dazu lässt sich zunächst eine ungerichtete Arbeitshypothese aus dem theoreti-

schen Ansatz ableiten, die durch eine gerichtete wahrscheinlichkeitsbelegte Aussage ergänzt wird.

- Wenn es gelänge über empirische Methoden und geeignete Algorithmen physiologische Veränderungserscheinungen der Willenszentrale des belasteten Subsystems in Form eines musterspezifischen Indikators mit integrativen Charakter zu extrahieren, dann ließe sich korrespondierend dazu der theoretisch extrahierte Kontrollparameter α als Operand von Handlungsmodalitäten manifestieren.
- Es wird angenommen, dass sich die Veränderungsmagnitude des Operandenindikators als ein Sortierungskriterium eignen könnte, die augenblickliche Organisationsform des belasteten Systems hinsichtlich ihres Ordnungscharakters zu klassifizieren.

In der dritten Phase der Nachweisführung richtet sich der Blick auf die eigentliche Anwendbarkeit des theoretischen Konstrukts in der Praxis. Dazu muss zunächst ein belastbares Konzept zur Adaption des Konstrukts an die Realität gefunden werden. Hierzu bedarf es eines Vergleichsschemas, das es ermöglicht die Ausprägung der synthetisch aufgestellten Konstruktparameter bzw. Prozessindikatoren ins Verhältnis zu beurteilbaren Situationssachverhalten zu stellen, um dann die Messdaten in einem weiteren Schritt integrativ einer aussagefähigen Sortierung zuführen zu können.

Die entsprechende Arbeitshypothese als Voraussetzung eines Ansatzes zur Lösung des übergreifenden Demonstrationsproblems lautet damit:

- Wenn es im Arbeitsprozess gelänge kalibrierte Messdaten des Operandenindikators kontinuierlich sachverhaltsspezifischen Beobachtungen synchronisiert gegenüber zu stellen, dann wäre aus dem Vergleichsresultat die Identität des Übergangs von akzeptablen zu nicht mehr tolerierbaren Beschaffenheitskategorien des belasteten menschlichen Subsystems erkennbar.

6.2 Nachweiskonzept zur empirischen Güteprüfung

Aufgrund limitierter Forschungskapazität kann sich hier der empirische Teil des Erkenntnisprozesses nur auf die Darstellung eines möglichen Nachweiskonzeptes beschränken. Dieses muss konsistent zu den Ausführungen des Abschnitts 6.1 sein und auf die Qualifizierung des theoretischen Konstrukts als Analysewerkzeug hin ausgerichtet werden. Das Luftfahrtfachspezifische Vorgehen wird für die erste Beweisphase eingehender betrachtet. Es gilt entsprechend auch für die projektierten Prüfabläufe in der zweiten und dritten Phase. Allerdings beeinflussen dort eher die Beantwortung messtechnischer Frage- bzw. Problemstellungen die Methodenwahl, die damit im Vordergrund des empirischen Teils des Forschungsprozesses steht.

6.2.1 Kriterienwahl zur Qualifikationsprüfung des mathematischen Kennlinienansatzes

Die in Abschnitt 6.1.1 aufgestellte Zusammenhangshypothese besitzt mit ihrem operationalen Charakter ausschließlich einen Bezug auf die Untersuchungsgesamtheit. Sie stellt eine Prognose für die Suche nach kausalen Strukturen der Grundgesamtheit dar. Die empirische Überprüfung des funktionalen Zusammenhangs soll somit nach den Gütekriterien *Zuverlässigkeit* und *Gültigkeit* unter kritischer Beachtung bzw. Sicherstellung der notwendigen Kau-

salbedingungen durchgeführt werden. (Dies sind das zeitliches Vorausgehen der Ursache vor der Wirkung, die Vermeidung von Kovariation von Ursache und Wirkung und die Ausschließbarkeit von alternativen Ursachen.) Dabei ist in der Nachweisführung der Gültigkeitsbeweis hinsichtlich der Validität des statistischen Schlusses, der internen Validität, der Konstruktvalidität und der externen Validität zu erbringen.

Die Stringenz der Vorgehensweise soll im vorliegenden Fall aktiv durch die multiple Manipulation bzw. Konstanthaltung von Versuchsbedingungen kontrolliert werden. Dies erfolgt erfahrungsgeleitet unter Zugrundelegung von engen korrelativen Beziehungen zwischen der Intensität eingebrachter Systembeeinflussungen (Initiativen bzw. Störungen) und der Ausprägung von zu erwartenden Konsequenzen (Systemantworten bzw. Verhalten).

Ebenso wie die Ermittlung einer Gültigkeitsaussage erstreckt sich der Zuverlässigkeitsnachweis als empirische Trendanalyse ausschließlich auf den Stichprobenumfang, dessen Signifikanz in Bezug auf die Grundgesamtheit ggf. über die Formulierung einer Nullhypothese im Zuge einer weiteren Theoriepräzisierung zu erbringen ist. Allerdings soll hierauf zunächst verzichtet werden, da sich die Reliabilitätsprüfung in der ersten Nachweisphase zur Beurteilung der Konstrukttauglichkeit aufgrund des theoretisch angesetzten funktionalen Variablenbezugs[152] nur auf die Feststellung der Vorhersagegenauigkeit bzw. -enge erstreckt.

6.2.2 Das Experiment als methodischer Ansatz zur Qualifikationsprüfung

Das Prüfverfahren muss nach induktiven Methoden derart ausgelegt sein, dass es möglich ist, reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen, die einen überzufälligen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung beweisen können (Validität des statistischen Schlusses) [241]. Damit ist kombinatorisch auch eine Aussage über die Zuverlässigkeit hinsichtlich der Beobachtungsqualität[153] verflochten. Dazu ist ein Stimulus zu setzen, der vergleichbare Ereignisse induziert und dessen determinierte Variation bestimmte Effekte herbeiführt, die in anderen Situationen nicht beobachtbar sind. Liegt dies vor, dann kann davon ausgegangen werden, dass diese Umstandsänderung (Unterschied) der Grund für den Effekt darstellt. Dabei sind Effektrichtung und –stärke in Beziehung zur Reizvariation zu setzen. Treten die Ereignisse wiederholt in unterschiedlichen Situationen und bei verschiedenen Personen auf, so kann der Stimulus im Sinne einer Kausalitätsprüfung als Bedingung für die Ereignisse angesehen werden.

Um diese Forderung zu erfüllen, sollen definierte Experimentalsituationen geeigneter Flugbetriebsanordnungen im Labor[154] hergestellt werden. Hier können nicht nur bestimmte Variationen des Stimulus zur Manipulation der unabhängigen Variablen durch den Versuchsleiter

---

[152] Hierzu wird ein nichtlinearer bzw. exponentialer Zusammenhang unterstellt (Abb. 5.4).

[153] Unter dem Begriff *Beobachtung* wird in Anlehnung an *LAATZ* verstanden: „…das Sammeln von Erfahrungen in einem nichtkommunikativen Prozess mit Hilfe sämtlicher Wahrnehmungsmöglichkeiten…“ [242].

[154] Definition zum Begriff wissenschaftliches Experiment nach *ZIMMERMANN*: „… wiederholbare Beobachtung unter kontrollierten Bedingungen, wobei eine (oder mehrere) unabhängige Variable (n) derartig manipuliert wird (werden), dass eine Überprüfungsmöglichkeit der zugrunde liegenden Hypothese (Behauptung des Kausalzusammenhanges) in unterschiedlichen Situationen gegeben ist…“ [243].

geplant und durchgeführt werden, sondern es ist auch die Wiederholbarkeit der Erhebungssituationen gut zu gewährleisten. Weiterhin liegt der Vorteil in der Kontrollierbarkeit von Störeinflüssen (→ höhere interne Validität), in der Möglichkeit einerseits mehrere experimentelle Gruppen zur Varianzkontrolle zu bilden und andererseits eine zufällige Zuordnung der Probanden zu den experimentellen Gruppen bzw. Versuchsbedingungen zu bewerkstelligen (Randomisierung → personengebundene Zustandsgrößen können weitgehend „neutralisiert" werden, falls dies aufgrund der Versuchsstruktur nicht erwünscht ist) [244].

Der Rechtfertigungsumfang zur Darstellung versuchsspezifischer Konstruktvalidität bezieht sich auf die Realisierungsgüte der zu erhebenden Variablen hinsichtlich der Maximierung ihrer Abbildungsrelevanz sowie Minimierung von Defizienz und Kontamination [110]. Unter Berücksichtigung des Versuchsziels eine reizinduzierte Initiativen-Konsequenzen-Beziehung zu analysieren, ist die Erfassung der interessierenden Größen durch brauchbare Einschränkungen von Rahmenbedingungen in der Aufgabenstellung und der Stimulans zu kanalisieren. Dies erfordert zum einen ein versuchsstrategisches Vorgehen und verlangt zum anderen die Anwendung eines weitgehend reaktivitätsfreien Messverfahrens.

Die Methodenwahl zur Qualifikationsprüfung richtet sich einerseits nach den Erfordernissen zur Gewährleistung der in Abschnitt 6.2.1 aufgestellten Bedingungen bezüglich der Beschaffenheit experimenteller Versuchsarrangements. Andererseits muss in allen Versuchsabschnitten stets der Notwendigkeit Rechnung getragen werden Maßnahmen zu etablieren, die den Schutz von Personen und Sachen vor Schädigung garantieren. Um beiden Forderungen gerecht zu werden, bietet es sich an, die intendierte Qualifikationsprüfung in einer Umgebung simulierter Realität durchzuführen. Dazu ist eine komplexe Versuchsanlage mit entsprechender Infrastruktur erforderlich, die auch eine adäquate Messdatenausgabe bereitstellen kann. Dem Gütemaß der synthetisch erzeugten Verhältnisse muss in sofern eine elementare Bedeutsamkeit zugemessen werden, als sich diese sowohl direkt auf die zu prüfende Qualität bzw. Gültigkeit der Versuchsgestaltung auswirkt (→ externe Validität) als auch das Versuchsresultat beeinflusst. Besonders im Bereich von Erprobungen zu Mensch-Maschine-Interaktionen am Rande des menschlichen Adaptions- bzw. Leistungsvermögens konnten Erfahrungen gesammelt werden, die eine sensitive Bewertung der mit Einsatz von Simulatoren gewonnenen Versuchsergebnissen erfordert. Im Vergleich von Simulation und realem Flugversuch heißt es z. B. zur *PIO*-Thematik: "…but the cues and clues (of simulation) are more subtle and less distinct than they are in flight tests…" [245]. Der Untersuchung dieses Phänomens widmet sich z. Zt. das DLR- Forschungsprojekt AIDA [246]. An dieser Stelle sei angemerkt, dass sowohl die Auswahl einer relevanten Menge extrahierter Messdaten als auch für deren Interpretation hinsichtlich einer ursächlichen Zuordnung „Belastung" ↔ "Beanspruchung", ein erfahrungsgeleitetes Vorgehen erfordert. Trotz einer guten Messtechnik bleibt das Urteil des Versuchsleiters aus seinen Beobachtungen der Szenarien eine wesentliche Voraussetzung, um aus Mehrfachdeutungen auf die wahrscheinlichste schließen zu können.

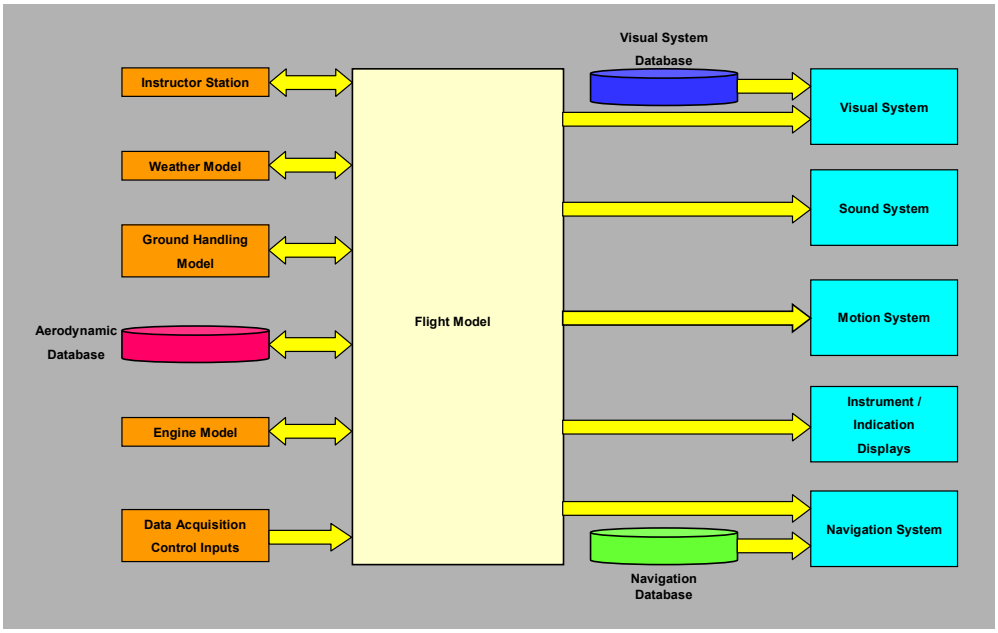


Abb. 6.2: **Generelle Architektur eines modernen Flugsimulators nach [247]**

Mit den gewonnenen theoretischen Erkenntnissen aus Abschnitt 5.2.6 kann vermutet werden, dass die Auswirkungen der Emotion *Angst* auf die phänomenologische Beschaffenheit von Flugversuchsergebnissen prägnanter zu Tage treten als Konsequenzen in Simulationsresultaten, die durch die Gemütsbewegung *Furcht vor Misserfolg* (*FM*) erzeugt werden. Es scheint plausibel, dass dieser noch näher zu erforschende Effekt des *Weltbezugs*, im Gegensatz zur *FM*, durch den starken existenziellen Gehalt der Angstemotion auf das menschliche Subsystem hervorgerufen sein kann. Trotz dieses Mankos muss dem Einsatz von Flugsimulatoren in der Versuchsplanung dennoch der Vorrang vor dem realen Flugversuch eingeräumt werden, da sich die von den Probanden zu bewältigenden Anforderungen an Extremsituationen orientieren müssen. Dabei sind ethisch vertretbare Versuchsvoraussetzungen zu etablieren. Um den individuellen Wirklichkeitsbezug der Versuchspersonen schon im Ansatz so gut wie möglich schaffen zu können, muss die Funktionsarchitektur der Realitätssimulation sowohl in ihren Komponenten als auch in ihrer abgestimmten Einheit eine hohe Nachahmungsqualität aufweisen. Die dazu notwendige und derzeit übliche Organisationsstruktur eines modernen Flugsimulators zeigt Abbildung 6.2 [247]. Das höchste Niveau an Wiedergabetreue ist im zivilen Luftfahrtbereich z. Zt. nur mit 6 *DOF*-Flugsimulatoren in der Qualifizierungsstufe D möglich, entsprechend JAR-STD 1A [248] bzw. FAA 120-40c oder FAA 120-63 und ihrer Evaluation nach internationalen Qualifikationsstandards für Flugsimulatoren (*IQTG*) [249]. Ein Zugang zu höherwertigen Forschungssimulatoren, wie z. B. dem *VMS* der *NASA* wäre wünschenswert, wobei dies eine Frage nach der zur Verfügung stehenden Forschungskapazität aufwirft.

6.2.3 Operationalisierung und Festlegung der Erhebungsmethode

Zur Verifizierung des angesetzten Kennlinienverlaufs in Abbildung 5.4 gilt es in Bewältigungsszenarien von Arbeitsanforderungen die Relation zwischen der Ausprägung der mentalen Systemanstrengung I_F als unabhängige Variable und der relativen Regulationsaktivität p_F als abhängige Variable zu ermitteln. Es ist festzulegen, welche Operationen indikativ für die zu erhebenden Größen stehen, wobei dies im Zusammenhang mit dem physikalischen Messzugang[155] steht. Als Indikator von I_F wird erfahrungsgeleitet das jeweils subjektiv belegte Beanspruchungserleben von Probanden während des Arbeitsvollzugs heran gezogen. Die Relativgröße p_F soll durch die Messung eines korrespondierenden Absolutwertes im äußeren Zeitverlauf abgebildet werden. Wie in Abschnitt 6.1.1 ausgeführt scheint dieses Vorgehen für die angestrebte Nachweisführung aus der derzeitigen Perspektive ausreichend zu sein.

Zur Erfassung der Indikatoren, welche die Objektzustände gemäß Abschnitt 5.2.3 repräsentieren, wird eine aufgabenspezifische Erhebungsmethode nach *BAUSCHAT* vorgeschlagen [251]. Neben der Ausnutzung der inhaltlichen Nähe zur vorliegenden Aufgabenstellung besitzt dies u. a. den Vorteil, dass man sich bei der hier geforderten Versuchsauslegung auf eine, bereits im *AIDA*- Projekt gemachte persönliche Erfahrung als Proband in der Praxisanwendung beziehen kann. Die Handhabbarkeit von Teilen des Versuchsverfahrens hinsichtlich der hier vorliegenden Anforderungen ist somit besser zu bewerten, leichter anzupassen und zu optimieren.

Bei den zu erhebenden Zahlenangaben handelt es sich im Falle des intellektuellen Beanspruchungserlebens als Indikator der mentalen Systemanstrengung um komparative Daten, die originär auf einer Ordinalskala verortet werden. Aus Gründen der arithmetischen Verwertbarkeit sollen hier die mit dem *MCHR*- Instrument (siehe unten) erhobenen Ausprägungen des Indikators methodisch sinnvoll auf eine metrische Skala, in erster Näherung unter Zugrundelegung eines diskreten Intervallabstandes, linear transformiert werden. Damit ließe sich Raum für mathematisch auswertbare und statistisch belegbare Zuverlässigkeitsangaben bei adäquatem Informationsgehalt erwirken.

Im vorliegenden Versuchsszenario wird unter Berücksichtigung der Vielfalt von Instrumenten zur Erhebung von Daten zur Auswirkung menschlicher Arbeit auf die Arbeitsperson [40f] die Nutzung einer angepassten, von *WIERWILLE* und *CASALI* modifizierten Cooper-Harper Skala vorgeschlagen [252]. Die im vorliegenden Versuchsablauf einzusetzende spezielle Ausführung zeigt Abbildung 6.3. Die Strategie orientiert sich am Abbild eines Entscheidungsbaums, welches die Urteilsfindung des Bewertenden unterstützt und dabei gleichzeitig ein gutes Referenzmuster zur Strukturierung der subjektiven Empfindenswahrnehmung bildet. Die Methode hat sich im Experimentaleinsatz bewährt und erreicht eine hohe Anwenderakzeptanz [253]. Weitere Anwendungserfahrungen sind Anmerkung A6.1 zu entnehmen.

---

[155] …im Sinne einer Definition von *BORTZ*: „…Das Messen ist eine Zuordnung von Zahlen zu Objekten oder Ereignissen, sofern diese Zuordnung eine homomorphe Abbildung eines empirischen Relativs in ein numerisches Relativ ist…“ [250].

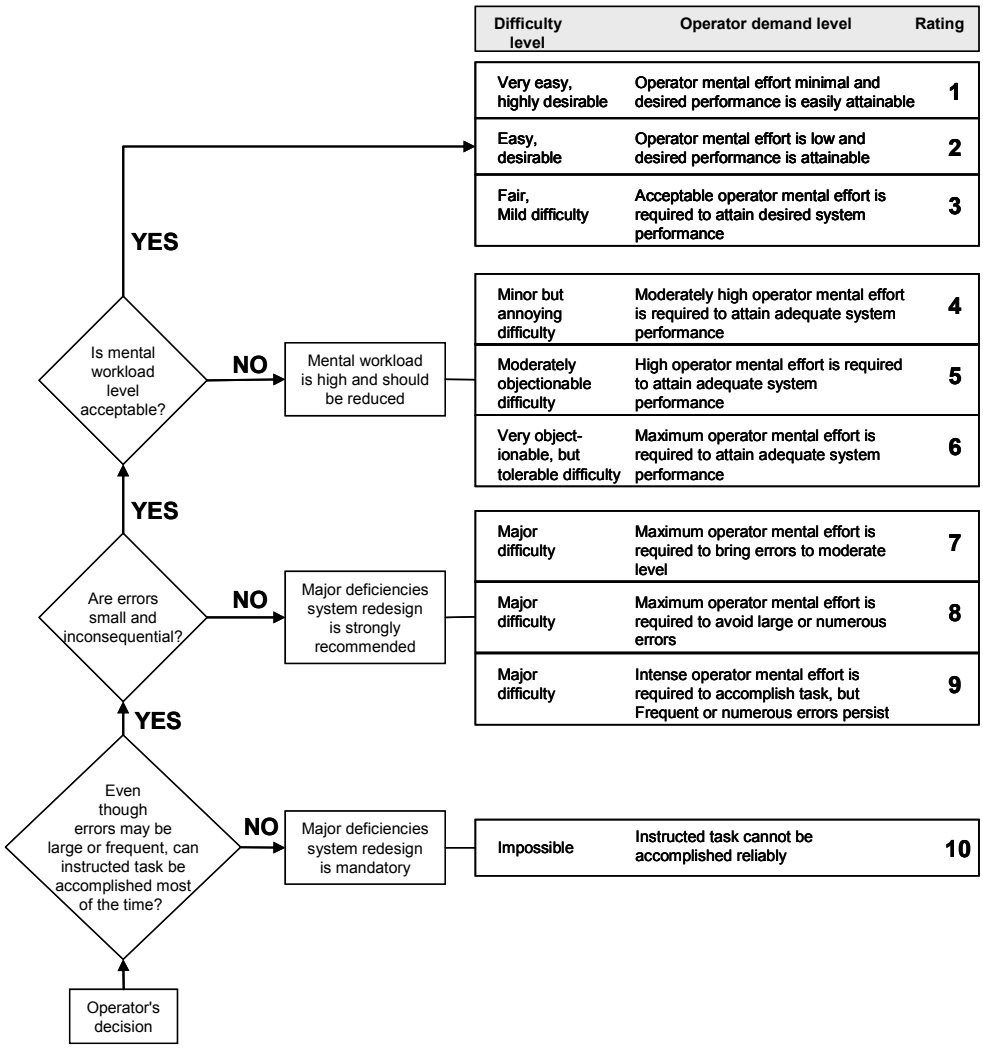


Abb. 6.3: ***MCHR*- Skala nach [252]**

Die Regulationsaktivitätsbestimmung erfolgt indirekt über die Aufbereitung einer zeitlich aufgenommenen metrischen Rohmessdatenschar. Die Ergebnisse der Auswertungen werden entsprechend der Art ihres numerischen Relativs auf Intervall- bzw. Verhältnisskalen verortet. Die folgende Beschreibung der Datenerhebung und -verarbeitung erfolgt zunächst nur für die Messwertaufnahme eines einzelnen Parameters P ohne eine direkte Einbeziehung der Handlungswirksamkeit auf die Situationsentwicklung, da hier zunächst nur die Kenntnis des Trends personenbezogener Funktionsverläufe von den jeweils im Versuch beteiligten Probanden ausreichend ist. Durch eine zusätzliche Einbeziehung von Gütefunktionen in die Datenauswertungen wären implizit die jeweiligen Erfolge eingesetzter Regulationsaktivität sichtbar zu machen. Damit könnten sich ggf. *MCHR*- Aussagen der Probanden besser interpretieren lassen.

Die Aufbereitung zusammenhängender Primärmesswerte als integraler Indikator der Regulationsaktivität eines *Task*[156] erfolgt in Anlehnung an [254]. Als Voraussetzung dazu ist die Existenz und Möglichkeit der Auswahl einer geeigneten physikalischen Messgröße, welche einen Handlungsvollzug repräsentiert. Hier bietet es sich an klar abgrenzbare Bewegungsgrößen menschlicher Extremitäten zu nutzen, wie z. B. die Eingaben in Steuereinrichtungen eines Flugzeuges. Diese Steuereingaben lassen sich entsprechend der Flugzeugachsen in drei Bewegungsrichtungen unterscheiden. So manipulieren Höhensteuereingaben die Längsbewegung des Flugzeugs und beeinflussen damit das vertikale Profil von dessen Flugbahn. Entsprechend verhält es sich mit Quer- und Seitensteuereingaben. *BAUSCHAT* konnte eine positive Korrelation zwischen der von ihm definierten *overall activity*[157] und *workload*- Dimensionen gemäß *NASA-TLX*-Klassifizierungen nachweisen. In Anlehnung daran wird hier die Ausprägung der *overall activity* der im vorliegenden Zusammenhang nachzufragenden Regulationsaktivität gesetzt. Somit lässt sich P_{task} aus den gemessenen Amplituden der Steuerwege um einen Trimmzustand (Steuer-Nullstellung) $\delta(t)$ innerhalb eines Zeitintervalls der Anforderungsbewältigung bestimmen. Dazu muss in Anlehnung an [254] die gemessene Zeitfunktion in ein Leistungsdichtespektrum übertragen werden. Dies erfolgt über eine Fourier-Transformation zu:

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \tag{6.1}$$

Die Gesamtfläche unter $G(\omega)$ entspricht der Varianz der Zeitfunktion:

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) d\omega \tag{6.2}$$

In einem Frequenzintervall $\Delta\omega$ ist der Flächenabschnitt unter $G(\omega)$ gleich der Leistung des gemessenen Signals. Bei den stochastisch auftretenden Messgrößen lässt sich mathematisch eine prozedurale Vereinfachung zur Bestimmung der Regulationsaktivität ansetzen. Dazu ist die aufgenommene Messreihe numerisch einer Fast-Fourier-Transformation zu unterziehen. Entsprechend Gl. (6.2) und dem auftretenden Frequenzspektrum der Steuerbetätigung lässt sich das Regulationsaktivitätsniveau der spezifischen Flugaufgabe errechnen.

Eine weitere Vereinfachung kann durch eine direkte Ermittlung der Varianz aus dem Messschrieb erfolgen [246a]:

$$P_{task} := \sigma^2\Big|_{\Delta\omega} \hat{=} \left. \frac{\sum_{i=1}^{n} (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n} \right|_{\Delta t_B} \tag{6.3}$$

---

[156] Tätigkeitssegment als zu vollziehende Teilaufgabe im Betriebsablauf / Flugablauf, wie z. B. das Durchführen eines Instrumentenanfluges.

[157] …im Sinne von *Breitbandigkeit* der Handlungen in Bezug auf das Aktivitätsspektrum

Die Aufbereitung der ermittelten Regulationsaktivität eines *Tasks* hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bei der Anforderungsbewältigung bzw. der Lösungsqualität der Aufgabenstellung ist z. B. denkbar, wenn man ein *Integralkriterium* zur Regulationsgüte [254a] von zu manipulierenden Betriebsgrößen einbezieht, z. B. die Abweichung von einem zu erreichenden Ziel- bzw. Sollwert. Allgemein lässt sich mit $z(t)$ als Sollgröße, $y(t)$ als Ist-Größe und $e(t)$ als absolute Abweichung für den relativen Fehler $\varepsilon(t)$ schreiben:

$$\varepsilon(t) \;=\; \frac{e(t)}{e_{max}} \;=\; \frac{z(t)-y(t)}{e_{max}} \tag{6.4}$$

Auf der vereinfachten Ansatzbasis einer *quadratischen Regelfläche* zur Fehlerbewertung[158] wird hier eine dimensionslose Gütefunktionsart ohne Glieder höherer Ordnung gewählt:

$$E(\Delta t_B) \;=\; E_{task} \;=\; \frac{1}{\int_{t_{Start}}^{t_{Ende}} \varepsilon^2(t)\,dt} \tag{6.5}$$

Der Betrag von E_{task} repräsentiert die Güte der Aufgabenlösung und zeigt in Relation zum Schwierigkeitsgradsverlauf der Aufgabenbewältigung das aktuelle personenbezogene Profil des Leistungs- bzw. Regulationsvermögens der Arbeitsperson. Über diese diskrete Abbildung lassen sich sowohl Rückschlüsse auf Defizite im Bewältigungsstil als auch auf Reifeprozesse hinsichtlich der Aufgabenbearbeitung ziehen. Mit Bezug auf die Argumentation in Kapitel 4 reflektiert E_{task} den erfolgten Export von *Interiorisationsentropie* an die Umgebung.

Weiterhin ist es denkbar über die in Abbildung 5.6 skizzierte *Speed-Accuracy-Trade-Off-Function* Anhaltswerte zu Größenordnungen der *Interiorisationszeit* zu erhalten. Diese Untersuchung würde den Rahmen des vorliegenden Beitrags jedoch bei weitem überschreiten.

Bleibt noch zu vermerken, dass die relative Regulationsaktivität entsprechend Gl. (5.3) zu ermitteln ist, wobei als Bezugsniveau der max. zu beobachtende Systemeintrag einer zeitlich abgeschlossenen Messkampagne mit dem jeweiligen Probanden zu wählen wäre.

6.2.4 Generelle Versuchsanforderungen

Im weiteren Verlauf der Methodenbeschreibung werden Begriffe aus der berufs- bzw. fachspezifischen Terminologie aus der operationellen / technischen Luftfahrt benutzt, um semantische Verwechslungen bzw. Ungenauigkeiten zu vermeiden.

Da der jeweilige Proband auch der Bewertende seines eigenen Systemstatus ist, muss die Ablaufplanung der Ereignisfolge im Experiment Raum für diskrete Eigenkalibrierungen im Erhebungszeitraum vorsehen, um die Erstellung eindeutig interpretationsfähiger Relativaussagen über seine selbst festgelegten Bezugsniveaus zu erleichtern. Diese subjektiv bestimmten Schätzvorgänge sind vom Grad der Selbsterkenntnis und der Selbstbewertung gemäß gewonnener Erfahrungsfunktionen der einzelnen Bewertenden abhängig [208a]. Die

[158] hiermit werden mathematisch kleine Abweichungen vom Sollwert gering und große Differenzen stärker gewichtet

Entscheidungen für ein Bewertungsquantum können somit verzerrt zum Ausdruck gebracht werden und unterliegen der Äußerungsbereitschaft und des –vermögens des Probanden. Daraus kann eine mögliche Kontamination der Informationsgewinnung resultieren, die es zu verhindern gilt. Hierzu bedarf es, wie in Abschnitt 6.2.3 eingeführt, der Verwendung einer standardisierten und einfachen sowie transparenten Antwort- bzw. Bewertungsstruktur, die reaktive Belastungsphänomene weitgehend ausschließt und Störungen des operationellen Versuchsablaufs minimiert. Neben der Etablierung von Maßnahmen zum Erhalt des kritischen Einschätzungsvermögens der Probanden sind einerseits Effekte aus der Arbeitsermüdung in geeigneter Weise zu berücksichtigen bzw. zu kompensieren. Andererseits ist die Versuchsanordnung derart zu manipulieren, dass Übungs- bzw. Reifeprozesse der Probanden eindeutig zu identifizieren sind. Die eigentlichen Erhebungen sollten in Intervallen des simulierten Flugverlaufs erfolgen - entsprechend der Positionierung des Testanforderungen tragenden Stimulus. Dieser sollte einem möglichst realitätsnahen Szenario entsprechen (siehe Anmerkung A6.2).

Ein wesentliches Ziel der Versuchsauslegung besteht darin, einzelne Erhebungsabschnitte derart in die Flugphasen einzubinden, dass sie nicht sofort als eigenständige Gebilde von den Probanden zu identifizieren sind. Weiterhin sind phänomenologische Situationsdetails konsistent zu Szenarien der entsprechenden Flugbetriebssituationen zu gestalten, deren Abläufe gemäß Abbildung 2.6 anzuordnen sind. Hier bietet es sich an *LOFT*- Szenenfolgen als Orientierungen zu nutzen. Dabei ist es generell notwendig die Eingrenzung von Untersuchungsbedingungen in der Art zu etablieren, dass die Anzahl plausibler Alternativerklärungen für Versuchsphänomene minimiert werden kann, um die Aussagepräzision der empirischen Erhebungen zu erhöhen.

6.2.5 Versuchsgestaltung

Die Versuchsgestaltung richtet sich einerseits nach der messtechnischen Notwendigkeit die menschliche Handlungsaktivität möglichst nur auf einen physikalisch beobachtbaren Variablenzeitverlauf („Messkanal“) einzugrenzen. Andererseits muss es möglich sein sowohl den Schwierigkeitsgrad der Aufgabenlösung repräsentativ und praxisrelevant zu verändern, zu stimulieren und zu simulieren, als auch gleichzeitig den Weltbezug des Probanden in existentieller Form zu belasten. Diesem komplexen Anforderungsprofil des Experiments kann durch ein Szenario im Flugablauf entsprochen werden, dass als *Begegnung mit Windscherungen (windshear encounters*) bezeichnet wird. Wie in Abbildung 6.4 schematisch dargestellt handelt es sich dabei um den Einflug eines Luftfahrzeugs in ein Windfeld, welches stark wechselnde vertikale und / oder horizontale Geschwindigkeitsprofile aufweist. Diese meteorologischen Phänomene erschweren besonders in Bodennähe die Flugbahnsteuerung und gefährden im starken Maße die sichere Flugdurchführung.

Abb. 6.4: **Schematisiertes Windshear-Szenario induziert durch einen „Microburst“ [256]**

Zur Vermeidung von Unfällen bedarf es hier von den Cockpitbesatzungen prompter Reaktionen. Zunächst muss diese schwergewichtige Gefahrenlage erkannt werden, was sich besonders in Abhängigkeit der vorherrschenden Gesamtwetterkonstellation kompliziert darstellen kann. Weiterhin muss ein richtiges Flug- bzw. Steuerverfahren unter Einsatz des maximalen Triebwerksschubs in konsequenter Weise angewendet werden, um dem Schauplatz dieser widrigen Umweltbedingungen sicher entfliehen zu können. Besatzungen modern ausgerüsteter Flugzeuge werden hierbei durch entsprechende Cockpitanzeigen von synthetisch erzeugten Algorithmen des *EGPWS* und durch spezielle Modi[159] des elektronischen Flugsteuerungssystems unterstützt. Wie bei älteren Flugzeugmustern (bis zur 2. Jetgeneration) kann allerdings dem Szenario auch durch ein geschultes Flugmanöver bzw. durch eine entsprechende Methode der Steuerungshandhabe begegnet werden. Die entsprechenden flugmechanischen Grundlagen werden mit den Relationen aus Gleichung (6.6) verdeutlicht. Die Längsbewegung eines Flugzeugs wird durch Höhensteuereingaben vom Piloten über die Einstellung des Längslagewinkels (*Pitch*) manipuliert. Der Flugbahnwinkel resultiert aus dieser Nicklageänderung zusammen mit den Beträgen von Anstell- und Windwinkel. Die manuell durchzuführende und zu steuernde *windshear recovery technique* zielt darauf, eine möglichst große, vertikal nach oben gerichtete Energiezunahme des Flugzeuges zu erhalten. Dies wird dadurch erreicht, dass bei maximaler Triebwerksleistung ein Längslagewinkel vom Pilot eingestellt wird, der über einen hohen Referenzanstellwinkel des Flugzeugs einen möglichst großen Auftriebsbeiwert realisiert. Die äußerste operationell vertretbare Grenze der Anstellwinkelerhöhung wird i. d. R. bei Verkehrsflugzeugen durch ein Vibrieren der Steuersäule angezeigt. Der Punkt des Vibrationsbeginns (*stick shaker onset*) ist der haptische Reiz, der den Pilot als „Triggersignal" zum Nachlassen der Höhensteuereingabe veranlasst.

$$\alpha_{ref} \;=\; \theta_{ref} - \gamma + \alpha_W \tag{6.6}$$

Entsprechend Gleichung (6.6) kann abhängig vom augenblicklichen Flugbahn- und Windwinkel der *stick shaker onset* z. B. bei 17° Pitch oder bei 4° Pitch aktiviert werden. Unabhängig von der Fluggeschwindigkeit ist also vom Piloten bewusst die Grenze zum *intermittent stick shaker onset* zu „erfliegen". Dies gestaltet sich knifflig, da das Flugzeug aufgrund eines nichtlinearen $C_{A\alpha}$-Verlaufs im hohen Anstellwinkelbereich und durch dynamische Nickmomentänderungen aufgrund der zeitlich veränderten α_W-Beaufschlagung des Höhenleitwerks und des Flügels durch die Böen keine lineare Antwortcharakteristik auf Steuereingaben aufweist. Die Schwierigkeit des Manövers erhöht sich mit der Intensität der Windscherung bzw. mit der Ausprägung der entsprechenden meteorologischen Erscheinung (*Microburst*). Das Sicherstellen des Überlebens des Arbeitssystems ist abhängig von der akkuraten Bewältigung der Flugsteuerungsanforderung. Dabei erhöht sich diese Brisanz mit abnehmender Flughöhe. Somit müssen Versuchsszenarien aufgebaut werden, die ein *windshear*- Problem im Flugablauf in den Phasen *ICL* und *APR* nach Abbildung 2.6 unter einer Flughöhe von

[159] z. B. mit *Flight-Envelope-* bzw. *Alpha-Floor-Protection* ausgerüsteten Flugzeugmustern der Firmen *AIRBUS* und *BOEING* ab Musterbezeichnung A 320 respektive B 777 aufwärts. Flugzeugmuster mit dieser Flugsteuerungstechnologie eignen sich hier nicht zur Versuchsdurchführung, da der Ereignisablauf im weitesten Sinne keine permanente Regulationsaktivität höheren Schwierigkeitsgrad des Probanden erfordert.

300 – 500 *ft AGL* hervorrufen. Als definierter Stimulus muss das Zentrum des *Microburst* im Experiment entsprechend geografisch verortet werden. Unter Verwendung von Simulatoren modern ausgerüsteter Flugzeugmuster („Glas-Cockpit“) erfordert das Initiieren der *windshear recovery technique* im Vorfeld vom Versuchsleiter eine simulierte funktionellen Einschränkung (malfunction bzw. failure) von *FD* und *EGPWS* zu veranlassen, um die arbeitsunterstützenden *PFD*- Anzeigen, wie *Eyebrows* bzw. FD- *V-Bars* oder *Cross-pointer needles* zu unterdrücken. Wie in Abbildung 6.5 am Beispiel der Flugzeugmuster CRJ 200 / 700 / 900 gezeigt, bleibt dann nur die *Attitude- Raw- Data* – Anzeige im *PFD* als Referenz zur Flugbahnsteuerung erhalten. Die Handlungsgüte des Probanden erhält man aus der Abweichung des Referenzanstellwinkels vom $\alpha_{shaker\ onset}$ als *Soll*-Größe und α_{ref} als *Ist*-Größe entsprechend Gleichung (6.4). Die Aufgabenerfüllung zeigt sich im Flughöhenprofil des Szenarios über den Verlauf des Flugzeugabstandes zum Erdboden. Weiterhin wird vermutet, dass die Auswertung der Relationsveränderungen von Regulationsaktivität zu Handlungsgüte Rückschlüsse auf Degradationseffekte im Leistungsvermögen anzeigen kann.

Das jeweils zu bewältigende Anforderungsszenario aus der aufgetragenen Aufgabenstellung setzt sich aus den in Abbildung 6.6 dargestellten Komponenten zusammen. Das Grundgefüge bilden realitätsnahe Konstellationen, die sich aus flugzeugspezifischen Systemzuständen, den jeweiligen Flugphasen und den vorherrschenden Umweltbedingungen zusammensetzen.

Die Konstellation meteorologischer Erscheinungen zur Kreation der Stimuli wird auszugsweise in Abbildung 6.7 gezeigt. Die Zusammenstellung der Komponenten erfolgt nach erfahrungsgeleiteter Einschätzung der Schwierigkeit der Anforderungsbewältigung durch den Versuchsleiter. Ausgehend von der oben geschilderten fliegerischen Grundproblemstellung kann mit dem Einsatz moderner Simulatoren die Intensität des jeweiligen Stimulus bzw. der Belastung aus der Aufgabenstellung über Ausprägungen einzelner meteorologischer Einflussgrößen und Superposition manipuliert werden. So stört beispielsweise ein hoher Turbulenzgrad der Atmosphäre die manuelle Flugbahnsteuerung, wodurch die Belastung der Probanden steigt. Ebenso wirken hohe Geräuschkulissen im Cockpit, wie die Beaufschlagung der Flugzeugzelle durch Hagel, bedrohlich und stören damit den Betriebsablauf und die Kommunikation, wodurch die Aufgabenbearbeitung erschwert wird. Die Selektion und Zusammenstellung der Komponenten zur Erstellung eines Stimulus sind entsprechend des Versuchsdesigns vorzubereiten und auf Testkarten aufzuführen, wie sie in der Flugversuchstechnik verwendet werden. Die Abfolge der Ereignisse ist über das Eingabedisplay der *Simulator Instructor Station* zu manipulieren. Die Registrierung von physikalischen Größen im Zeitverlauf, wie u. a. δ_H und α_{ref} sollte mit einer im Flugversuch praxisbewährten Abtastrate von mindestens 50 Hz erfolgen. Weitere Hinweise können Anmerkung A6.3 entnommen werden.

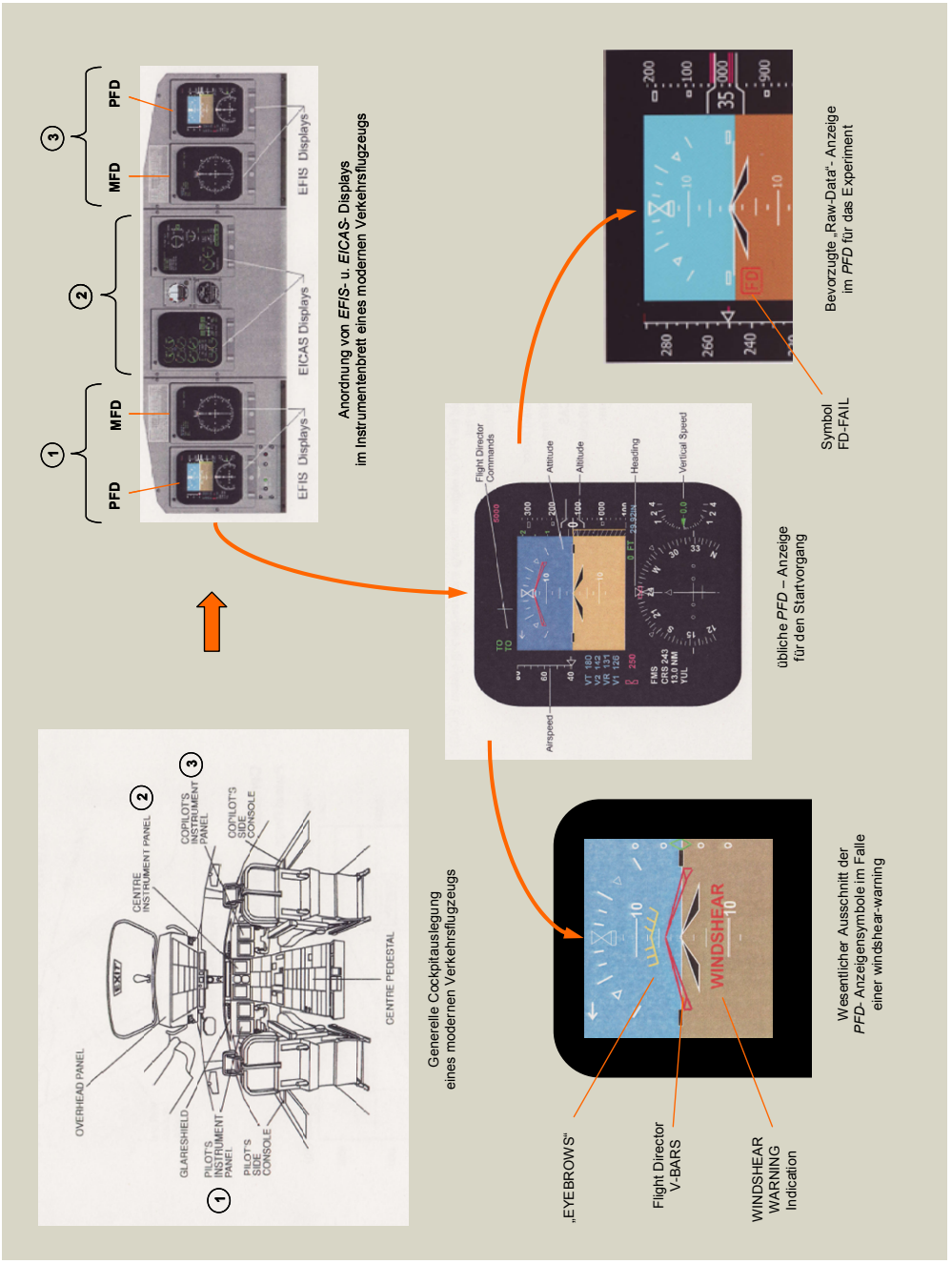


Abb. 6.5: **Anordnung versuchsrelevanter Cockpitinstrumente und -anzeigen eines modernen Verkehrsflugzeugs am Beispiel der CRJ-Serie**

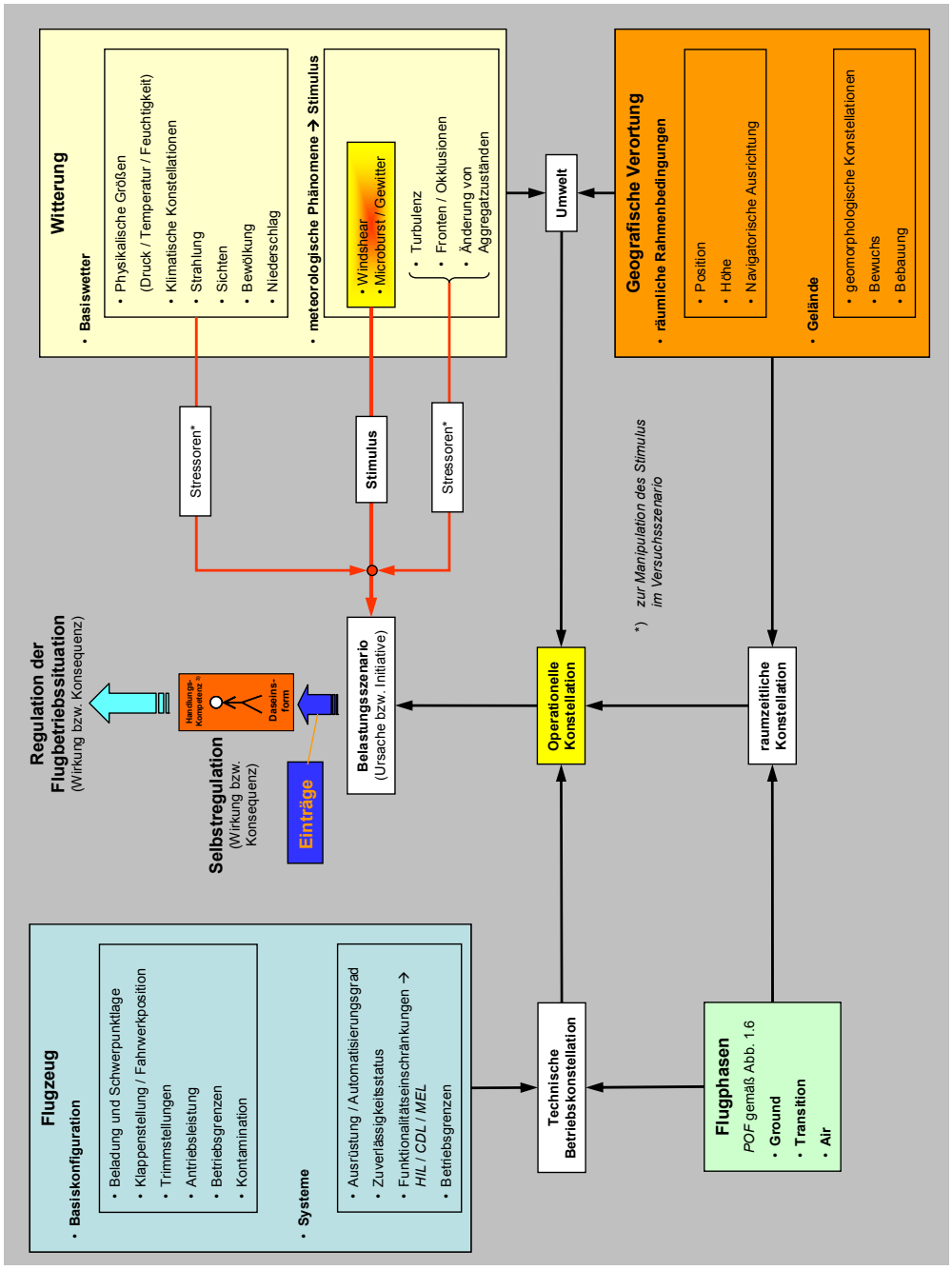


Abb. 6.6: **Aufstellung realitätsnaher Szenariogrundstrukturen zur Belastung des Arbeitssystems im Experiment**

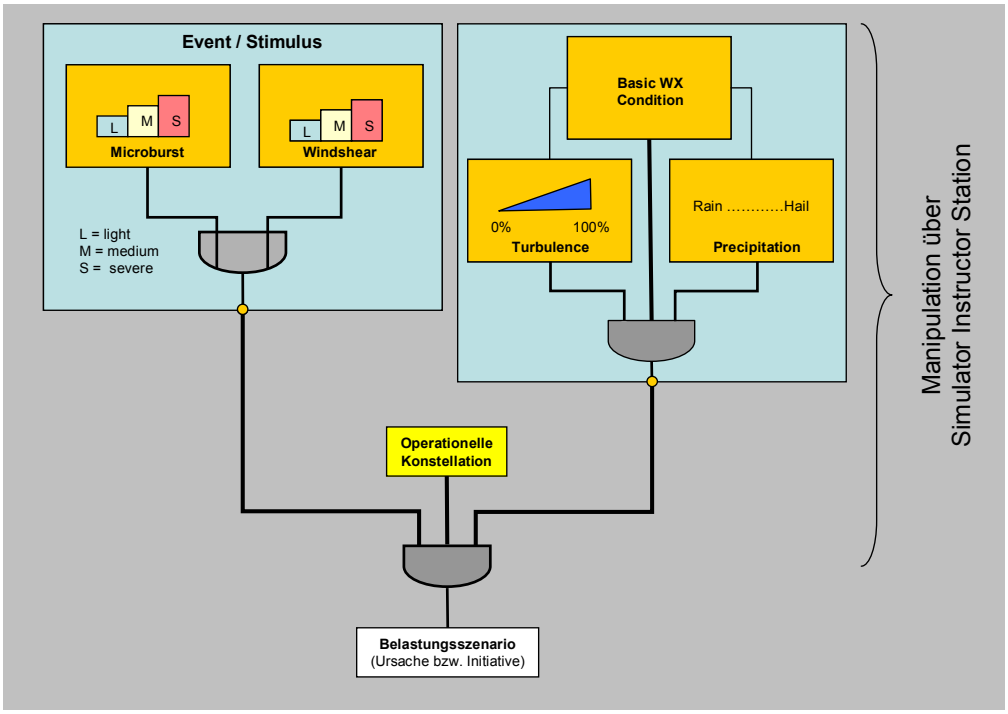


Abb. 6.7: **Zur Zusammenstellung des Belastungsszenarios unter simulierter Realität**

6.2.6 Festlegung der Untersuchungsgesamtheit und der Versuchsgruppen

Die Versuchsgruppenbildung sollte gemäß den Erfahrungsfunktionen der Bewerter erfolgen, da sie gleichzeitig auch die Versuchspersonen bilden [208a]. Dabei sollte die Einordnung in vier Gruppen entsprechend demographischer Kriterien erfolgen. So sind zwischen wenig bis hoch berufserfahrene Versuchspersonen zu unterscheiden. Die Kriterien stehen für den Umfang des subjektbasierten und etablierten Inventars an OAS und sollten sich erstrangig an kumulativ in der Verkehrsluftfahrt absolvierten Flugstunden orientieren, die in Relation zur Dauer der Berufsgruppenzugehörigkeit bewertet werden müssen. Das Mindestalter der Probanden sollte 30 Lebensjahre betragen, um generell die Streuung subjektiver Einschätzungen zu verringern. Die Mindestzeitdauer im ausgeübten Pilotenberuf in der Verkehrsluftfahrt sollte 3 Jahre nicht unterschreiten. Unter Berücksichtigung des Ausbildungsstands bzw. der berufliche Position, wie z. B. Supervisionskapitän, *TRI*, *TRE* kann als grober Richtwert für die Eingruppierung einer Stichprobe gelten:

- wenig erfahren: bis 2000 Flugstunden in der Verkehrsluftfahrt
- mittel erfahren: 2000 bis 5000 Flugsunden in der Verkehrsluftfahrt
- erfahren: 5000 bis 8000 Flugstunden in der Verkehrsluftfahrt
- hoch erfahren: über 8000 Flugstunden in der Verkehrsluftfahrt

6.3 Überlegungen und Empfehlungen zur weiteren Nachweisführung

In diesem Abschnitt werden einige wesentlich erscheinende Empfehlungen zur weiteren empirischen Nachweisführung der Konstruktqualifikation gegeben. Zunächst richten sich diese auf die Auswahl alternativer Gestaltungsoptionen von Versuchsszenarien. Danach werden kurz mögliche Messverfahren für die Phasen II und III des empirischen Forschungsablaufs aufgeführt. Diese bilden ggf. die messtechnische bzw. verfahrenspezifische Koppelstelle des vorliegenden Beitrags zu Neurowissenschaften sowie dessen inhaltliche Abgrenzung.

6.3.1 Alternative Versuchsszenarien

Als alternative Versuchsszenarien werden hier weitere Möglichkeiten zur Stimulierung von Regulationsaktivität angesprochen. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben eignen sich dabei i. d. R. Versuchskonstellationen, die die Probanden stufenweise an die Grenze ihres Leistungsvermögens bringen. Infrage kommen hierfür insbesondere kombinierte Umstände wie z. B. das Auftreten von fehlerhaften Anzeigen der Flugzeuginstrumentierung zusammen mit schrillen Signalen des *CAWS* unter *IMC*, die semantisch Widersprüchlichkeiten induzieren können. Weitere Optionen bieten sich durch Manipulationen von Systemfunktionen[160] in Kombination mit zu lösenden Aufgabenstellungen an, die destabilisierende Flugzeug - Pilot – Koppelungen auslösen können (*PIO* bzw. *APC*; siehe auch Abschnitt 5.2.6).

6.3.2 Anmerkungen zur empirischen Relationsanalyse heterogener Systemexistenzen

Die intendierte Zielrealisierung der Phasen II und III im propagierten Forschungsprozess ist es eine Beziehung zwischen der Wandlungen von Organisationsformen psychischer Prozesse und den Merkmalsveränderungen repräsentativer Körperorgane (wie z. B. dem Gehirn) bzw. entsprechender biologischer Substanzen nachzuweisen. An dieser Stelle soll nochmals betont werden, dass es sich dabei nicht um eine Analyse handelt, die semantische Strukturen von Handlungen erschließt, sondern vielmehr darauf ausgerichtet ist Modalitäten makroskopischen Verhaltens mit messtechnisch erfassbaren mikroskopischen Phänomenen in Beziehung zu setzen. Ein Schlüssel zur Methodenwahl entsprechender empirischer Untersuchungen kann in vorbereitender und theoretischer Weise der so genannte „*Plastizitätsansatz*“ von *ANSERMET* und *MAGISTRETTI* mit seiner Verbindung von Neurowissenschaften und Psychoanalyse sein [258]. Ebenso scheinen Erkenntnisse und experimentelle Erfahrungen weiterzuführen, die aus der Erforschung kooperierender Gehirnprozesse bei kognitiven Leistungen gewonnen wurden. [259] gibt dazu einen Überblick über bisher einsetzte Messverfahren und Auswertemethoden. Das Inventar wäre in weiterführenden Arbeiten um die heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der experimentellen Neurologie / Messtechnik zu erweitern.

[160] …wie z. B. die simulierte stufenweise Reduzierung von Ruderstellgeschwindigkeiten (Ratenbegrenzung) oder Erhöhung von „Totzeiten“ in Übertragungsgliedern elektronisch geregelter Flugsteuerungssysteme (siehe dazu [183a])

Kapitel 7

Gestaltungsoptionen und Aussichten

In diesem Kapitel werden Konsequenzen aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Abschnitte gezogen. Das Ziel besteht in der Aufstellung von Optionen die Sicherheit im kommerziellen Betrieb von Verkehrsflugzeugen zu erhöhen. Diese richten sich sowohl auf generelle Aspekte der Flugbetriebsorganisation als auch darauf, das Verständnis über subjektorientierte Gesichtspunkte zum Leistungsvermögen des operationell tätigen Luftfahrtpersonals zu vertiefen.

7.1 Rückblick

Die vorliegende Arbeit basiert auf dem Verständnis, dass die Verträglichkeit von ökonomischer Effizienz und Sicherheit einen zentralen Aspekt der inneren Zweckmäßigkeit von Cockpitarbeit darstellt. Darauf aufbauend wird die Position organisatorisch-operationeller Konstellationen von Transportträger-Arbeitssystemen am Beispiel von Verkehrsflugzeugen und deren Bezug zu ihrer Umgebung analysiert und hinterfragt. Im Fokus der Betrachtungen steht dabei der Pilot als Arbeitsperson in seinem komplexen und risikobehafteten Tätigkeitsfeld.

Das Wirkungsgefüge komplexer und dynamischer Gegebenheiten des Flugbetriebs fordert die Handlungskompetenz der Protagonisten im Cockpit heraus. Ihr Leistungsvermögen bestimmen Voraussetzungen, die sich neben den jeweils habituellen Konstitutionen aus einem individuell abrufbaren Ressourceninventar ableiten und in komplementärer und rückgekoppelter Weise auch die Beschaffenheit des jeweiligen aktuellen Daseins der Akteure darstellen. Als subjektives Merkmal einer einzelnen Arbeitsperson erschließt sich die Gestalt ihres Welt- und Selbstbezugs über die zyklische Ausformung mikroskopischer Prozesse, die das jeweils aktuelle menschliche Regulationsvermögen als den Kern von Cockpitarbeit determinieren. Cockpitarbeit ermöglicht den Betrieb eines Verkehrsflugzeugs. Die Art und Weise ihrer Durchführung unterliegen zudem ethische Komponenten, welche das Subjekt sowohl befähigen als auch als Sorge tragende Instanz verpflichten für die Nutzer und Betreiber des Transportträgers Obhut walten zu lassen.

Der prozesshafte Charakter verlangt, statt einer probabilistischen Perspektive auf Sicherheit einen alternativen Ansatz zur Abschätzung von Schädigungslosigkeit beim Umgang mit komplexen Gegebenheiten in Arbeitsprozessen zu erarbeiten. Dieser Ansatz kann als Vorschlag gesehen werden, Erkenntnisse unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen unter Zuhilfenahme mathematischer Strukturierungsprinzipien zu vernetzen. Die Ausführungen sind generell auf andere berufliche Tätigkeitsbereiche übertragbar.

7.2 Vorläufig anzusetzende Gestaltungsoptionen zur Sicherheitserhöhung

Im Rahmen einer vorbereitenden systemanalytischen Strukturierung des Status von Cockpitbesatzungen in Flugbetriebsumgebungen und der damit verbundenen Verdeutlichung der Problemsituation können aus dem zweiten Kapitel des Beitrags direkte Gestaltungsoptionen abgeleitet werden. Diese richten sich auf Möglichkeiten, vielfältige Beziehungen zwischen

projektierenden und ausführenden Instanzen von Betriebsabläufen zu optimieren. Momentan existierende Defizite (mit z. T. hoher Relevanz) konnten u. a. während eines Luftfahrtseminars für Piloten deutscher Airlines identifiziert und diskutiert werden [260]. Unter Beachtung etablierter und akzeptierter Prinzipien in der Luftfahrt, wie z. B. die Herstellung von Redundanz, Standardisierung, allseitig ausgelegter Autonomieeinschränkung und Kontrolle, wird im Sinne der Verbesserung der Unternehmenskultur empfohlen folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- Abbau von hierarchischen Strukturen zwischen kaufmännischen, administrativen und operationellen Betriebsfunktionen
- Abbau von Privilegien, die Arbeitspersonen aus ihrem Status ableiten
- Erhöhung von Respekt und Toleranz im zwischenmenschlichen Umgang
- Aufbrechen von Loyalitätszirkeln[161] und Aufbau solidarisch geprägter Relationsstrukturen in Unternehmungen
- Abbau von Verantwortungsdiffusion
- Hinterfragen und ggf. Abgleich verwendeter Menschenbilder, die als Orientierungshilfe dienen, wie z. B. zur Bildung von Organisationsverständnis und –strukturen (siehe Abbildung 2.17), Auslegung von Gestaltungskonzepten und Aufstellung von transparenten Bewertungskriterien
- Aufbau von Einsicht in die Notwendigkeit, dass die *Flugbetriebsorganisation* konkreten Personen über die Grenzen einzelner Betriebsfunktionen hinweg zuzuordnen ist und nicht nur als „abstraktes Funktionsgebilde“ im Raum steht
- Abbau bzw. Eliminierung systemimmanenter korrumpierender Faktoren, die auf rein ökonomische Effizienz ausgerichtet sind und z. T. unbeabsichtigt[162] über strategische Kalküle einzelner Wirtschaftspersonen die Zweckmäßigkeit der Gesamtzielsetzung einer Unternehmung verzerren
- Systemorientierte Schulungen der Projektanten von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen zur Verbesserung ihrer Handlungskompetenz
- Installation eines unternehmenseigenen Kontrollorgans des Flugbetriebs, das aus disziplinarisch unabhängigen Prüfern besteht und mit Verfügungsgewalt bzw. Weisungsbefugnis über sicherheitsrelevante Bereiche von Unternehmensfunktionen ausgestattet ist
- Installation eines unternehmenseigenen Organs mit arbeitswissenschaftlichem Kenntnisinventar und flugbetriebspezifischem Erfahrungshorizont, das die Kommunikation zwischen projektierenden und ausführenden Instanzen mit Hinblick auf die Wirksamkeit und Verträglichkeit von Maßnahmen zur menschengerechten Gestaltung von sicherem Flugbetrieb moderiert

---

[161] …hinsichtlich genereller Strukturen von gruppenpsychologisch bestimmten „Loyalitätszirkeln“ nach der Definition von *DÖRNER* [99a]

[162] nach *LUHMANN* als „unbeabsichtigtes gesellschaftliches (kollektives) Ergebnis individuellen Handelns“

- Etablierung von Planungsalgorithmen[163] zur prospektiven Simulation einzuführender Gestaltungsinitiativen von Betriebsabläufen mit anschließender Bewertung der intendierten Maßnahmen nach sicherheitsorientierten Kriterien

Um die Betriebs- und damit Flugsicherheit im kommerziellen Luftverkehr zu erhöhen, wird als erster Schritt empfohlen entsprechend ausgerichtete Bildungsprogramme zu entwerfen. Die Weiterbildungsmaßnahmen sollen zum einen dazu dienen die Handlungskompetenz von Akteuren in Flugarbeitssystemen zu erhöhen. Dabei gilt es ihr vorhandenes Inventar an tätigkeitsleitenden Gedächtnisrepräsentationen mit existenzrelevanten Aspekten aus dem Flugbetrieb anzureichern, um andere Perspektiven auf den operationellen Part ihres herzustellenden Produkts zu eröffnen. Zum anderen sollen die Bildungsprogramme die Wichtigkeit einer menschengerechten Gestaltung der Verbindung von Arbeits- und Lebenswelt des operationell tätigen Luftfahrtpersonals herausstellen. Es muss deutlich werden, dass Anforderungen aus einem sich immer komplexer gestaltenden Lebensraum Gefährdungspotentiale in sich tragen, die mit in das Kalkül zur Herstellung von Sicherheit im Flugbetrieb einzubeziehen sind. Es hat sich gezeigt, dass ein offener Dialog zwischen Schulungsteilnehmern zu diesem Themengebiet einen sicherheitsorientierten Erkenntnisgewinn beschleunigt [260]. Daher sollten Weiterbildungsseminare in Gruppenverbänden autodidaktischen Methoden vorgezogen werden.

Schulungsmaßnahmen sollten sich vornehmlich an administrativ tätige Mitarbeiter aus Betriebsfunktionen richten, wie z. B. der Crew-Einsatzplanungen, den Personaldiensten, der technischen Ressourcenbeschaffung, generell an alle „Postholder“ gemäß JAR.OPS 1 sowie an Mitglieder von Geschäftsführungen. Die Lerninhalte sollten sich nicht nur an neuesten arbeitssoziologischen Forschungsergebnissen sondern auch an den Erkenntnissen des vorliegenden Beitrages orientieren. Besonderer Wert bei der Entwicklung entsprechender Schulungseinheiten ist auf das Erreichen von maximalem individuellen Regulations- bzw. Leistungsvermögen der Weiterzubildenden zu legen. Durch Selbsterfahrung könnte das Verständnis für die Existenz[164] von Leistungsgrenzen des *Subsystems Mensch* als unabdingbare Gegebenheit mit z. T. „*plastischem*“ Charakter verdeutlicht werden.

Der Auslegung von system- und sicherheitsspezifisch ausgerichteten Ausbildungsprogrammen sollte zukünftig eine hohe Forschungspriorität, Dringlichkeit und Wichtigkeit beigemessen werden.

7.3 Vorschlag einer Um- bzw. Neustrukturierung von Flugbetriebssystemen[165]

Sollten die oben genannten Maßnahmen weder auf positiv belegte Resonanz in der Luftfahrtbranche noch bei den nationalen Behörden stoßen, böte sich als Alternative eine z. Zt. noch utopisch anmutende europäisch angelegte Umgestaltung des kommerziellen Luftverkehrs an.

Hier bestünde das Ziel sowohl in der weitgehend sicherheitsrelevanten Eliminierung von Vorteilsnahmen einzelner Systemkomponenten („Profitcenter“ oder Personen) als auch in der

[163] Planungswerkzeug wie z. B. das Sensitivitätsmodell nach *VESTER* [261]

[164] …und damit auch indirekt der Aufbau von Akzeptanz

[165] …im Sinne des Umfangs der Betriebsfunktion „Produktion“ – hier: des *Flugbetriebs*

Erhöhung von Transparenz im Produktangebot der Fluggesellschaften und dessen Qualität für die Kunden sowie in einer besseren Kontrollmöglichkeit von Flugbetrieben durch die Öffentlichkeit. Dies dürfte die Zufriedenheit von Betreibern und Nutzern erhöhen.

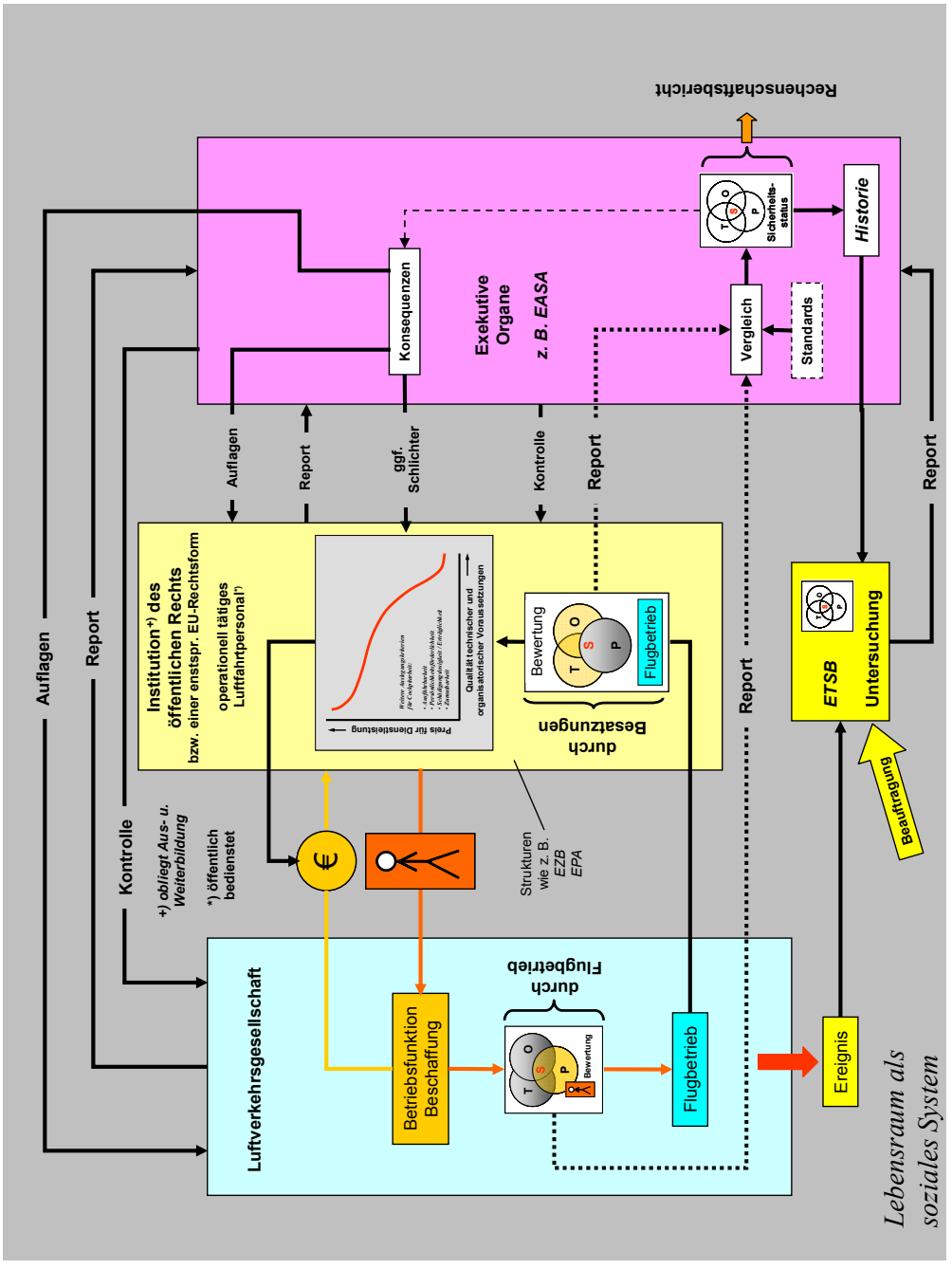


Abb. 7.1: **Grundstrukturen einer möglichen Neugestaltung europäischer Flugbetriebssysteme**

Wie in Abbildung 7.1 gezeigt, handelt es sich bei dieser Gestaltungsoption um die Herauslösung des operationell tätigen Luftfahrtpersonals (vorwiegend Flugzeugbesatzungen und technisches Instandhaltungspersonal) aus dem disziplinarischen Gefüge der Luftverkehrsgesellschaften. Dabei werden die Arbeitspersonen als „Pool“ in einer europäischen Einrichtung des öffentlichen Rechts zusammengefasst, die vergleichbare Strukturen aufweist wie z. B. die der EZB oder die des EPA. Dieser nicht vornehmlich auf ökonomische Wirksamkeit ausgerichteten Institution obliegt die Aus- und Weiterbildung ihres Personals, womit u. a. einer weiteren europaweiten Standardisierung nach einheitlichen fachspezifischen Kenntnisinventaren und Flugbetriebsverfahren Vorschub geleistet werden kann. Allerdings bedarf es zur Umsetzung dieses Konzepts eines politischen Willens, der auf einem gesellschaftlichen Konsens beruht.

Der Kern des Sichheits-orientierten Konzepts zeichnet sich dadurch aus, dass Fluggesellschaften von der neu zu etablierenden europäischen Einrichtung die Dienstleistung zum Betrieb ihrer Flugzeuge einkaufen. Der Preis dafür richtet sich entsprechend der eingefügten Skizze in Abbildung 7.1 (siehe im Einzelnen Anmerkung A7.1) nach den Ergebnissen von Bewertungen ihres Flugbetriebes durch die dort eingesetzten Besatzungen. Die Beurteilungen richten sich wiederum nach Qualitätskriterien über die vorgefundenen aktuellen technischen und organisatorischen Voraussetzungen, um Sicherheit durch den Flugbetrieb zu schaffen. Im Gegenzug werden die Besatzungen von den Unternehmen nach entsprechenden personenbezogenen Voraussetzungen beurteilt. Über all dem wachen europäische exekutive Organe, die ggf. über Auflagen Korrekturen anbringen können.

Diese neue Organisationsform zur Durchführung von Lufttransport besitzt für die Fluggesellschaften den Vorteil eines chancengleichen Zugangs zu operationell notwendigen Dienstleistungen. Damit wird der Anreiz zu weit gefassten Gestaltungsoptionen für die Etablierung von Lufttransport im Kontext einer erhöhten Flugsicherheit unter menschengerechten Arbeitsbedingungen nach dem *TOP*-Ansatz geschaffen, wobei sich für die Luftfahrtunternehmen gleichzeitig der ökonomische Rechtfertigungsdruck gegenüber ihren eigenen Kapitalgebern reduziert.

7.4 Erkenntnisgewinn aus der theoretischen Konstruktmodellierung

Der theoretische Konstruktansatz stellt den Basisbaustein eines Lösungsmodells dar, den Übergang von akzeptablem zu nicht mehr tolerierbarem menschlichem Regulationsvermögen im Arbeitsprozess zu detektieren. Er richtet sich langfristig auf die Entwicklung eines Analyseinstruments, das auf semi-quantitativen Weg sicherheitsrelevante Veränderungen menschlicher Daseinsformen anzeigt. Diese Metamorphosen resultieren aus dem Wechsel von mikroskopisch geordneten Systemstrukturen zu unorientierten dynamischen Existenzen mit chaotischem Charakter während der Interiorisationphase (siehe Anmerkung A7.2). Mit Hilfe von arbeitswissenschaftlichen Konzepten und unter Anwendung bzw. Übertragung von Aspekten des Paradigmas der Selbstorganisation auf autopoiesische Systeme ist es gelungen, kategorial abgrenzbare Modalitätsmuster von Anforderungsbewältigungen im Arbeitsprozess durch Operanden der Handlungsentstehung und des –erfolgs mathematisch in Form eines theoretischen Konstrukts zu fassen. Letztere enthalten sowohl Merkmalsparameter zur Berücksichtigung systemimmanenter Eigenschaften als auch charakteristische Variablen des aktuellen Regulationsprozesses. Mathematisch zusammengefasst ergibt sich aus den Einzelaspekten ein Parameterkollektiv, das die Beschaffenheit der aktuellen Anforderungsbe-

wältigung repräsentiert. Die jeweilige Konditionierung dieser „Kontrollgröße“ lässt sich theoretisch durch die Annäherungscharakteristik an die augenblicklich intendierte Handlungsaktivitätsstärke identifizieren und über homomorphe Abbildungen[166] in Organisationskategorien einteilen. Mit Hilfe numerischer Rechnungen gelingt es damit zu zeigen, dass „Ordnung“ und „Chaos“ in komplementärer Weise sowohl klassifizierbare Eigenschaftselemente als auch Verhaltensbestandteile bzw. Fließzustandsarten des modellierten Teils des Arbeitssystems darstellen. Der Organisationsformwechsel stellt gesuchte Grenzen des Leistungsvermögens dar. Eine Äquivalenztabelle im Anhang zeigt in Einzelschrittfolge wesentliche Elemente des theoretischen Argumentationspfads in Analogie zu fundierten naturwissenschaftlichen Erkenntnissen.

7.4.1 Einzelaspekte der Konstruktentwicklung

Auf der Grundlage arbeitswissenschaftlicher Konzepte wird in Kapitel 3 ein Anschauungskonstrukt entwickelt, das in Initiativen-Konsequenz-Verlaufsstrukturen der Handlungsentstehung schematisch darstellt. Als theoretisch kreiertes Verbindungselement zwischen Inter- und Exteriorisation wird dabei ein inhaltlich und funktionell geordneter mikroskopischer Steuerstrom identifiziert und als Prozesskomponente analysiert. Er wird als *Interiorisationsstrom* bezeichnet. Dieser trägt und armiert die für die Regulation von Arbeitstätigkeiten und Arbeitsabläufen notwendigen Voraussetzungen in Form von zeitlichen Aktivitätsmusterverläufen. Die Entstehung seiner inhaltlichen Beschaffenheit und Ausrichtung ist aufwandsbelegt. Seine Substanz trägt imaginär sowohl Strukturen des Systemselbst- und Weltbezugs als auch Spuren der aktuellen Systemselbstorganisation und spiegelt damit u. a. die momentane dynamische Existenz des Systems bzw. des Daseins der Arbeitsperson wider. Er vereint als Basisfließgefüge sowohl objektiv belastungsbedeutsame wie auch subjektiv beanspruchungsrelevante Attribute einer Anforderungsbewältigung, die den Charakter des aktuellen Arbeitsvollzugs zur Situationsbeeinflussung steuern. Als zentrale Ergebniseinheit von energetischen, strukturellen und emotionalen Verarbeitungs- und Intentionsbildungsprozessen ist er prädestiniert, als Basis für das reproduktionsfähige Erfassen der Modalität von mikroskopisch determinierter Regulationsaktivität des Subsystems zu dienen.

Mit Hinblick auf das Aufspüren regulationsrelevanter Indikatoren zur Bestimmung der Abgrenzbarkeit menschlicher Zuverlässigkeitsdomänen widmet sich Kapitel 4 der Herleitung von mathematischen Beschreibungen internaler Regulationsprozesse. Dabei wird die Veränderlichkeit der mentalen Trägerkapazität des menschlichen Systems hypothetisch als Variable von Arbeits-Erholungszyklen formuliert. Ihr Einfluss auf die Ausdehnung des jeweils augenblicklich existierenden mikroskopischen Regulationsfelds ist theoretisch darstellbar. Weiterhin war es möglich, die systemeigene generierte Entropieproduktionsgeschwindigkeit als wesentliche mikroskopische Prozessdeterminante der vorbereitenden Handlungsausführung bei der Bewältigung von Anforderungen zu identifizieren und in mathematischer Form zu extrahieren. Sie bestimmt maßgeblich die Beschaffenheit der Handlungsregulation.

Kapitel 5 nimmt sich der Entwicklung eines Algorithmus zur Charakterbeschreibung von absichtsbelegten Systemaktivitäten zur Beeinflussung und Regulation der Systemumgebung

[166] Im Sinne einer eindeutigen, erschöpfenden und Struktur-erhaltenden Zuordnung der realen Ausprägung des Phänomens in Zahlenwerte der formalen Beschreibung.

an. Als mathematischer Ansatz wird natürliches Wachstum unter Ressourcenbegrenzung gewählt. Die Modellierung erfolgt auf der Basis der allgemeinen *VERHULST*- Gleichung, die in ihrer Rekursivform u. a. die endliche Kommunikationsgeschwindigkeit des Systems mit seiner Umgebung abbildet. Sie enthält die in Kapitel 4 herausgefilterten mikroskopischen Prozesselemente der Interiorisation. Weiterhin ist es möglich das grundsätzliche Wesen verschiedener dispositioneller Bewältigungsstile von Individuen operationalisiert über einen Verstärkungsparameter einzuarbeiten. Dabei wird gemäß arbeitspsychologischer Konzepte der Basisemotion *Furcht* ein besonderer Einfluss zugeschrieben. Weiterhin ist ein psychophysischer Leistungsdegradierungsverlauf des Systems über einen zeitabhängigen Beiwert darstellbar. Die Verarbeitungsdauer der Einträge vom Zeitpunkt des Eintritts bis zur makroskopischen Systemreaktion ist als eine weitere wesentliche Einflussgröße in den Prozessstrukturen abgebildet worden.

Die rückgekoppelte Initiativen- Konsequenz- Konzeption des Ansatzes erfolgt aus einer makroskopischen Perspektive. Eine Besonderheit besteht darin, dass sein mikroskopischer Prozessanteil nicht als Absolutgröße einfließt, sondern als integrale Veränderungsgröße der mentalen Systemanstrengung. Letzterer soll als Maß an geistiger Eindringlichkeitsänderung der Interiorisation verstanden werden. Dieser mikroskopisch bestimmte Differentialquotient ergibt integrativ zusammengefasst mit anderen Prozess- und Systemparametern einen Kontrollparameter des augenblicklichen synthetisch abgebildeten Regulationsprozesses. Über dessen Ausprägung lässt sich auf Abbildungsformen der Trajektorien repräsentativer Ordnungsvariablen im noch näher zu definierenden Zustandsraum des Systems schließen. Dabei sind die jeweils entstehenden Phasenportraits entsprechend des Attraktor-Typus kategorisierbar. Dies ermöglicht aus einer sicherheitsbelegten operationellen Perspektive eine Akzeptanzbewertung des augenblicklichen Regulationsvermögens der entsprechenden dynamischen Systemexistenz. Als diskrete Zahlenwertfolge wäre mathematisch damit im Zeitverlauf die Option einer kategorialen Modalitätsdifferenzierung der Handlungsausführung präsentierbar. Im Rückschluss kann auf diese Weise ein Eindruck von der augenblicklichen Daseinsform der Arbeitsperson gewonnen werden.

7.4.2 Resümee aus der mathematischen Konstruktmodellierung

Das sicherheitsorientierte Agieren von Arbeitssystemen wird durch menschliches Leistungsvermögen stark limitiert. Gegenüber den klar determinierten Funktionsgrenzen technischer Betriebsmittel bilden Leistungsvoraussetzungen zusammen mit der Disposition der Arbeitspersonen ein jeweils komplexes Gefüge psychophysischer Beschränkungen. Diese sind neben der Art und Ausprägung der Belastung auch abhängig von der augenblicklichen Daseinsform des lebenden Systems. Im Vorfeld einer angestrebten Optimierung von Transportträger- Arbeitssystemen unter Sicherheitsaspekten wurde zunächst eine theoretische Möglichkeit gefunden, das Überschreiten von Grenzen psychischen bzw. mentalen Leistungsvermögens unter Belastung zu detektieren und weitgehend frei von Wahrscheinlichkeitsaussagen in reproduzierbarer Form abzubilden. Dazu wird in Tabelle 5.9 ein Kriteriensystem als Vorschlag zur Akzeptanzbewertung menschlichen Regulationsvermögen aufgeführt.

Mit dem Aufstellen arithmetischer Beschreibungsprinzipien ist es in einem ersten Schritt gelungen wesentliche Aspekte der Verwobenheit von objektiver Belastung und subjektiver Beanspruchung theoretisch zu erfassen. Für die empirische Konstruktverifizierung und Praxistauglichkeit wird eine mehrstufige Methodik vorgeschlagen.

7.5 Aussichten

Mit Bezug auf Abschnitt 7.1 sind zunächst aus einer sicherheitsrelevanten Perspektive Lerninhalte von Weiterbildungsmaßnahmen für Verwaltungs- und Planungspersonal von Luftfahrtgesellschaften zu definieren. Das primäre Ziel soll dabei sein: Schaffung von organisatorischen Gegebenheiten, welche die Verbindung von Arbeits- und Lebenswelt der Mitarbeiter, die in *wenig Fehler verzeihenden Umgebungen* tätig sind, nach menschengerechten Auslegungskriterien für Cockpitarbeit zu gestalten. Die produktorientierten bzw. auf Betriebsabläufe ausgerichteten Schulungen sind nach systemdidaktischen Grundsätzen [262] auszulegen und auf die Erfordernisse einer Erwachsenenbildung abzustimmen. Damit soll sowohl das Rollenverständnis einzelner Mitarbeiter für ein „vernetztes Ganzes“ erhöht als auch deren Blick für multiple Konsequenzen ihres individuellen Handelns bzw. Verhaltens in der Rückkoppelung auf Teil- bzw. Subsysteme und den Gesamtkomplex Flugarbeitssystem geschärft werden.

Weiterhin wird ein Teilziel darin gesehen die Bereitschaft von Bodenmitarbeitern derart zu stärken, dass diese jederzeit in der Lage sind für ihr Handeln auch nach ethischen Gesichtspunkten einzustehen. Im Gegenzug muss beim Bordpersonal die Einsicht in die Notwendigkeit verstärkt werden, ihre Gestaltung der Koppelung von Arbeit und Privatbereich aus einer sicherheitsrelevanten Blickrichtung heraus permanent zu hinterfragen und ggf. zu korrigieren.

Eine Umgestaltung der Organisation von Flugarbeitssystemen auf europäischer Ebene entspricht vordergründig einem Bruch mit neoliberalen Konzepten der letzten 20 Jahre im Luftverkehrswesen. Die Auswirkungen aus der Einführung des hier vorgestellten neuen „semiregulierenden“ Ansatzes wären erst durch weitere Forschungsbeiträge besonders aus politischer und soziologischer Perspektive abzuschätzen. Mit den Ergebnissen wären dann ggf. politisch durchzusetzende Grundlagen zu schaffen und multilaterale Abkommen der EU-Mitgliedsstaaten einzuleiten.

Neben der Nachweisführung über die Qualifikation des Konstruktansatzes für das taugliche Lösungsmodell eines Analyseinstruments, um sicherheitsrelevante Leistungsbegrenzungen von Einzelpersonen zu bestimmen sind die gewonnenen Erkenntnisse auf das Arbeitspersonenkollektiv der Cockpitbesatzung zu übertragen bzw. auszuweiten. Dies kann in abstrahierter Form durch eine Vervielfachung und Parallelisierung des in Abbildung 2.20 gezeigten Wirkungsplanes erfolgen. Das dadurch entstandene Gebilde ist in geeigneter Weise orthogonal zu verknüpfen. Dies kann gezielt z. B. über eine sozialpsychologische Vernetzung mit den Hauptrelationsaspekten Spannung, Aktivität und Stimmung erfolgen [5].

Unter Voraussetzung einer Verifizierbarkeit des Ansatzes, wird es über einen Einsatz des Analyseinstruments als möglich erachtet, zukünftig Betriebsabläufe menschengerechter gestalten zu können. Dies dient sowohl dem Erhalt und der Verbesserung des Arbeitsvermögens der Piloten als auch über den Sicherheitskontext einer Erhöhung der Zufriedenheit von Kunden und Betreibern. Der Ansatz unterstützt ferner Gestaltungsmaßnahmen, welche Cockpitbesatzungen in die Lage versetzen eine langfristig angelegte individuell ausgewogene Lebensplanung zu realisieren. Letztlich dient dies auch dazu, volkswirtschaftlichen Schaden abzuwenden und die Ausbildung von sozialethisch verträglichen Strukturen zu forcieren.

Literaturverzeichnis

[1] Dorn, L.: Arbeitsanforderungen an Flugzeugbesatzungen = Risikofaktor der Zukunft?; in: Faber, G.: „Pilot der Zukunft“; S. 16 u. 99-103; Konferenzmaterial 7. FHP-Symposium; Rhumspringe April 2003

[2] Learmount, D.: Safety on the skids?; Flight International; page 5 & 36-40; Reed Business Press; Sutton, Surrey, UK 21-27 July 2009

[3] Traufetter, G.: Die Ohnmacht der Piloten - Wenn Computer im Cockpit zum Risiko werden; in: Der Spiegel; Ausgabe Nr. 31/ 27.07.2009; S. 106-118; Spiegel-Verlag Rudolf Augstein GmbH; Hamburg 2009

[4] Wehrt, H.: Über Irreversibilität, Naturprozesse und Zeitstruktur; in: von Weizsäcker, E. U.: Offene Systeme- Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution; S. 196-199; 2. überarb. Auflage; Ernst Klett-Verlag;1986 - ISBN 3-608-93118-X

[5] Tschacher, W.; Brunner, E.J.: Empirische Studien zur Dynamik von Gruppen aus der Sicht der Selbstorganisationstheorie; in: Zeitschrift für Sozialpsychologie: S. 78-91; Verlag Hans Huber; Bern 1995

[6] Bartsch, H.: Menschliche Zuverlässigkeit; in: Landau, K.; Pressel, G. (Hrsg.): Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; S. 1057-1061; 2. vollst. neub. Auflage; Gentner Verlag; Stuttgart 2009; ISBN 978-3-87247-715-6

[7] Angehrn, E.: Die Überwindung des Chaos – Zur Philosophie des Mythos; S. 142-146; Suhrkamp Verlag; Frankfurt am Main 1996

[8] McFarland, M. W. (Editor): The Papers of Wilbur and Orville Wright; Volume One: 1899-1905; p. 26; McGraw-Hill; New York etc. 2001; ISBN 0-07-136376-9

[9] N.N.: Luftverkehr in Deutschland; Mobilitätsbericht 2007; Statistiken; S. 25-39; DFS Deutsche Flugsicherung GmbH – Unternehmenskommunikation; 60-2290-136/02.08; Langen 2008

[10] Matuschek, I.; Voß, G. G.: Multiple Entgrenzung des fliegenden Personals im kommerziellen Luftverkehr; in: Matuschek, I. (Hrsg.): Luft-Schichten; S. 184-187; Edition Sigma; Berlin 2008; ISBN 978-3-89404-563-0

[10a] Matuschek, I.; Voß, G.: Multiple Entgrenzung des fliegenden Personals im kommerziellen Luftverkehr; in: Matuschek, I. (Hrsg.): Luft-Schichten; S. 181-203; Edition Sigma; Berlin 2008; ISBN 978-3-89404-563-0

[11] Schneider, D.: Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Grundlagen; S.57; 2. Auflage; R. Oldenbourg Verlag; München 1995; ISBN 3-486-23423-4

[12] Wöhle, G.; Döring, U.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; S. 543; 21. neubearb. Auflage; Verlag F. Vahlen GmbH; München 2002

[12a] Wöhle, G.; Döring, U.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; S. 44-46; 21., neubearb. Auflage; Verlag F. Vahlen GmbH; München 2002

[12b] Wöhle, G.; Döring, U.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; S. 526; 21. neubearb. Auflage; Verlag F. Vahlen GmbH; München 2002

[13] Matuschek, I.: Die Leichtigkeit des Fliegens? – Soziologische Blicke auf die kommerzielle Luftfahrt; in: Matuschek, I. (Hrsg.): Luft-Schichten; S. 7-25; Edition Sigma; Berlin 2008; ISBN 978-3-89404-563-0

[14] Bartsch, H.: Menschliche Zuverlässigkeit in Flugarbeitssystemen in: Grand, M. (Hrsg.): Verlässlichkeit der Mensch-Maschine-Interaktion - DGLR- Bericht 2004-03/12; S. 154-155; Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt; Bonn 2004; ISBN 3-932182-36-7

[15] Rohmert, W.: Formen menschlicher Arbeit; in: Rohmert, W.; Rutenfranz, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitspsychologie; Georg Thieme Verlag; Stuttgart, New York 1983

[16] Dorn, L.; Bartsch, H.: Ein kybernetischer Ansatz zur sicherheitlichen Betrachtung von Transportträger-Arbeitssystemen; 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau; S. 489-490; 19.-23. September 2005; ISBN 3-932633-98-9

[16a] Dorn, L.; Bartsch, H.: Ein kybernetischer Ansatz zur sicherheitlichen Betrachtung von Transportträger-Arbeitssystemen; 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau; S. 489-490 – Vortragsfolie; 19.-23. September 2005; ISBN 3-932633-98-9

[17] Dorn, L.; Bartsch, H.: Zum Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen auf die Flugsicherheit; in: Grant, M. (Hrsg.): Verlässlichkeit der Mensch-Maschine-Interaktion; DGLR- Bericht 2004-03; S. 197- 210; Bonn 2004; ISBN 3-932182-36-7

[18] N. N.: Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25 Amdt. 7 / CS-23 Amdt. 1; Book 1; p. 1-G-2; European Aviation Safety Agency; 21 Oct. 2009 / 12. Feb. 2009

[19] Digel, W. (Red.): Meyers Großes Taschenlexikon; Band 5; S. 87; 2. neubearb. Auflage; BI-Taschenbuchverlag; Mannheim 1987; ISBN 3-411-02900-5

[19a] Digel, W. (Red.): Meyers Großes Taschenlexikon; Band 20; S. 148; 2. neubearb. Auflage; BI-Taschenbuchverlag; Mannheim 1987; ISBN 3-411-02900-5

[19b] Digel, W. (Red.): Meyers Großes Taschenlexikon; Band 8; S. 191; 2. neubearb. Auflage; BI-Taschenbuchverlag; Mannheim 1987; ISBN 3-411-02900-5

[20] Heidegger, M.: Sein und Zeit; 19. Auflage, Niemeyer, Tübingen 2006, ISBN 3-484-70153-6

[20a] Heidegger, M.: Sein und Zeit; 2. Kap. §§ 46-53; 19. Auflage, Niemeyer, Tübingen 2006, ISBN 3-484-70153-6

[20b] Heidegger, M.: Sein und Zeit; Kapitel 6 - §§ 39-44; 19. Auflage, Niemeyer, Tübingen 2006, ISBN 3-484-70153-6

[21] Weber, R.: Zur Erhöhung der Wirksamkeit des Mensch-Maschine-Dialogs am Büroarbeitsplatz durch software-ergonomische Gestaltungsanforderungen; Dissertation an der BTU Cottbus, Cottbus 2003

[22] Huchler, N.; Voß, G. G.; Weihrich, M.: Soziale Mechanismen im Betrieb – Empirische und theoretische Analysen zur Entgrenzung und Subjektivierung von Arbeit; S. 94-108; Rainer Hampp Verlag; München, Mering 2007; ISBN 978-3-86618-134-2

[23] Bartsch, H.: Skript Arbeitswissenschaft / Arbeitsgestaltung; S. 20-21; Lehrstuhl Arbeitswissenschaft der BTU Cottbus; Cottbus 2003

[23a] Bartsch, H.: Skript Arbeitswissenschaft / Arbeitsgestaltung; S. 46; Lehrstuhl Arbeitswissenschaft der BTU Cottbus; Cottbus 2003

[23b] Bartsch, H.: Skript Arbeitswissenschaft / Arbeitsgestaltung; S. 15; Lehrstuhl Arbeitswissenschaft der BTU Cottbus; Cottbus 2003

[23c] Bartsch, H.: Skript Arbeitswissenschaft / Arbeitsgestaltung; S. 13-14; Lehrstuhl Arbeitswissenschaft der BTU Cottbus; Cottbus 2003

[24] Tomaszewski, T.: Tätigkeit und Bewusstsein; S. 16; Beltz; Weinheim & Basel 1978

[24a] Tomaszewski, T.: Tätigkeit und Bewusstsein; S. 20; Beltz; Weinheim & Basel 1978

[25] Ulich, E.: Arbeitspsychologie; 6. überarbeitete u. erweiterte Auflage; S. 426-427; Schäfer-Poeschel Verlag; Stuttgart 2005; - ISBN 3-7910-2442-6

[26] Bullinger, H.-J.: Technologische Ansätze; in: Luczak, H., Volpert, W. (Hrsg): Handbuch Arbeitswissenschaft, S.83; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[27] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 190; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27a] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 207-238; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27b] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 239 u. 413-417; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27c] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 173-206; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27d] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 244-246; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27e] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 67; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27f] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 364; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27g] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 730; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27h] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 733-734; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27i] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 687; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27j] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 322; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[27k] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit; S. 345; 2. Auflage; Huber; Göttingen 1998/2005; ISBN 3-456-84249-X

[28] Eilenberger, G.: Komplexität – Ein neues Paradigma der Naturwissenschaften; S. 79 ff. in: Mannheimer Forum 89/90; R. Piper GmbH& Co. KG; München 1990

[29] Gerok, W.: Die gefährliche Balance zwischen Chaos und Ordnung im Menschlichem Körper, S. 147ff in Mannheimer Forum 89/90; R. Piper GmbH& Co. KG, München 1990

[30] Bartsch, H.: Ästhetik und Arbeit; in: Wolkenkuckucksheim; S. 7; 1. Jahrgang, Heft 1; BTU Cottbus; Oktober 1996

[31] Volpert, W.: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten; in: Kleinbeck, U., Rutenfranz, J. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie; Bd. 1; S. 1-42; Verlag Hogrefe; Göttingen 1987

[32] Diesch, M. M.: Aspekte zur Bewertung der flugbetrieblichen Produktqualität von Regionalverkehrsflugzeugen; S. 2-23; Diplomarbeit am Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik der FH Aachen; Aachen Dezember 2005

[33] Lloyd, E.; Tye, W.: Systematic Safety – Safety assessment of aircraft Systems; Civil Aviation Authority; London July 1982; ISBN 0-86039-141-8

[34] Schatt, F.: Lufttüchtigkeitsforderungen (LTF) in der Bundesrepublik Deutschland, TB2 – Lehrgang; Manuskript 1.3 / 1.4; Carl Cranz Gesellschaft e. V.; Oberpfaffenhofen 1986

[35] N.N.: SAE ARP4754; Certification Considerations for Highly-integrated or Complex Aircraft Systems; Society of Automotive Engineers; Warrendale, PA Nov. 1996

[36] Schneider, D.: Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Grundlagen; S.57-58; 2. Auflage; R. Oldenbourg Verlag; München 1995; ISBN 3-486-23423-4

[36a] Schneider, D.: Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Grundlagen; S. 84; 2. Auflage; R. Oldenbourg Verlag; München 1995; ISBN 3-486-23423-4

[37] Drukarczyk, J.: Finanzierung; in: F. X. Bea; Dichtel, E.; Schweizer, M. (Hrsg.): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; Band 3; Leistungsprozess; S. 331-336; 6. Auflage; Verlag G. Fischer; Stuttgart 1994; ISBN 3-8252-1089-3

[38] Diederich, H.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; S. 358; 6. neu bearb. u. erw. Aufl.; Verlag Kohlhammer; Stuttgart 1989; ISBN 3-17-010291-5

[39] Gutenberg, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre; S. 27f; Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler; Wiesbaden 1958; Verlags-Nr.8801

[39a] Gutenberg, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre; S. 32; Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler; Wiesbaden 1958; Verlags-Nr.8801

[40] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft; S. 448-449; 2., vollst. neub. Auflage; Springer-Verlag; Berlin 1998; ISBN 3-540-59138-9

[40a] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft; S. 3; 2. Auflage; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg New York 1998; ISBN 3-540-59138-9

[40b] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft; S. 276; 2. Auflage; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg New York 1998; ISBN 3-540-59138-9

[40c] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft; S. 659; 2. Auflage; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg New York 1998; ISBN 3-540-59138-9

[40d] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft; S. 269-270; 2. Auflage; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg New York 1998; ISBN 3-540-59138-9

[40e] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft; S. 327; 2. Auflage; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg New York 1998; ISBN 3-540-59138-9

[40f] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft; S. 80; 2. Auflage; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg New York 1998; ISBN 3-540-59138-9

[41] N. N.: Phases of Flight Specification; Draft; iSpec 2200; Air Transport Association of America (ATA); 2004

[42] Stieler-Lorenz, B.: Arbeitsökonomie; in: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 172; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997; ISBN 3-7910-0755-6

[43] Bier, M.: Beengte Arbeitsräume; in: Landau, K.; Pressel, G.: Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; S. 108-109; 1. Auflage; Gentner Verlag; Stuttgart 2004; ISBN 3-87247-617-3

[44] Faber, G.: Verkehrspilotenausbildung in Deutschland; in: Matuschek, I. (Hrsg.): Luft-Schichten; S. 69; Edition Sigma; Berlin 2008; ISBN 978-3-89404-563-027-49

[45] Lutz, K.: Geeignete Darstellungstiefen komplexer Flugzeugsysteme zur Optimierung der System Awareness von Verkehrspiloten; Diplomarbeit am Institut für Luft- und Raumfahrttechnik an der TU Berlin; Berlin 1999

[46] Cvetnic, T. V.: Technisierung im Flugverkehr und die Tätigkeit von Piloten; Diplomarbeit an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Augsburg; Augsburg 2006

[47] Liebau, H.; Landau, K.: Übung; in: Landau, K.; Pressel, G.: Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; S. 637-640; 1. Auflage; Gentner Verlag; Stuttgart 2004; ISBN 3-87247-617-3

[48] Schmitt, D.-R.; Le Tallec, C.: Ferngesteuert von New York nach Frankfurt – Fiktion oder Vision?; - EU-Projekt *Ifats* untersucht technische Machbarkeit eines vollautomatischen Luftverkehrs; DLR-Nachrichten 117; S. 14-19; Köln Juni 2007

[49] Weyer, J.: Autonomie und Kontrolle – Arbeit in hybriden Systemen am Beispiel der Luftfahrt; Technikfolgeabschätzung – Theorie und Praxis; S. 25-42; Heft Nr.2; 16. Jg; Juni 2007

[50] N. N.: Official Journal of the European Union; Commission Regulation (EC) No 8/2008 of 11 December 2007 amending Council Regulation (EEC) No 3922/91 as regards common technical requirements and administrative procedures applicable to commercial transportation by aeroplane (Text with EEA relevance; Subpart Q; 12.1.2008)

[51] Samel, A. et al: Langzeitmonitoring psychophysischer Größen in der Flugphysiologie; in: Internist; S. 755-769; Ausgabe 1997.38; Springer-Verlag; Berlin 1997

[52] Learmount, D.: Too tired for science - Airlines claim report findings on flight time limitations are `flawed`; Flight International; page 5&8; ; Reed Business Press; Sutton, Surrey, UK 07-13 April 2009

[53] Landau, K.: Alterseinfluss; in: Landau, K.; Pressel, G.: Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; S. 44-46; 1. Auflage; Gentner Verlag; Stuttgart 2004; ISBN 3-87247-617-3

[54] Sloan, S.; Cooper, C. L.: The Impact of Life Events on Pilots: An Extension of Alkov`s Approach; Aviation, Space and Environmental Medicine; page 1000-1003; Aerospace Medical Association; Washington, DC October 1985

[55] Learmount, D.: Rayanair lapse sparks safety spat; Flight International; page 4; Reed Business Press; Sutton, Surrey, UK 24-30 January 2006

[56] Alkov, R. A.: Life changes and accident behaviour - An approach; Aviation, Space and Environmental Medicine; page 18-19; Aerospace Medical Association; Washington, DC Feb. 1975

[57] Alkov, R. A.; Borowsky M. S.: A questionnaire study of psychological background factors in U.S. Naval aircraft accidents; Aviation, Space and Environmental Medicine 51; page 860-863; Aerospace Medical Association; Washington, DC October 1980

[58] Rahe, R. H.: Life Change Measurement Clarification; in: Psychosomatic Medicine; page 95-98; Vol. 40; No. 2; Elsevier North-Holland, Inc.; March 1978

[59] Mainzer, K.: Zeit – Von der Urzeit zur Computerzeit; S. 87; 4. Auflage; Verlag C. H. Beck oHG; München 2002; ISBN 3-406-44911-5

[59a] Mainzer, K.: Zeit – Von der Urzeit zur Computerzeit; S. 82; 4. Auflage; Verlag C. H. Beck oHG; München 2002; ISBN 3 406 44911 5

[60] Buld, S.: Der Arbeitsplatzinhaber als Experte bei der Arbeitsplatzbewertung, Dissertation an der Maximilians-Universität Würzburg; S. 32 ; dissertation.de- Verlag im Internet; Würzburg 2000; ISBN 3-89825-224-8

[60a] Buld, S.: Der Arbeitsplatzinhaber als Experte bei der Arbeitsplatzbewertung, Dissertation an der Maximilians-Universität Würzburg; S. 71-94, 134 ; dissertation.de- Verlag im Internet; Würzburg 2000; ISBN 3-89825-224-8

[61] Bartsch, H.: Flugsicherheit aus arbeitswissenschaftlicher Sicht; S. 1; Internetbeitrag unter www.heinz-bartsch.de/Flugsicherheit-2.pdf; Stand 2008

[62] Kuhlmann, A.: Sicherheitskultur; S. 79-89; TÜV-Verlag; Köln 2000; ISBN 3-8249-0586-8

[63] Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T.; Kolrep, H. (Hrsg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik; 2. Auflage; S. 88-89; Symposion Publishing GmbH; Düsseldorf 2002; ISBN 3-933814-83-9

[64] Makropoulos, M.: Sicherheit; in: Ritter, J.; Gründer, K. (Hrsg.): Historisches Wörterbuch der Philosophie; Band 9; Sp. 749; Schwabe & Co AG Verlag; Basel 1995

[64a] Makropoulos, M.: Sicherheit; in: Ritter, J.; Gründer, K. (Hrsg.): Historisches Wörterbuch der Philosophie; Band 9; Sp. 745; Schwabe & Co AG Verlag; Basel 1995

[65] Bartsch, H.: Definition Organisationskultur / Unternehmenskultur; Arbeitsfolie, BTU Cottbus, Lehrstuhl Arbeitswissenschaft, Cottbus 2003

[66] von Behr, M.; Dunkel, W.: Globalisierung und Arbeitskultur – neue Anforderungen für die Arbeitsforschung; in: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Innovation für Arbeit und Organisation; S. 263-266; GfA Press; Dortmund 2006

[67] Kant, I.: Idee zu einer allgemeinen Geschichte in weltbürgerlicher Absicht; Akademieausgabe, Bd. 8; S. 26; Riga 1784

[68] Matuschek, I.: Securogenese – Das Erzeugen von Sicherheit im kommerziellen Luftverkehr; in: Matuschek, I. (Hrsg.): Luft-Schichten; S. 239-261; Edition Sigma; Berlin 2008; ISBN 978-3-89404-563-0

[69] Wehrt, H.: Über Irreversibilität, Naturprozesse und Zeitstruktur – Die fundamentale Bedeutung der Asymmetrie; in: von Weizsäcker, E. U.: Offene Systeme I; S. 140-141; 2. überarb. Auflage; Ernst Klett-Verlag; Stuttgart 1986; ISBN 3-608-93118-X

[69a] Wehrt, H.: Über Irreversibilität, Naturprozesse und Zeitstruktur – Die fundamentale Bedeutung der Asymmetrie; in: von Weizsäcker, E. U.; Offene Systeme I; S. 197; 2. überarb. Auflage; Ernst Klett-Verlag; Stuttgart 1986; ISBN 3-608-93118-X

[70] N.N.: Meyers Enzyklopädisches Lexikon; S. 778; 9. Auflage; Bibliographisches Institut; Mannheim, Wien, Zürich 1977

[71] Hegel, G. W. F.: Werke 6; Wissenschaft der Logik II; S. 246; Suhrkamp Verlag; Frankfurt am Main 1969

[72] Hegel, G. W. F.: Werke 10; Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse (1830); 3. Teil; § 484; S. 303; Suhrkamp Verlag; Frankfurt am Main 1970

[73] Berlin, I.: Liberty, Oxford University Press, 2002. ISBN 0-19-924989-X

[74] Kant, I.: Grundlegung zur Metaphysik der Sitten; Dritter Abschnitt; S. 75-76; Meiner; Hamburg 1999

[75] Thomson, W.: On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy; in: Philosophical Magazine [4]; S.304; London 1852

[76] Boltzmann, L.: Ueber die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht; in: Akad. Sitzbericht; 76 (*Abth*. 2); pp. 373-435; Wien 1878

[77] Shannon, C.; Weaver, W.: A Mathematical theory of communication; Univ. of Illinois Press 1948

[78] Aristoteles: Physik – Vorlesung über Natur; Buch II; Kap. 2-3; S. 59-67; Meiner; Hamburg 1987

[79] Küppers, G.; Paslack, R.: Die natürlichen Ursachen von Ordnung und Organisation; in: Küppers, G. (Hrsg.): Chaos und Ordnung – Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft; S. 46; Philipp Reclam jun.; Stuttgart 1996; ISBN 3-15-009434-8

[80] Haken, H.: Synergetik – Eine Einführung; 3. Auflage; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York 1982; ISBN 3-540-51692-1

[80a] Haken, H.: Synergetik – Eine Einführung; 3. Auflage; S. 350-351; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York 1982; ISBN 3-540-51692-1

[80b] Haken, H.: Synergetik – Eine Einführung; 3. Auflage; S. 207; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York 1982; ISBN 3-540-51692-1

[81] Bartsch, H.: Skript Arbeitswissenschaft / Personalwesen; S. 13; Lehrstuhl Arbeitswissenschaft der BTU Cottbus; Cottbus 2003

[82] Dunn, M. H.: Die Unternehmung als ein soziales System; S. 211; Duncker & Humbolt; Berlin 1998; ISBN 3-428-07852-7

[83] Bruggemann, A.; Groskurth, P.; Ulich, E.: Arbeitszufriedenheit; S. 132; Verlag Huber; Bern 1975

[84] Bartsch, H.: Der Mensch als Gegenstand von Technologie-Wissenschaft, Internationales 4. Beckmannkolloquium an der Ingenieur- und Wirtschaftsakademie „Johann Beckmann e.V." und der FH Wismar; Konferenzband (CD); S. 148 – 158; Wismar 04./05. Juni 2004

[85] Knauff, Th.: Erarbeitung der Grundlagen zur Bestimmung von Anforderungen an Cockpit-Arbeitsplatzinhaber- Delay-Codes; S. 140-143; Diplomarbeit FH Aachen, Fachbereich 6; Aachen 2005

[85a] Knauff, Th.: Erarbeitung der Grundlagen zur Bestimmung von Anforderungen an Cockpit-Arbeitsplatzinhaber; S. 104-125; Diplomarbeit FH Aachen, Fachbereich 6; Aachen 2005

[86] N. N.: http://de.wikipedia.org/wiki/Vertrauen-Hoffnung; Abruf 20.01.2009

[87] Learmount, D.; Beyond the rules; Flight International; page 28-31; Reed Business Press; Sutton, Surrey, UK 20-26 January 2009

[88] Herter, J.: Krieg den Hütten - Friede den Palästen; Die Diktate des gegenwärtigen Ökonomismus; Abschiedsvortrag an der BTU Cottbus; Cottbus 24.08.2006

[89] Weber, H. K.: Rentabilität, Produktivität und Liquidität – Größen zur Beurteilung und Steuerung von Unternehmen; S.19; 2. Auflage; Verlag Gablerl; Wiesbaden 1998; ISBN 3-409-12800-X

[90] Jung, H.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; S. 31; 8. überarb. Auflage; Oldenbourg Wissenschaftsverlag; München 2002; ISBN 3-486-25904-0

[90a] Jung, H.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre; S. 727; 8. überarb. Auflage; Oldenbourg Wissenschaftsverlag; München 2002; ISBN 3-486-25904-0

[91] Heinen, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre; S. 106; 9. verb. Auflage; Verlag Gabler; Wiesbaden 1985; ISBN 3-409-32750-9

[92] Corsten, H. (Hrsg.); Reiss, M. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre; S. 22; R. Oldenbourg Verlag GmbH; München 1994; ISBN 3-486-22278-3

[93] Weick, K. E.: Sensemaking in Organisations; Foundations for Organizational Science; Sage Publications; London 1995; ISBN 978-0-8039-7177-6

[94] Bloech, J.; Lücke, W.: Fertigungswirtschaft; in: F. X. Bea, E. Dichtel, M. Schweizer (Hrsg.); Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Band 3, Leistungsprozess; S. 79; 6. Auflage; Verlag G. Fischer; Stuttgart 1994; ISBN 3-8252-1089-3

[95] Matuschek, I.; Voß, G.: Controlled flight into demotivation? Motivationale - Aspekte in der Tätigkeit von Piloten; in: Matuschek, I. (Hrsg.): Luft-Schichten; S. 69; Edition Sigma; Berlin 2008; ISBN 978-3-89404-563-0

[96] N. N.: Immer mehr Bodenarbeiten werden ins Cockpit delegiert; Vereinigung Cockpit; Pressemitteilung vom 19.08.1998

[97] Wehner, Th.: Fehler und Fehlhandlungen; in: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 468-472; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[98] Bubb, H.; Bubb, P.: Ergonomische Studien; Bericht Nr. 44; Menschliche Zuverlässigkeit; S. 107; Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung; Koblenz 2/1999; ISBN 3-927038-43-1

[98a] Bubb, H.; Bubb, P.: Ergonomische Studien; Bericht Nr. 44; Menschliche Zuverlässigkeit; S. 44-46; Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung; Koblenz 2/1999; ISBN 3-927038-43-1

[99] Dörner, D.: Die Logik des Misslingens; S. 62; 3. Auflage; Rowohlt Verlag GmbH; Reinbeck bei Hamburg 2004; ISBN 3-499-61578-9

[99a] Dörner, D.: Die Logik des Misslingens; S. 276-292; 3. Auflage; Rowohlt Verlag GmbH; Reinbeck bei Hamburg 2004; ISBN 3-499-61578-9

[100] Huchler, N.; Dietrich, N.; Matuscheck, I.: Multilokale Arrangements im Luftverkehr - Voraussetzungen, Bedingungen und Folgen multilokalen Arbeitens; in: Informationen zur Raumentwicklung (IzR), Heft 1; 2009 (im erscheinen)

[101] Learmount, D.: Time To Change?; Flight International; page 30-34; Reed Business Press; Sutton, Surrey, UK 6-12 June 2006

[102] N. N.: Pilotenverband warnt vor Übermüdung im Cockpit; Vereinigung Cockpit; Presseinformation vom 11.06.2008

[103] Turner, A.: Qinetiq shuns EASA duty hours research; Flight International; page 9; Reed Business Press; Sutton, Surrey, UK 24-30 July 2007

[104] Dorn, L.: Experteninterview im Aeromedical Center Köln; Notizen unveröffentlicht; 5.02.2009

[105] http://www.tu-chemnitz.de/phil/soziologie/institut/Arbeit_im_Luftverkehr-230.html; Status 05.02.2009

[106] Streeb, A.-V.: Zu Zwischen- und Unfällen in der Verkehrsluftfahrt; Studienarbeit im Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik; FH- Aachen 2004

[107] Haakonson, N. H.: Investigation of life change as a contributing factor in aircraft accidents: A prospectus; Aviation, Space and Environmental Medicine 51(9); page 981-988; Aerospace Medical Association; Washington, DC September 1980

[108] Störig, H. J.: Weltgeschichte der Philosophie; S. 590-591; Ausgabe Büchergilde Gutenberg; Frankfurt am Main 1985; ISBN 3-7632-09506

[108a] Störig, H. J.: Weltgeschichte der Philosophie; S. 398-401; Ausgabe Büchergilde Gutenberg; Frankfurt am Main 1985; ISBN 3-7632-09506

[109] Friedrich, W.; Henning, W. (Hrsg.): Der sozialwissenschaftliche Forschungsprozess; S.149-169; VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften; Berlin 1980

[109a] Friedrich, W.; Henning, W. (Hrsg.): Der sozialwissenschaftliche Forschungsprozess; S.27; VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften; Berlin 1980

[109b] Friedrich, W.; Henning, W. (Hrsg.): Der sozialwissenschaftliche Forschungsprozess; S.390; VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften; Berlin 1980

[110] Nachreiner, F.: Methoden empirischer Forschung in der Arbeitswissenschaft; in: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft, S.87-91; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[111] Hofkirchner, W.: Information und Selbstorganisation - Zwei Seiten einer Medaille, in: Fenzel, N. et al. (Hrsg.): Information und Selbstorganisation. Annäherung an eine vereinheitliche Theorie der Information; Studienverlag; S. 69-99; Innsbruck 1998

[112] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 37; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112a] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 255; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112b] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 61; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112c] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 66; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112d] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 77-78; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112e] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 90; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112f] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 313; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112g] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 86; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[112h] Jantsch, E.: Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist; S. 75; Carl Hanser Verlag, München 1992; ISBN 3 446 17037 5

[113] Ebeling, W.; Feistel, R.: Chaos und Kosmos – Prinzipien der Evolution; S. 35; Spektrum Akad. Verlag; Berlin 1994; ISBN 3 86025 310 7

[114] Eigen, M.: Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie.; Verlag Piper, München 1987

[115] Prigogine, I.: Vom Sein zum Werden - Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften; S. 226; 5. Auflage; Verlag Piper & Co.; ISBN 3 492 02943 4

[115a] Prigogine, I.: Vom Sein zum Werden - Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften; S. 30; 5. Auflage; Verlag Piper & Co.; ISBN 3 492 02943 4

[116] Nicolis, G.; Prigogine, I.: Fluctuations in Non-Equilibrium Systems; p. 2102-2107; Proc. Natl. Acad. Sci. USA 1971

[117] Sandkühler, H. J. et al.: Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften; Band 3; Felix Meiner Verlag; Hamburg 1990

[118] Dorn, L.: Selbstanalyse des arbeitenden Subjekts im Flugbetrieb; unveröffentlichte Erfahrungsaspekte, 1973-2006

[119] Lyre, H.: Zur apriorischen Begründbarkeit von Information; in: Mittelstraß, J. (Hrsg.): Die Zukunft des Wissens; XVIII. Deutscher Kongress für Philosophie; Konstanz 1999; S. 59-66; UVK Universitätsverlag Konstanz 1999

[120] Fenzel, N. et. al.: On the Genesis of Information Structures: A View that is neither Reductionist nor Holistic; in: Kornwachs, K.; Jacoby, K. (Hrsg.): Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept; S. 271-283; Akademie Verlag GmbH; Berlin 1996; ISBN 3-05-501665-3

[121] von Weizsäcker, E. U.: Erstmaligkeit und Bestätigung; in: von Weizsäcker, E. U. (Hrsg.): Offene Systeme- Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution; S. 93-95; 2. überarb. Auflage; Ernst Klett-Verlag;1986; ISBN 3-608-93118-X

[122] Preuß, F.: Der Aufbau des Menschlichen: Die Mitschöpfung der Lebewesen an Ihrer Gestaltung – Eine biologische Evolutionstheorie des Konkreten Vitalismus; S.36-39; Verlag P. Parey; Hamburg, Berlin 1987

[123] Leontjew, A.: Beiträge zur Psychologie, Band 1,Tätigkeit - Bewusstsein – Persönlichkeit; S. 189; 1. Auflage; Volk und Wissen VEB; Berlin 1979; Lizenz Nr. 203•100/78

[123a] Leontjew, A.: Beiträge zur Psychologie, Band 1,Tätigkeit - Bewusstsein - Persönlichkeit; S. 94-100; 1. Auflage; Volk und Wissen VEB; Berlin 1979; Lizenz Nr. 203•100/78

[123b] Leontjew, A.: Beiträge zur Psychologie, Band 1,Tätigkeit - Bewusstsein - Persönlichkeit; S. 106; 1. Auflage; Volk und Wissen VEB; Berlin 1979; Lizenz Nr. 203•100/78

[124] Wieland-Eckelmann, R.; Baggen, R.: Beanspruchung und Erholung im Arbeits-Erholungs-Zyklus; in: Wieland-Eckelmann, R. et al.: Erholungsforschung; Beiträge der Emotionspsychologie, Sportpsychologie und Arbeitspsychologie; S. 102-154; Beltz, Psychologie-Verlags-Union; Weinheim 1994; ISBN 3-621-27185-6

[125] Bauer, H. G. et al: Hightech-Gespür – Erfahrungsgeleitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen; Bertelsmann Verlag GmbH; Bielefeld 2002; ISBN 3-7639-0958-3

[125a] Bauer, H. G. et al: Hightech-Gespür – Erfahrungsgeleitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen; S. 42; Bertelsmann Verlag GmbH; Bielefeld 2002; ISBN 3-7639-0958-3

[126] Böhle, F., Schulze, H.: Subjektivierendes Arbeitshandeln in: Schachtner, Ch. (Hrsg.): Technik und Subjektivität; S. 33-34; Suhrkamp; Frankfurt am Main 1997; ISBN 3-518-28907-1

[127] Hart, S. G.; Staveland, L. E.: Development of NASA TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research; CASI 20000004342; NASA Ames Research center, Cal 1988

[128] Rohmert, W.: Das Belastungs- Beanspruchungs- Konzept; Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Nr. 38; S. 193-200; 1984

[129] Luczak,H., Rohmert, W.: Belastungs- Beanspruchungs- Konzepte; in: Luczak, H./ Volpert, W. (Hrsg): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 331; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[130] Ebeling, W.: Chaos- Ordnung- Information, Selbstorganisation in Natur und Technik; S. 36-43; 1. Auflage; Verlag H. Deutsch; Frankfurt/Main 1989; ISBN 3 8171-1112 6

[131] Imboden, D.; Koch, S.: Systemanalyse- Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme; S. 151-158; korr. der 1. Auflage; Springer- Verlag; Berlin Heidelberg 2004; ISBN 3-540-43935-8

[131a] Imboden, D.; Koch, S.: Systemanalyse- Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme; S. 16-17; korr. der 1. Auflage; Springer- Verlag; Berlin Heidelberg 2004; ISBN 3-540-43935-8

[131b] Imboden, D.; Koch, S.: Systemanalyse- Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme; S. 176-179; korr. der 1. Auflage; Springer- Verlag; Berlin Heidelberg 2004; ISBN 3-540-43935-8

[132] Wygotski, L. S.: Die Entwicklung der höheren psychischen Funktionen; S. 198-199 (russ.); Moskau 1960

[135] Piaget, J.: Die Rolle der Handlung bei der Herausbildung des Denkens in: „Woprossy psichologii“ Nr. 6; S. 33; Moskau 1965

[136] Ulich, D.: Emotion; in: Dörner, D.; Selg, H. (Hrsg.): Psychologie – Eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder; S. 115-124; 2. Auflage; Kohlhammer; Köln 1996; ISBN 3-17-012266-5

[137] Scherer, K. R.; Wallbott, H. G.: Ausdruck von Emotionen; zitiert in: Remlinger, I.: Interiorisation von Emotionen – Diplomarbeit; S. 9; Bielefeld 1992

[138] Geppert, U.; Heckhausen, H.: Ontogenese der Emotionen; in: Scherer, K. R. (Eds.): Psychologie der Emotionen; S. 115-212; Hogrefe; Göttingen 1990

[139] Stadler, M.: Wahrnehmung; in: Luczak, H./ Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 403-404; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[140] Boucsein, W.: Aktivierung; in: Luczak, H., Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 309; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[141] Dörner, D.; Verhalten und Handeln: in: Dörner, D.; Selg, H. (Hrsg.): Psychologie – eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder; S. 100-114; Verlag W. Kohlhammer GmbH; Stuttgart 1996; ISBN 3-17-012266-5

[142] Volpert, W.; Handlungsstrukturanalyse als Beitrag zur Qualifikationsforschung; Pahl-Rugenstein; Köln 1974

[143] Brechignac, C.: Clusters as precursors of nano- objects; ESOF- Seminar- CLUSTERS: From nanoworld to neurons and galaxies; (Dorn, privat notes); München, 16.07.2006

[144] Schulten, K.: Clustering of function in biological cells; ESOF- Seminar- CLUSTERS: From nanoworld to neurons and galaxies; (Dorn, privat notes); München, 16.07.2006

[145] Solovyov, A. V.: Clustering phenomena in systems of varied degrees of complexity; Eurosience Open Forum; Plenary Lecture; (Dorn, privat notes); München, 17.07.2006

[146] Selg, H., Dörner, D.: Psychologie als Wissenschaft – Ihre Aufgaben und Ziele; in: Dörner, D.; Selg, H. (Hrsg.): Psychologie – eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder; S. 20-21; Verlag W. Kohlhammer GmbH; Stuttgart 1996; ISBN 3-17-012266-5

[147] Fetz, R. L.: Piaget als philosophisches Ereignis; in: Steiner, G. (Hrsg.): Die Psychologie des 20. Jahrhunderts; Band VII; S. 31; Piaget und die Folgen; Kindler Verlag AG; Zürich 1978

[148] Häusler, R. et al.: Behavioral Markers in Analyzing Team Performance of Cockpit Crews; in: Dietrich, R.; Childress T. M. (Edt.): Group interaction in high risk environments; S.25-37; Ashgate Publishing Ltd, Aldershot 2004

[149] Arnold, W. et al (Hrsg.): Lexikon der Psychologie; Erster Band; S.48; Verlag Herder; Freiburg 1980; ISBN 3-451-17941-5

[150] Heeg, F. J.: Problemlösen und Entscheiden in komplexen Problemsituationen; in: Heeg, F. J. & Meyer-Dohmen, P. (Hrsg.): Methoden der Organisationsgestaltung und Personalentwicklung; REFA- Fachbuchreihe Betriebsorganisation; S. 490-547; Verlag Hanser; München 1994

[151] Bartsch, H.: Menschliche Zuverlässigkeit in Arbeitssystemen; in: Albert, Herter (Hrsg.): Querschnitte fachübergreifende Lehre und Forschung an der BTU Cottbus Bd. 4; Orientierungen: Philosophie und Kultur – Betriebliche Bildung und Arbeit; S. 189 – 208; IKO – Verlag für Interkulturelle Kommunikation; Frankfurt/Main, London, 2003; ISBN 3-88939-677-1

[152] Verster, F.: Die Kunst vernetzt zu denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität; S. 21; Deutsche Verlags- Anstalt GmbH; Stuttgart, 1999; ISBN 3-421-05308-1

[153] Bartsch, H.: Führungsqualität und Handlungskompetenz im Flugbetrieb - Definitionen; Beitrag zum 10. FHP- Symposium; Ruhmspringe April, 2006

[154] Roenneberg, T.; Merrow, M.: Der Tag in uns; in: Deutsches Museum (Hrsg.): Magazin Kultur & Technik 1/2001; S. 33-37; Verlag Ch. Beck, München 2001

[155] Kössler, H.: Bildung und Identität; in: Kössler, H. (Hrsg.): Identität: fünf Vorträge; S. 51-65; Erlanger Forschungen, Reihe B, Bd. 20; Erlangen 1989

[156] N. N.: Joint Aviation Requirements JAR-OPS 1; Commercial Air Transportation (Aeroplanes); Change 1; Westward Digital LTD; Cheltenham 1998

[157] Luczak, H.; Päßler, K.: Vigilanz; in: Landau, K.; Pressel, G. (Hrsg.): Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; S. 663-665; 1. Auflage; Gentner Verlag; Stuttgart 2004; ISBN 3-87247-617-3

[158] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie: psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten; 1. Auflage; S. 186ff, S. 711; Bern, Göttingen, Toronto, Seattle; Verlag Huber 1998, ISBN 3-456-82917-5

[158a] Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie: psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten; 1. Auflage; S. 70; Bern, Göttingen, Toronto, Seattle; Verlag Huber 1998, ISBN 3-456-82917-5

[159] Hille, K.: Die „künstliche Seele“ – Analyse einer Theorie; S. 286; Dt. Uni.- Verlag GmbH; Wiesbaden 1997; ISBN 3-8244-4205-1

[159a] Hille, K.: Die „künstliche Seele“ – Analyse einer Theorie; S. 30-36; Dt. Uni.- Verlag GmbH; Wiesbaden 1997; ISBN 3-8244-4205-1

[159b] Hille, K.: Die „künstliche Seele“ – Analyse einer Theorie; S. 12-23 ; Dt. Uni.- Verlag GmbH; Wiesbaden 1997; ISBN 3-8244-4205-1

[159c] Hille, K.: Die „künstliche Seele“ – Analyse einer Theorie; S. 99 ; Dt. Uni.- Verlag GmbH; Wiesbaden 1997; ISBN 3-8244-4205-1

[160] Locke, E. A.; Latham, G. P.: A Theory of Goal Setting and Task Performance. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice- Hall; 1990

[161] Bubb, H.: Menschliche Zuverlässigkeit, S. 34; 1. Auflage; ecomed - Fachverlag; Landsberg, 1992

[162] Schaub, H.: Modellierung der Handlungsorganisation; 1. Auflage; Verlag Hans Huber; Bern 1993; ISBN 3-456-82276-6

[162a] Schaub, H.: Modellierung der Handlungsorganisation; S. 85; 1. Auflage; Verlag Hans Huber; Bern 1993; ISBN 3-456-82276-6

[163] Kuhlmann, A.: Einführung in die Sicherheitswissenschaft; S.226; 2. überarb. Auflage; Verl. TÜV Rheinland; Köln 1995; ISBN 3-8249-0266-4

[164] Dinges, W.: Das Verkehrsflugzeug als Mensch Maschine System; in: Dinges, W.; Faber, G.: System Mensch Flugzeug; S. 48 -57; Air Report Verlag; Rossdorf, 1982

[165] v. Weizsäcker, C. F.: Vorbereitete Diskussionsbemerkung; Nova Acta Leopoldina 37/1 (206); 503; Leipzig: J. Ambrosius Barth; 1972

[166] Böhme, G.: Information und Verständigung; in: von Weizsäcker, E. U.: Offene Systeme I; S. 17-34; 2. überarb. Auflage; Ernst Klett-Verlag; Stuttgart 1986; ISBN 3-608-93118-X

[167] Görnitz, Th.; Görnitz, B.: Der kreative Kosmos; S. 88; Elsevier GmbH; München 2007

[167a] Görnitz, Th.; Görnitz, B.: Der kreative Kosmos; S. 351-353; Elsevier GmbH; München 2007

[167b] Görnitz, Th.; Görnitz, B.: Der kreative Kosmos; S. 1; Elsevier GmbH; München 2007

[168] Görnitz, Th.: Quanten sind anders - die verborgene Einheit der Welt; S. 247-256; Spektrum, Akad. Verl.; Heidelberg 1999; ISBN 3-8274-0571-8

[169] Haken, H.; Wunderlin, A.: Die Selbststrukturierung der Materie – Synergetik in der unbelebten Welt; S.86-87; Verlag Vieweg; Braunschweig 1991; ISBN 3-528-06315-7

[170] Boucsein, W.: Aktivierung; in: Luzcak, H./ Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 309-311; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[171] Ebeling, W. et al.: Selbstorganisation in der Zeit; S. 71; Akademie- Verlag; Berlin 1990; ISBN 3-05-500709-3

[172] Prigogine, I.: Acad. Roy Belg.; Bull. Classe. Sci., 31; page 600; 1945

[173] Hoppe, W. et al : Biophysik; 2. Auflage; S. 349-354; Springer- Verlag; Berlin, Heidelberg, New York 1982; ISBN 3-540-11335-5

[174] Mertens, J.; Dorn, L.: *Darmstädter Protokoll* zur Arithmetisierung des Interiorisationsprozesses; unveröffentlichtes Arbeitspapier, Darmstadt 24.11.2006

[175] Nicolis, G.; Prigogine, I.: Die Erforschung des Komplexen; S.96; R. Piper GmbH & Co. KG, München 1987; ISBN 3-492-03075-0

[176] Kilian, U.; Weber, C. (Red.): Lexikon der Physik; Bd. 5; S.310; Spektrum, Akademischer Verlag GmbH; Heidelberg 2000; ISBN 3-86025-295-X

[177] Wolkenstein, M. V.: Entropie und Information; S. 135-141; dtsch. Ausgabe - übers. a. d. Russ.; Verlag H. Deutsch; Frankfurt/Main 1990; ISBN 3 8171 1100 2

[177a] Wolkenstein, M. V.: Entropie und Information; S. 178-179; dtsch. Ausgabe - übers. a. d. Russ.; Verlag H. Deutsch; Frankfurt/Main 1990; ISBN 3 8171 1100 2

[178] von Bertalanffy, L.: Biophysik des Fließgleichgewichts; S. 137-138; 2. Auflage, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH; Braunschweig 1977

[178a] von Bertalanffy, L.: Biophysik des Fließgleichgewichts; S. 62; 2. Auflage, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH; Braunschweig 1977

[179] Wickens, C. D.: Engineering Psychology and Human Performance; Merrill; Colombus Ohio 1984

[180] Hägele, P. C.: Was hat Entropie mit Information zu tun?; im Internet veröffentlichter Beitrag; Version 03.07.2004 - www.uni-ulm.de/~phaegele/Vorlesung/Grundlagen

[181] Kornwachs, K.: Pragmatic Information and System Surface; in: Kornwachs, K.; Jacoby, K. (Hrsg.): Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept; S. 163-185; Akademie Verlag GmbH; Berlin 1996; ISBN 3-05-501665-3

[182] Feistel, R.: Ritualisation und die Selbstorganisation der Information; in: Niedersen, U. (Hrsg.): Selbstorganisation – Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften; Band 1; S. 90; Verlag Duncker & Humblot GmbH; Berlin 1990; ISBN 3-428-07084-4

[183] Duda, H.: Fliegbarkeitskriterien bei begrenzter Stellgeschwindigkeit; Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt; Forschungsbericht 97-15; S.27; Braunschweig 1997

[183a] Duda, H.: Fliegbarkeitskriterien bei begrenzter Stellgeschwindigkeit; Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt; Forschungsbericht 97-15; S.61-63; Braunschweig 1997

[184] Cooper, G.E.; Harper, R. P. JR.: The Use of Pilot Rating in the Evaluation of Aircraft Handling Qualities; AGARD Report 567; April 1969

[185] Wierwille, W. W.; Casali, J. G.: A validated rating scale for global mental workload measurement applications; Proceedings of the Human Factors Society 27th Annual Meeting (pp129-133); Human Factors Society; Norfolk, VA 1983

[186] Heineken, E.; Kugler, J.: Reaktions- und Entscheidungszeiten; in: Schmidtke, H.; Handbuch der Ergonomie; Band 1; 2. Auflage; Kapitel A-6.3.1; S. 9; Carl Hanser Verlag 1996; ISBN 3-446-15407-8

[187] McRuer, D. T.: Pilot-Induced Oscillations and Human Dynamic Behavior; NASA CR 4683; Hawthorne, CA 1995

[188] Hacker W.; Richter, P.: Psychische Fehlbeanspruchung: psych. Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Stress; S. 213-220; 2. veränderte u. ergänzte Aufl.; Springer Verlag; Berlin 1982

[188a] Hacker W.; Richter, P.: Psychische Fehlbeanspruchung: psych. Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Stress; S. 52-74; 2. veränderte u. ergänzte Aufl.; Springer Verlag; Berlin 1982

[188b] Hacker W.; Richter, P.: Psychische Fehlbeanspruchung: psych. Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Stress; S. 209; 2. veränderte u. ergänzte Aufl.; Springer Verlag; Berlin 1982

[189] Dahme, Ch.: Selbstorganisation und Tätigkeitstheorie; in: Niedersen, U.; Pohlmann, L. (Hrsg.): Selbstorganisation – Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- u. Geisteswissenschaften; Band 1; S.154-155; Verlag Dunckner & Humblot GmbH; Berlin 1990

[190] Grimm, R.: Digitale Kommunikation; S. 133; Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH; München 2005; ISBN 3-486-57828-6

[191] Flight Safety Foundation; http://aviation-safety.net/database; Status 10.05.2007

[192] Shannon, C. E.: A mathematical theory of communication. Bell Syst. Tech.; J. 27; p. 379-423, 623-652; 1948

[193] Eissing, G.: Energetik; in: Luzcak, H., Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 360; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[194] Spitzer, H.; Hettinger, Th.; Kaminsky, G.: Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit; 6. vollst. überarb. Auflage; Beuth Verlag GmbH; Berlin, Köln 1982

[195] Rühmann, H.: Körperkräfte; in: Luczak, H., Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 364- 367; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[196] Piekarski, C.; Kampmann, B.: Thermoregulation; in: Luczak, H., Volpert, W. (Hrsg.) : Handbuch Arbeitswissenschaft; S. 375 - 378; Schäfer-Poeschel; Stuttgart 1997, ISBN 3-7910-0755-6

[197] Rohmert, W. et. al.: Bioenergetik; in: Handbuch der Ergonomie; Abschnitt A – 4.1.4.; Stand 11/83

[198] Bergmeier, U.: Skript zum Ergonomischen Praktikum – Dynamische Muskelarbeit; S. 5; Technische Universität München; Lehrstuhl für Ergonomie; 2006

[199] Gerthsen, Ch.: Physik – Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen; S. 200-202;14. Auflage; Verlag Springer; Berlin Heidelberg New York 1982; ISBN 3-540-11369-X

[200] Crass, T.: Bioinformatik der Systembiologie; Version 0.9.1; S. 36-65, S. 81; Georg-August-Universität; Göttingen 2006

[201] N. N.: B 747-200 C/SF - OM Part B, 03; Chapter 1.30.02; AIRCONDITIONING & PRESSURIZATION; Lufthansa Cargo AG - Stand 1999

[202] Gerlach, H.-M.: Existenz; in: Sandkühler, H. J. (Hrsg.); Enzyklopädie Philosophie-Band 1; S.974-975; Felix Meiner Verlag; Hamburg 1999

[203] Häusler, R. et al: Behavioral Markers in Analyzing Team Performance of Cockpit Crews; in: Dietrich, R. Childress, T. M.; Group interaction in high risk environments; S. 25-54; Ashgate; Aldershot 2004; ISBN 0-7546-4011-6

[204] Köster, F.; Mehl, K.: A Data-Driven Approach to Support the Develpment of Agents Assisting the Assessment and Diagnosis of Man / Machine Interactions, 12th International Symposium on Aviation Psychology; Proccedings S. 674-679; Dayton (OH), USA 2003

[205] Beckermann, A.: Philosophie des Geistes; in: Sandkühler, H. J. (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie; Band 2; S. 1156-1159; Felix Meiner Verlag; Hamburg 1999

[206] Jørgensen, S. E.; Bendoricchio, G.: Fundamentals of ecological modelling; p. 393; 3rd edition; Elsevier; Amsterdam 2001; ISBN 0-080-44015-0

[206a] Jørgensen, S. E.; Bendoricchio, G.: Fundamentals of ecological modelling; p. 198; 3rd edition; Elsevier; Amsterdam 2001; ISBN 0-080-44015-0

[207] Giesa, H.-G.: Die Bewertung der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen; S.126; Fortschrittsbericht VDI Reihe 22 Nr.13; VDI Verlag; Düsseldorf 2003; ISBN 3-18-301322-3

[208] Breiing, A.; Ryszard K.: Bewerten technischer Systeme- Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen; S. 190-192; Springer- Verlag; Berlin Heidelberg 1997; ISBN 3-540-61086-3

[208a] Breiing, A.; Ryszard K.: Bewerten technischer Systeme- Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen; S. 46-48; Springer-Verlag; Berlin Heidelberg 1997; ISBN 3-540-61086-3

[209] Verhulst, P.-F.: Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement ; in: Correspondances Math. et Physiques 10 ; S. 113-121 ; Société Belge de Librairie – Hauman et C°; Bruxelles 1838

[210] Blome, H-J.; Mertens, J.; Dorn, L.: Diskussionen zum Thema der mathematischen Modellierung von natürlichem Systemverhalten; Unveröffentlichte Notizen; Aachen Juli 2004

[211] Colquhoun, W. P. (Ed.): Biological Rhythms and Human Performance; Academic Press, London-New York 1971

[212] Spiro, R. et al.: Cognitive flexibility, constructivism and hypertext: random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains; in: Educational Technology p. 24-33; 31 / 1991

[213] Bartsch, H.: Menschliche Zuverlässigkeit; in: Landau, K. (Hrsg.): Lexikon Arbeitsgestaltung; S. 839-841; 1. Auflage; Gentner Verlag, Stuttgart 2007; ISBN 13: 978-3-87247-655-5

[214] Leventhal, H.: A perceptual motor theory of emotion; in: Scherer, K. P.; Ekman, P. (Eds.); Approaches to emotion; pages 271-292; Erlbaum; Hillsdale, NJ 1984

[215] Wieland-Eckelmann, R.: Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung; S. 59-60; Hogrefe, Göttingen 1992

[215a] Wieland-Eckelmann, R.: Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung; S. 73; Hogrefe, Göttingen 1992

[215b] Wieland-Eckelmann, R.; Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung; S. 239; Hogrefe, Göttingen 1992

[215c] Wieland-Eckelmann, R.: Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung; S. 281-296; Hogrefe, Göttingen 1992

[215d] Wieland-Eckelmann, R.: Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung; S. 241-244; Hogrefe, Göttingen 1992

[216] Schönpflug, W.: Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit – Konzepte und Theorien; in: Kleinbeck, U.; Rutenfranz, J. (Hrsg.); Arbeitspsychologie; S. 130-184; Hogrefe; Göttingen 1987

[217] Wieland-Eckelmann, R.; Bösel, R.: Konstruktion eines Verfahrens zur Erfassung von dispositionellen Angstbewältigungsstilen im Leistungsbereich; Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie, Heft 1, S. 39-56; 1987 – 8

[218] Timm, E.: Arbeit im Call Center – Tätigkeitsstrukturen, Belastungen, Ressourcen; S. 86-87; Dissertation an der Bergischen Universität Wuppertal; Fachbereich 03; 2003

[219] Neal, T. P.; Smith, R. E.: A Flying Qualities Criterion for the Design of Fighter Flight-Control Systems, Journal of Aircraft; Volume 8; Number 10; Pages 803-809; 1971

[220] Brieger, O. et al.: Flight Testing of a rate saturation compensation scheme on the AT-TAS aircraft; Interner Bericht; Department of Engineering, University of Leicester & Institute of Flight Systems, German Aerospace Center (DLR); Leicester, Braunschweig 2007

[221] Twisdale, T.: Handling Qualities Testing; SFTE Short Course, Lancaster, CA, USA; Nov. 2005

[222] Hellenschmidt, J.: Zur experimentellen Bestimmung des Leistungsvermögens von Flugzeugführern; Diplomarbeit am FB6 der FH Aachen; Aachen 2004

[223] Bokranz, R.; Landau, K.: Einführung in die Arbeitswissenschaft; S. 378; Ulmer; Stuttgart 1991; ISBN 3-8001-2627-3

[223a] Bokranz, R.; Landau, K.: Einführung in die Arbeitswissenschaft; S. 249-253; Ulmer; Stuttgart 1991; ISBN 3-8001-2627-3

[223b] Bokranz, R.; Landau, K.: Einführung in die Arbeitswissenschaft; S. 241-242; Ulmer; Stuttgart 1991; ISBN 3-8001-2627-3

[224] Laurig, W.: Belastung, Beanspruchung und Erholungszeit bei energetische-muskulärer Arbeit; Literaturexpertise, Forschungsbericht Nr. 272 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund; Bremerhaven 1981

[225] Bokranz, R.: Erholungsbedarf und Erholung bei industrieller Arbeit; Gräfelfing 1982

[226] Luczak, H.: Belastung, Beanspruchung und Erholungszeit bei informatorisch-mentaler Arbeit; S.62-78; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung (Hrsg.); Wirtschaftsverlag NW; Bremerhaven 1982; ISBN 3-88314-215-8

[227] Schmidtke, H.: Die Ermüdung; S. 213-217; Verlag Hans Huber; Stuttgart 1965

[227a] Schmidtke, H.: Die Ermüdung; S. 184; Verlag Hans Huber; Stuttgart 1965

[228] Scheuch, K.: Stress; in: Landau, K.; Pressel, G. (Hrsg.): Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; S.612-616; Gentner Verlag, Stuttgart 2004; ISBN 3-87247-617-3

[229] Knauth, P.: Arbeitszeit u. Arbeitsdauer; in: Landau, K.; Pressel, G. (Hrsg.): Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen; S.69; Gentner Verlag, Stuttgart 2004; ISBN 3-87247-617-3

[230] Roenneberg, T.; Merrow, M.: Das Leben im Zeitraum Tag; Institutsveröffentlichung; Zentrum für Chronobiologie, Institut für Med. Psychologie an der Ludwig Maximilians Universität; München 2007

[231] Roenneberg, T. et al: A marker for the end of adolescence; Current biology; Volume 14; Issue 24; Pages R1038-R1039; 29 December 2004

[232] Wittmann, M. et al: Social Jetlag - Misalignment of Biological and Social Time; Chronobiology International, Volume 23, Issue 1 & 2; pages 497 – 509; May 2006

[233] Klein, K. E.; Wegmann, H. M.: AGARDograph No. 247; Significance of circadian rhythms in aerospace operations; S. 44-45; Technical Editing and Reproduction Ltd; London 1980; ISBN 92-835-1378-9

[234] Weber, P.: Die Lidschlagrate als Vergleichsparameter für aktuelle und zukünftige Flugsicherungssysteme hinsichtlich Ermüdung und visueller Beanspruchung von Fluglotsen; Dissertation an der Universität Dortmund, Fachbereich 14, Organisationspsychologie; Dortmund 2002

[235] Klein, K. E. et al: Desynchronization of Body Temperature and Performance Circadian Rhythm as a Result of Outgoing and Homegoing Transmerian Flights; Reprint Aerospace Medicine; S. 121; Volume 43; Number 2; February 1972

[236] Hockey, R. (ED.): Stress and Fatigue in Human Performance; page 307; John Wiley & Sons Ltd.; Chichester 1983; ISBN 0 471 10265 2

[237] Schönpflug, W.; Schulz, P.: Lärmwirkungen bei Tätigkeiten mit komplexer Informationsverarbeitung; Forschungsbericht 79-105 01 201; Umweltbundesamt; Berlin 1979

[238] Toynbee, A. J.: A Study of History; gekürzte Ausgabe von D.C. Somervell; Oxford University Press; London 1946 / 1957

[239] Peitgen, H.-O.; Jürgens, H.; Saupe, D.: Bausteine des Chaos – Fraktale -; S. 72-79; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg 1992

[240] Mainzer, K.: Komplexität; S. 118; Wilhelm Fink Verlag GmbH & Co. Verlags-KG; Paderborn 2008; ISBN 978-3-7705-4606-0

[241] Mill, St.: System of Logic, Vol. I; 3rd Book; Cap. 8; Of the four methods of experimental inquiry; John W. Parker, West Strand, London 1843

[242] Laatz, W.: Empirische Methoden - Ein Lehrbuch für Sozialwissenschaftler; S. 169; Verlag Harri Deutsch; Frankfurt am Main 1993; ISBN 978-3-8171-1261-6

[243] Zimmermann, E.: Das Experiment in den Sozialwissenschaften; S. 37; Teubner; Stuttgart 1972

[244] Weyers, St.: Skript zu Methoden der empirischen Sozialforschung; S. 1-2; J. W. v. Goethe- Universität; Frankfurt / Main 2006

[245] National Research Council (editor): Aviation Safety and Pilot Control - Understanding and Preventing Unfavorable Pilot-Vehicle Interactions; S. 117 / 192-194; NATIONAL ACADEMY PRESS; Washington, D.C. 1997; ISBN 978-0-309-05688-5

[246] Bauschat, M.: On the Dependence of Pilot Task and Pilot Workload; AIAA 2001-4189; S. 2; Modeling and Simulation Technologies Conference; Montreal 2001

[246a] Bauschat, M.: On the Dependence of Pilot Task and Pilot Workload; AIAA 2001-4189; S. 8; Modeling and Simulation Technologies Conference; Montreal 2001

[247] Alerton, D. J.: Introduction to flight simulation; slide 8; Cranfield University; short course 23rd-27th October 2000

[248] N. N.: Bekanntmachung der Bestimmungen über die Qualifikation von Flugsimulatoren (Flugzeuge) (JAR-STD 1A deutsch); Bundesanzeiger; Beilagennummer 105a; Bundesministerium der Justiz; Bundesanzeiger Verlags- GmbH; Köln 12.06.2007

[249] N. N.: Airplane Flight Simulator Evaluation Handbook; second edition; The Royal Aeronautical Society; London Feb. 1995 / Volume II; first edition; London July 1996

[250] Bortz, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler; S. 19; 5. Auflage; Springer-Verlag; Berlin Heidelberg New York 1999; ISBN 3-540-65088-1

[251] Bauschat, J.-M.; Leißling, D.; Gestwa, M.: A Score Monitoring System to Support Evaluation Pilots in Flight; AIAA-2004-5444; AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, Providence, Rhode Island, Aug. 16-19, 2004

[252] Wierwille, W. W.; Casali, J. G.: A validated rating scale for global mental workload measurement applications; in: Proceedings of the Human Factors Society 27th Annual Meeting (pp129-133); Human Factors Society; Norfolk, VA 1983

[253] Bauschat, J.-M.: Long-Term Flight- Test Experience: A Nonlinear In-Flight Simulation Approch; in: AIAA 2002-4600; p. 10; American Institute of Aeronautics and Astronautics - Modeling and Simulation Technologies Conference; Monterey, Ca, USA 5. – 8. August 2002

[254] Brockhaus, R.: Flugregelung; S. 142; Springer-Verlag; Berlin Heidelberg 1994; ISBN 3-540-55416-5

[254a] Brockhaus, R.: Flugregelung; S. 465-471; Springer-Verlag; Berlin Heidelberg 1994; ISBN 3-540-55416-5

[255] Bauschat, J.-M.; Leißling, D.; Gestwa, M.: Synthetische Pilotenaufgaben – Freud oder Leid des Versuchspiloten?; Vortrag Nr. DGLR-2005-008; Konferenz-Band III & Konferenz-CD 3; Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress; Friedrichshafen 26.-29. 09.2005

[256] N. N., AFS-200: Pilot Windshear Guide; AC No. 00-54; US Department of Transportation; Federal Aviation Administration 1988

[257] Niederl, T.: Untersuchungen zu kumulativen psychischen und physiologischen Effekten des fliegenden Personals auf der Kurzstrecke; S. 84-122; Forschungsbericht 2007-17; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin; Köln 2007; ISBN 1434-8454

[258] Ansermet, F., Magistretti, P.: Die Individualität des Gehirns; 1. Auflage; Übersetzung aus dem Französischen; Suhrkamp Verlag; Frankfurt am Main 2005; ISBN 3-518-58441-3

[259] Başar, E.; Roth,G.: Ordnung aus dem Chaos - Kooperative Gehirnprozesse bei kognitiven Leistungen; in: Küppers, G. (Hrsg.): Chaos und Ordnung – Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft; S. 290-322; Philipp Reclam jun.; Stuttgart 1996; ISBN 3-15-009434-8

[260] Dorn, L.: Mensch-Arbeit-Flugzeug; Diskussionsbeiträge – unveröffentlichte Notizen; Luftfahrtseminar im Deutschen Museum; München 02.-05. November 2009

[261] Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität; S. 155-225; Deutsche Verlags-Anstalt GmbH; Stuttgart 1999; ISBN 3-421-05308-1

[262] Faber, G.: Systemdidaktik - Arbeitsmaterialien zur Didaktik; Technische Universität Chemnitz, Oktober 2001

Anhang

Anmerkungen zu Kapitel 2

A2.1 Die Zulassung eines Flugzeugs zu seinem Betrieb unterliegt rechtlichen Bedingungen und Überprüfungen exekutiver Organe und Institutionen. Sie beruht auf dem erfolgreichen Vollzug mehrschichtiger Verfahren zum Nachweis seiner Lufttüchtigkeit. Dazu werden Einzelnachweise nach international weitgehend anerkannten und bewährten Konzepten geführt, die sich hauptsächlich auf luftfahrttechnische und flugbetriebliche Erfahrungen stützen. Eine Übersicht über dieses komplexe Themenfeld kann [32] und systemspezifisch [33] entnommen werden.

Der Begriff *Lufttüchtigkeit* [34] wird üblicherweise als sprachliches Pendant zum englischen Ausdruck *airworthiness* [35] benutzt. Der Wortsinn ist nahezu identisch und steht im technisch-funktionalen Sinne als Eigenschaft für die Beschreibung einer adäquaten Zustandsanforderung an ein Luftfahrzeug zu seinem gefahrlosen Betrieb. Darunter fällt auch die Gewährleistung von jeweils vorgeschriebenen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen.

A2.2 Aufgrund der hohen Geldwerte für technische Betriebs- und Einsatzmittel steht die Luftfahrtbranche zur Kapitalbeschaffung seit je her in enger Beziehung zu Finanzmärkten. Hier konkurrieren besonders börsennotierte Publikumsgesellschaften um knappe Geldmittel. In der Regel besitzen diejenigen Gesellschaften, deren Unternehmensbewertungen höchste Renditen versprechen, die besten Ausgangspositionen zur Kapitalaufnahme. Damit stehen sie wiederum unter der ständigen Beobachtung von global ausgerichteten Handelsplätzen, die sich zunehmend stärker den Bedingungen eines „vollkommenen“ Marktes annähern [12]. Die Dynamik (z. B. hohe Reaktionsgeschwindigkeit) und das Verhalten der Finanzmärkte beeinflussen somit wesentlich die Kapitalbeschaffung. Dieser Aspekt kann tief in ein mikroökonomisches Beziehungsnetzwerk eindringen, wobei der Einfluss besonders dann prägnant hervortritt, wenn Unternehmungen mit geringen Eigenkapitalquoten operieren [37].

A2.3 Die ATA - iSpec 2200 bezieht in einem systemorientierten Ansatz die Flugphaseneinteilung auf das erforderliche Energiemanagement des Transportträges, dem sich die Cockpitbesatzung widmen muss. Dabei wird das Energiemanagement als ein mehrdimensionales Tätigkeitsfeld verstanden, das sowohl die Kontrolle des Flugwegs und der Flugzeugdynamik als auch die Bedienung / Steuerung von Flugzeugsystemfunktionen enthält.

In der Prozessebene implizieren die einzelnen chronologisch angeordneten Flugphasen jeweils unterschiedliche Verknüpfungen zu Elementen des Flugarbeitssystems (z. B. der Flugsicherung) und zur Umwelt.

A2.4 Trotz der eher geringen Anzahl von kommerziell eingesetzten Piloten in der Gesamtheit von Erwerbstätigen in der Bundesrepublik Deutschland nehmen Verkehrsflugzeugführer, wie auch andere soziale Gruppen zum Betrieb von Transportträgern, einen beträchtlichen Einfluss auf das öffentliche Leben. Dies wird meist dann besonders deutlich, wenn aus der Nutzerperspektive heraus negativ belegte Ereignisse (wie z. B. Unfälle oder Arbeitskampfmaßnahmen) sporadisch Ordnungsstrukturen der gesellschaftlichen Mobilität beeinträchtigen bzw. stören. Hieraus wird eine hohe gesellschaftliche Relevanz zur Bearbeitung des vorliegenden Themenkomplexes abgeleitet. Diese wird unterstrichen durch latent vorhandene Ängste der Individuen vor möglichen Gefahren, die eine Benutzung des Transportträgers mit sich bringt. Diese Besorgnisse sind geprägt durch das diffuse Wissen um einen potentiellen Schadenseintritt und den damit assoziierten Konsequenzen, die möglicherweise der Befriedigung von Bedürfnissen im Wege stehen.

A2.5 Eine wesentliche Veränderung wird künftig für den kombinatorischen Arbeitsanteil prognostiziert. Eingeleitet durch die Implementierung von *TCAS* Anfang der 1990er Jahre werden zunehmend Tendenzen sichtbar, die in naher Zukunft auf eine weitgehende technisch-soziale Entgrenzung der Struktur von Flugarbeitssystemen und damit des Luftverkehrs durch Selbstorganisation zielen [48]. Damit bedarf es aber einer entsprechenden Neuordnung von Autonomieformen (an Bord der Transportträger und am Boden), die wiederum eine neue Adaptionsphase vielfältiger sozialer Gruppen im Arbeitsprozess erfordert [49].

A2.6 Für die Einhaltung der rechtlichen Bestimmungen sind die Besatzungsmitglieder selbst verantwortlich. Verstöße dagegen werden durch die nationalen Luftaufsichtsbehörden i. d. R. mit hohen Geldbußen geahndet.

A2.7 Trotz der kritischen Würdigung einer breit angelegten subjektorientierten US-Navy Studie zur menschlichen Fehlbarkeit im Flugbetrieb, die in der 2. Hälfte der 1970er Jahre durchgeführt wurde durch *SLOAN* und *COOPER* [54] (siehe u. a. auch [56]), muss *ALKOV*s Ansatz [57] zur Herleitung von Kausalbeziehungen zwischen der internalen Wirksamkeit persönlicher Lebensereignisse (erfasst durch Methoden, wie z. B. *RLCQ* und *SLCU* [58], und der Verstrickung in Vor- bzw. Unfälle im Flugbetrieb eine hohe Bedeutsamkeit zugemessen werden. Im genannten Bericht von *LEARMOUNT* [55] wird auf ein Unfallereignis in jüngster Vergangenheit verwiesen, der dies eindrucksvoll dokumentiert.

A2.8 Die in Abbildung 2.10 dargestellte „verobjektivierende“ Risikoperspektive ermöglicht zwar einen speziellen quantitativen Zugang über die Formulierung funktionaler Zuverlässigkeitsaussagen (vornehmlich als ein Qualitätsaspekt von Sicherheit) zu Schadenseffekten. Jedoch eignet sie sich nicht zur Erfassung der subjektiven Risikowahrnehmung unmittelbar in die Geschehnisse eingebundener Personen und der damit verbundenen individuellen Verarbeitungsformen potentieller Bedrohungen bzw. Unsicherheiten: Die Bedeutung von aktuell vorliegenden Sachlagen / Situationen wird durch wahrscheinlichkeitsbasierte Sichtweisen konzeptionell verwischt.

A2.9 nach [19b] „…Gewissen als Urteilsbasis zur (zweifelsfreien) Begründung der allgemeinen persönlichen moralischen Überzeugungen und Normen insbesondere für die eigenen Handlungen und Zwecke wie der einzelnen Urteile auf Grund dieser Überzeugungen…“

A2.10 Als Arbeitspersonen sind hier vornehmlich die Mitglieder von Flugzeugbesatzungen gemeint, die zusammen mit den Passagieren eine Schicksalsgemeinschaft bilden. Diesem *Reisekollektiv* ist gemeinsam, dass seine Elemente den gleichen Situationen und Bedingungen ausgesetzt sind und einem nahezu gleichen Existenzbedürfnis unterliegen. Dabei schulden die Cockpitbesatzung und im Besonderen der Kapitän dem Reisekollektiv eine rechtlich verbriefte Fürsorgepflicht. Allerdings kann und muss der Kreis der Arbeitspersonen weiter gefasst werden: Zumindest sind diejenigen Individuen einzuschließen, die direkt oder mittelbar gestalterisch an den Flugbetriebs- und damit an den Arbeitsbedingungen sowie den operationellen Abläufen mitwirken und nicht dem Reisekollektiv angehören. Diese soziale Gruppe enthält sowohl die Subjekte des Flugarbeitssystems als auch tätigkeitsspezifische Elemente des Lebensraums. Im Licht relevanter Rechtssysteme zeigen sich Schwachpunkte, die sich, bedingt durch Kontingenz, in dem permanenten Vorhandensein von Verantwortungsdiffusion äußern. Als Konsequenz daraus hat sich i. d. R. eine eher triviale Rechtsauslegung durchgesetzt: Dem Dilemma weicht man in der Praxis aus, indem als Verantwortungsträger für den gesamten Produktionsprozess der Kapitän (per eigenhändiger Unterschrift auf diversen Arbeitspapieren in der Vorbereitung eines jeden Fluges) herangezogen wird.

A2.11 Es wäre vorstellbar, die Modalität spezifischer Situationensubstanzen über ihre Situationsdynamik abzuleiten: Letztere zeigt sich als Veränderungen unabhängiger Bestimmungsstücke / Phasenkoordinaten, die sich wiederum als Situationsfreiheitsgrade mit ihren jeweiligen Ausnutzungsintensitäten bzw. Magnituden darlegen. Wäre es möglich, diese zeitabhängigen Beschreibungsgrößen vereinfacht und in geeigneter Form z. B. in einer *fiktiven Situationsmatrix* zusammen zu stellen, so würden deren Koeffizienten die Situationsbedingung anzeigen. Die Determinante der Matrix entspräche dann dem mehrdimensionalen Potenzial eines Situationsgehalts, das dem Transportträgersystem in seiner Umgebung innewohnt. Die Potentialänderung könnte sich dann als zeitliches Derivat eignen, um die Situationsentwicklungstendenz (Konvergenz / Divergenz) im Zeitverlauf zu operationalisieren. Eine nahezu objektivierbare Ableitung von Bewertungskriterien zur momentanen Betriebssicherheit des Systems wäre möglich, würde man einen Flugverlauf synchronisiert mit normierten Prozessverläufen bzw. prozessspezifischen Sollgrößen unter Berücksichtigung von Akzeptanzbereichen vergleichen.

Beurteilung: Allerdings sind bisher Bemühungen zur Verfolgung dieses Argumentationspfades unbekannt. Vermutlich liegt dies u. a. an dem bisherigen Fehlen geeigneter Algorithmen, welche die Komplexität von Flugbetriebssituationen quantitativ in dieser Art erfassen könnten.

A2.12 Dieses natürliche Bestreben kann im vorliegenden Fall für ablaufende unmanipulierte Prozesse innerhalb der Abgrenzung des Bereichs *Lebensraum* mit seinen nicht belebten Elementen (wie z. B. Betriebsmittel des Transportträgerarbeitssystems) unterstellt werden.

A2.13 Entsprechend der Argumentation von *BARTSCH* soll das *MZ*-Konstrukt nicht entsprechend des technischen Zuverlässigkeitsterminus gemäß der VDI 4001-Blatt 2 / IEV 191-02-03 verstanden werden. Ableitungen zur quantitativen Bewertung menschlichen Handelns (*HRA*) auf der Grundlage von Fehlerbetrachtungen gemäß der Methoden nach VDI 4006-Blatt 2 / 2003-02-00 können somit nicht verfolgt werden [14]. Vielmehr böte die Begriffsdefinition Platz, das phänomenologisch determinierte Gedankengebilde als Ausgangskriterium zur Optimierung des Beanspruchungsniveaus von Arbeitspersonen im Arbeitsprozess heran zu ziehen im Sinne einer prospektiven Arbeitsgestaltung, die eingeschränkt Raum für das *Menschenrecht auf Fehler* lässt. Dabei wird Arbeitsbeanspruchung als subjektive Belastungswirkung auf den Menschen verstanden „…in Abhängigkeit von seinem individuellen Leistungsangebot, seinen Fähigkeiten und seiner Bereitschaft für die Realisierung der jeweiligen Arbeitsaufgabe und ihrer Randbedingungen…“ [81].

Der Ansatz von *BARTSCH* akzentuiert den Vorteil menschlichen Wirkens gegenüber der Maschine - eben die Fähigkeit zur Ausnutzung seiner Zielstrebigkeit, welche sich u. a. durch das Zusammenspiel von Vernunft, Gespür, Flexibilität, Anpassung und Assoziation auszeichnet und eine wesentliche Notwendigkeit für den erfolgreichen Umgang mit Komplexität darstellt. Mit dieser Auslegungsorientierung von Arbeitsprozessen ließen sich auch Schwachstellen beseitigen, wie jene, die z. B. den Methoden der wahrscheinlichkeitsbasierten Sicherheitsanalysen (*PSA*) anhaften und darauf aufbauende Konzepte z. T. paradox erscheinen lassen. So heißt es auch einschränkend in der VDI 4006 Blatt 2; S.12: „… Situationen, in denen der Operateur vertraute Muster und Regeln nicht direkt anwenden kann, können mit den vorhandenen Methoden nicht umfassend bewertet werden…“.

A2.14 Besorgnis erregend ist der verzeichnete Anstieg von Unfällen in der Ursachenkategorie *loss-of-control* u. a. in Verbindung mit *pilot spatial disorientation*. Übergeordnet dazu wird eine massive Zunahme von Vertrauensverlusten der Pilotenschaft zu ihrem Unternehmensmanagement [87] registriert.

A2.15 Nach dem Ergebnis einer empirischen Erhebung von *BERNDT* gaben 80% der befragten Geschäftsführungen von deutschen Unternehmen die langfristige Gewinnmaximierung als oberstes Formalziel an [12b].

A2.16 In der fachspezifischen Literatur [37] wird auf die bedenklich zu wertende geringe Eigenkapitalquote deutscher Unternehmen hingewiesen, wobei Fremdkapitalanteile von bis zu 80% des Unternehmensgesamtmarktwertes [90a] als üblich gelten. Die Ursachen hierfür werden u. a. in der deutschen Steuergesetzgebung vermutet.

A2.17 Aus dem aktivitätsorientierten Blickwinkel von *WEICK*, der generell Organisationen als *Sinn-erzeugende* Systeme betrachtet, erschließen sich jeweils durch die Selbstwahrnehmung / Identität seiner Wirtschaftssubjekte entsprechend ausgerichtete Unternehmenskulturen mit den daraus resultierenden Handlungsoptionen und Arbeitsgestaltungsmaßnahmen [93]. Damit kann davon ausgegangen werden, dass grundlegende Änderungen in Optimierungsansätzen (siehe dazu Abschnitt 2.7.3) zur Projektierung von Produktionsabläufen auch erhebliche organisationspsychologische Anstrengungen erfordern.

A2.18 Luftfahrtbehörden spielen bisher nur halbherzig ihre Einflussmöglichkeiten aus, personenbasierte Sicherheitsvoraussetzungen über die Konzeption von „vernünftig lebbaren" Dienst- und Ruhezeiten zu schaffen, um auf das erkannte Phänomen *Crewfatique* zu reagieren. Doch im Rahmen einer europäischen Harmonisierung stellt sich dieses Bestreben u. a. als administrative Herausforderung dar. Dabei muss man davon ausgehen, dass die Erscheinung Ermüdung / Arbeitsermüdung nur eine Auswirkung / ein Aspekt der in diesem Kapitel geschilderten Problematik darstellt (siehe dazu auch Abschnitt 5.3.7). Es wird allzu deutlich, dass an dieser Stelle eine umfassende Ursachenerforschung vorausgehen muss. Wie der aufgeführte Fachartikel zeigt, fehlt jedoch z. Zt. sowohl ein tätigkeitsspezifischer als auch ein geeigneter methodischer Zugang zum genannten Problemfeld bzw. die Einsicht der Aufsichtsbehörden in die Notwendigkeit ein umfassendes und koordiniertes Forschungskonzept aufzustellen [103].

A2.19 Es kann unterstellt werden, dass Fluktuationsanalysen in diesem Fall nur bedingt Einblicke in die Problemstrukturen geben können, da die Wandlung der Arbeitssituationen bzw. des Berufsbildes einem globalen Veränderungsprozess unterliegt.

A2.20 Dem Aufbau, dem Erhalt und der Förderung des menschlichen Leistungsvermögens muss über eine möglichst große Spanne seines Lebens hinweg eine besondere Bedeutung zugemessen werden. Eine entsprechende Gestaltung von Arbeit impliziert nicht nur soziale Teilhabe, Eigentum und Stabilität der persönlichen Identität [84] sondern besitzt auch eine hohe Relevanz mit Hinblick auf die Kontinuität der Realisierung hoher Qualitäten von Produktionsergebnissen und damit der Zufriedenheit von Betreibern und Kunden, die langfristig gesichert werden muss. Somit kann diese, über den Unternehmensrahmen hinaus postulierte, Forderung sowohl individual- und sozialethisch als auch volks- und betriebswirtschaftlich determiniert angesehen werden.

A2.21 Um ein Versagen der Gesamtanordnung als dynamische Einheit zu verhindern, sind notwendige Voraussetzungen zur Gestaltung von Arbeitsbedingungen zu berücksichtigen. Dies sind u. a.:

- Die Kenntnis über Charakteristika von Handlungsweisen eingebundener Arbeitspersonen,
- das Wissen über die Existenz von Interdependenzen situationsabhängiger Einwirkungen auf das Arbeitssystem,
- die Einsicht über zu wahrende Betriebs-, Projektierungs- und Geltungsbereiche systemrelevanter Umstände und
- das Respektieren von einzelnen kontextspezifischen operationellen Beschränkungen (Betriebsgrenzen) von Systemkomponenten.

A2.22 In einer stark vereinfachten phänomenologisch orientierten existenzphilosophischen Sicht konstituieren sich Daseinsformen über die Modalität des Selbst- und Weltbezugs, wobei sich diese ontologisch als Sorge darstellen [20b]. Der Weltbezug erschließt sich durch die Emotion Angst. Der Selbstbezug entwirft sich angesichts des Todes (als unüberholbare unbestimmte Möglichkeit) über vorlaufende Entschlossenheiten des Gewissens zusammen mit erschlossenen Befindlichkeiten aus der Angst.

Angst ist nach der Lehre von *KIERKEGAARD* ein wesentlicher Grundtatbestand des Daseins bzw. von Daseinsformen, die an Zeit und Zeitlichkeit gebunden sind [108].

Anmerkungen zu Kapitel 3

A3.1 Um den Charakter eines sich selbst organisierenden Systems zu fassen, schlägt *HOFKIRCHNER* die Einführung von Systembetrachtungsebenen vor [111]. Damit wird eine Gliederung vorgegeben, die es ermöglichen soll, Systemmerkmale hinsichtlich ihrer Identifizierbarkeit zu ordnen. So findet der Strukturaufbau des Systems durch Selbstorganisation in der mikroskopischen Ebene statt. Das Systemverhalten ist in einer makroskopischen Ebene beobachtbar. Der Systemzustand an Systemordnung soll sich danach in einer dazwischen liegenden Mesoebene beschreiben lassen.

Als Ergänzung zum genannten Vorschlag eines vereinten Informations-Selbstorganisations-Konzepts wird hier besonders auf die Berücksichtigung von emotionalen und motivationalen Aspekten Wert gelegt. Als Eigenschaften / Merkmalsbestandteile mit ihren Relationen bilden sie im Wesentlichen Aspekte der *Menschlichen Zuverlässigkeit* ab und wirken somit auch determinierend hinsichtlich der Informationsgenese durch internale SO-Zyklen.

A3.2 Es wird anhand von eigenen Beobachtungen vermutet, dass in Erholungsphasen des Individuums dieser Aufwand auch einen emotionalen Bilanzausgleich erfordert. Anders lassen sich ständig wiederholende Beobachtungen von Diskussionen in Form von scheinbarem Unloyalitätsverhalten gegenüber dem Arbeitgeber kaum erklären: Es wäre wünschenswert sich über eine Analyse dieser dynamischen sozialpsychologischen Erscheinung, die hier als *Dubai-Pool-Phänomen* bezeichnet werden soll, wissenschaftlich zu nähern. Daraus könnten wesentliche Erkenntnisse zur besseren Gestaltung des Arbeitsumfelds gezogen werden.

A3.3 Die Bedeutsamkeit der Systemselbstreferenz wird, neben rein zweck-rationalen Handlungsaspekten für den Vollzug von Arbeitstätigkeiten, besonders deutlich im Umgang mit komplexen Betriebsmitteln. Wo ausgleichende, dämpfende oder Vorhalt bildende Maßnahmen den störungsfreien und komfortablen Gebrauch von technischen Anlagen in einer realen Umgebung unter Echtzeit fördern, kann dem subjektivierenden Handeln eine besondere Stellung zugemessen werden. Dabei wurde erkannt, dass die Beschaffenheit einer natürlichen Umgebung mit ihren vielschichtigen qualitativen Gegebenheiten einen wesentlichen Einfluss auf die Art und Weise einer kooperierenden Existenz mit sich darin aufhaltenden technischen Artefakten besitzt [126]. Danach kann der Mensch besonders mit seinen imaginativen Fähigkeiten als Mittler zwischen technischer Funktionalität und kontextgebundener Zielerreichung taugen, um insbesondere Unwägbarkeiten in Prozessabläufen zu bewältigen. Der Zeitlichkeit kann hier ein dominanter Aspekt zugeschrieben werden. Aufgrund der Geschwindigkeit des Verstreichens von Situationen im Flugbetrieb ist es nötig, sich Vorstellungen über aktuell nicht wahrnehmbare Gegebenheiten zur Erstellung strategischer Konzepte für potenzielle Ereignisse zu machen. Diese subjektive Art der Planung stellt eine notwendige operationelle Voraussetzung zum Erkennen von aktuellen Betriebsgefährdungen dar.

A3.4 Im Vorgriff auf Kapitel 5 soll vermerkt werden, dass die Kreation von mehrdimensionalen Konstrukten als mögliche Erweiterung der angedachten mathematischen Konzeption angesehen werden können [131]. So wäre es denkbar, den Verschleiß an Leistungsvoraussetzungen durch Arbeitsermüdung auch über ein *Räuber- Beute-Ansatz* z.B. nach *LOTKA-VOLTERRA* zu berücksichtigen.

A3.5 Diese Reflexion ist auch konsistent zu Elementen der Kategorienlehre *KANT*s [108a]. Als ein vereinfachter Übertrag wird hier abgeleitet, dass der Ausdruck *Interiorisation* ein individuell bestimmtes Zustandekommen von *Erkennen* umfasst. Dieses erschließt sich über die jeweils momentan vorhandene Sinnlichkeit, die raumzeitliche Anschauungen liefert und somit Empfindungen induziert, welche wiederum durch den Verstand nach kategorialen Gesichtspunkten verknüpft bzw. geordnet und zu Begriffen erhoben werden. Deren Verbindungen stellen sich als Urteile dar. Dabei besteht ein komplementäres Verhältnis zwischen Sinnlichkeit und Verstand.

A3.6 Die nicht dem Bewusstsein unterliegende Regulierung des Leben erhaltenden biologischen Systems (Körper), u. a. durch das vegetative Nervensystem, stellt eine notwendige Bedingung zum Erhalt des Bewältigungsprozesse dar und ist somit zu berücksichtigen. Damit kommt aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht der *Interiorisation* sowohl eine komplementäre als auch eine interdisziplinäre Bedeutung zu: als hochkomplexe adaptive raumzeitliche Koppelstelle zwischen der Systemumgebung und dem Menschen sowie als funktionale *Regulationseinheit*. Die *Interiorisation* umfasst als Enveloppe ebenso volitive und emotionale wie auch kognitive Prozesse der Leistungsmotivation [23].

Diese Betrachtungsweise besitzt den Charme, Erkenntnisse aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen zusammenführen zu können, um ihre Inhalte konstruktiv zu vereinen (interdisziplinärer Ansatz). Dazu wird im folgenden Abschnitt der Vorschlag einer schematisierten Darstellung des Interiorisation- Wirkungsgefüges präsentiert.

A3.7 Gelänge es, einen geeigneten Phasenraum mit diesen Ordnungsparametern als Zustandsvariablen zu definieren und zu quantifizieren, so wäre es vorstellbar, dass sich der mikroskopische Ordnungsgrad des Systemzustandes durch die Art von Verläufen entsprechender Trajektorien sichtbar machen ließe.

A3.8 Diskurs: In Ergänzung zu Inhalten aktueller Forschungsrichtungen hinsichtlich der Phänomene von Clusterbildung in physikalischen- und biologischen Systemen [143], [144] unterschiedlichen Verhältnismaßstabs könnte die oben beschriebene Gruppen-Kreation von strukturierten Prozessen ebenso als *clustering* bezeichnet werden. Der zeitliche Verlauf von Clustereigenschaften könnte dann u. a. mit Mustern von individuellen Bewältigungsstilen verglichen werden. Das Stabilitätsmaß des Strukturverlaufs ließe sich analog zur Beständigkeit des Aufbaus von *Atomic Clusters* (AC) über die Bindekräfte bzw. Bindeenergie zwischen den einzelnen Einheiten (Elementen) der Gruppe beschreiben. Unter Zugrundelegung eines übergeordneten Naturalismus wäre es denkbar damit auch eine Brücke zur Quantifizierung von *Menschlicher Zuverlässigkeit* zu spannen. Gegebenenfalls wäre dann auch der Anteil von so genannten *fissility parameter* an den Erklärungen zu Strukturformänderungen bzw. zu deren Phasenübergängen fassbar (z. B. Chaos durch hohen Energieeintrag), hier am Verhalten von Arbeitssystemelementen. Allerdings weist *SOLOVYOV* trotz großer Erfolge in der *AC*- Forschung darauf hin: „…no universal force is known yet, to describe cluster binding…“ [145].

A3.9 Ansätze zur Bestimmung von Zusammenhängen zwischen bewerteter Belastung, Belastungshöhe und Expositionszeit von physikalisch messbaren (energetischen) Komponenten, besonders von Umgebungseinträgen, werden u. a. auf der Basis des Potenzgesetzes der Psychophysik angegeben [98a].

A3.10 Diese Art personentypischer *Merkmale externaler Selbstregulationsstile* im Flugbetrieb wird als unakzeptabel angesehen, da sie personenbezogene Voraussetzungen zur Schaffung von Sicherheit degradieren. Mit Hinblick auf das von *BARTSCH* heraus gearbeitete Wirkungsgefüge von Wesenszügen und Leistungsmerkmalen des Individuums im Kontext einer Definition *Menschliche Zuverlässigkeit* wird diese Einschränkung noch deutlicher [84].

Anmerkungen zu Kapitel 4

A4.1 Nach der gleichen Literaturquelle wäre eine Quantifizierung von ΔS_e über elementare Äquivalenzbeziehungen zwischen Materie, Energie und Quanteninformation durchaus denkbar. Die *Protyposis*-Konzeption enthält offenbar Erkenntnispotentiale von hohem elementaren und interdisziplinären Wert. Für die aktuellen Fragestellungen könnte sie nach einer praxisrelevanten Aufbereitung helfen, das hier vorgelegte ingenieurwissenschaftlich ausgerichtete Konstrukt zu ergänzen, zu verfeinern und zu vertiefen.

A4.2 Entsprechend dem von *PRIGOGINE* formulierten Evolutionsgesetz, dass offene, lineare Systeme mit zeitunabhängigen Randbedingungen ihren Zustand stets in Richtung kleinerer Werte der Entropieerzeugung ändern. Danach entspricht das Fließgleichgewicht einem Zustand mit sehr geringer Entropieproduktion [172]. Aus biologischer Sicht gesehen halten sich katabolische und anabolische Prozesse dabei die Waage.

A4.3 Je weniger geklärt ist, desto geringer ist der Aufwand zur Klärung. Wenn man sich der vollständigen Aufklärung nähert, wird der Drang geringer (es wird uninteressanter). Bei sehr geringem Aufklärungsdrang erfolgt der Klärungsprozess sehr schleppend, aber nahezu ohne Verluste. Bei hohem Aufklärungsdrang wird mit geringem Aufwand schon ein guter Fortschritt erreicht.

A4.4 Aus operationeller Sicht führen Varianten von mikroskopischen Operationsformen innerhalb der *OPE* in der Regel zu akzeptablem sicherheitsbezogenen Beanspruchungsverhalten. Außerhalb der *OPE*, doch innerhalb der *PPE* gilt das makroskopische Beanspruchungsverhalten als noch eingeschränkt vertretbar bei gleichzeitig erhöhter potentieller Systembedrohung. Außerhalb der *PPE* ist das sicherheitsbezogene Beanspruchungsverhalten als unakzeptabel zu bewerten. Ein entsprechender Systemstatus ist nicht eindeutig determiniert und mit einem sicheren Flugbetrieb unvereinbar (siehe auch Abschnitt 5.2.8).

A4.5 Als Ergebnis der Evolution ist der Mensch als biologisches Subsystem „*Religio-fähig*“ [112g]. Eine Rückwendung zu vorherigen Organisationsstrukturen ist daher in der Regel möglich und als Phänomen den meisten Menschen aus Eigenbeobachtungen bekannt. Dabei handelt es sich nach dem hier vorgestellten Konstrukt um einen Vorhalt, der z. B. vorausschauendes Handeln durch einen komplexeren Ordnungsstrukturaufbau ermöglicht.

A4.6 An dieser Stelle soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass mit der Entwicklung des *Protyposis-Konzepts* eine abstrakt verstandene Quanteninformation äquivalent zu Materie und Energie betrachtet werden kann. Nach [167b] könnte mit dieser Erkenntnis die Möglichkeit eröffnet werden, sich dem Begreifen von *Psychischem* als etwas *Realem* zu nähern.

A4.7 In endergonischen Prozessen des anabolischen Stoffwechselweges regenerieren die einzelnen Zellen ATP (Adenosintriphosphat) mit Hilfe von Enzymen (z. B. Hexokinase) und Glucose über spezielle Prinzipien (Substratphoshororylierung- und Elektronentransportphosphorylierung). Die Energie dazu erhalten sie jeweils aus den exergonischen Prozessen des katabolischen Stoffwechselweges. Dabei handelt es sich u. a. um freie Enthalpieänderungen der ATP- Hydrolyse (hydrolytische ATP-Spaltung in AMP (Adenosinmonophosphat) bzw. in ADP (Adenosindiphosphat)) [200].

A4.8 So zum Beispiel zum Startvorgang mit ausgeschalteten Klimaanlagen für das Flugzeugmuster Boeing B 747-200 C/SF [201]. Darin heißt es:

1.30.02.2 Packs Off

Operation with all packs off is limited to 2000 ft above field elevation.
Takeoff with packs off shall not be performed above 44°C ambient temperature, except if sufficient cockpit pre cooling is possible in order to avoid excessive cockpit temperatures during takeoff phase.

Note: *The only intent of this limit is to protect the flight crew from being exposed to the physiological effects of a hot cockpit environment.*

To assure adequate pre cooling, operate 2 or more airconditioning packs prior to taxi.

When takeoff is made with packs off, open one pack valve at not less than 400 ft above field elevation or prior to reaching 2000 ft. If engine failure occurs, turn on pack valves after flap retraction completed, V2+100 has been reached and thrust reduced to MCT.

Anmerkungen zu Kapitel 5

A5.1 Der methodische Zugang zur Identifizierung prägnanter Verhaltensänderungen von Cockpit Crews unter Arbeitsbelastung kann ggf. durch *Behavioral Marker Systems* erfolgen [203]. Diese auf Beobachtungen beruhenden Bewertungsverfahren wären mit Messungen von physikalisch erfassbaren Variablen und deren Änderungscharakteristiken (Handlungscharakteristiken) zu kombinieren. Dabei ist es vorstellbar, die Auswertung erfasster Handhabungsdaten mit Hilfe von Diagnose-Algorithmen auf der Grundlage von Data-Mining-Techniken durchzuführen [204].

A5.2 Es muss z. Zt. davon ausgegangen werden, dass Bestimmungen spezifischer Zielentfernungen aufgrund des komplexen operationellen Arbeitsbereichs von Piloten nicht allein auf physikalisch messbare Größen zu beziehen sind. Erfahrungsgeleitete und qualitativ ausgerichtete Bewertungssysteme, die sich auf objektive OAS stützen, müssen daher in die Bestimmung von Wertungszahlen mit eingehen [208]. Tolerierbare Abweichungen von Sollgrößen, die sich ebenfalls auf objektive OAS beziehen, sind dabei zu berücksichtigen. Dabei stützen sich Bewertungen auf die Annahme von rationalen Eigenschaften des menschlichen Wirkens.

A5.3 Das makroskopisch determinierte Regulationskapazitätsniveau begrenzt, in Verbindung mit der in Abschnitt 4.5 mikroskopisch bestimmten Trägerkapazität, die maximal mögliche Regsamkeit einer Arbeitsperson. An dieser Stelle soll es unerheblich sein, ob die Begrenzung durch ein Fehlen von psychophysischen Ressourcen oder durch ein Unvermögen der Abrufbarkeit hervorgerufen wird. Phänomenologisch werden im vorliegenden Beitrag habituelle, konstitutionelle, u. a. chronobiologische Aspekte und Effekte aus Arbeits-Erholungs-Zyklen erfasst. In Anlehnung an [124] wird mit dem vollständigen Ausschöpfen von verfügbaren Ressourcen das Erreichen der (oberen) Leistungsgrenze des Subsystems Mensch gesehen. Der Begriff Regulationskapazität umfasst somit als kollektives Konstrukt die Bereitstellung, den aufgabenbedingten (funktionellen) oder willkürlichen Austausch und die Zuweisung von Ressourcen des Subsystems. Die Inanspruchnahme von Energie-, Erkenntnis-, Fertigkeits- und Fähigkeitsquellen zur Bewältigung von Arbeitssituationen und -prozessen erfordert dabei individuelle Ziel- und Zeitstrategien mit einem entsprechenden Management. Dieses Ressourcenmanagement ist abhängig von personentypischen Bewältigungsstrategien mit vorwiegend motivationalen, volitiven und kognitiven Merkmalen.

Somit soll unter dem Begriff der Umfang des momentan größtmöglichen und tatsächlich wirksam werdenden Könnens zur Umsetzung aller individuell verfügbaren Einzelressourcenmengen (zentral oder dezentral aufgefasst) für die Regulation von Arbeitssituationen verstanden werden.

Das Ausgangsniveau der Regulationskapazität eines Arbeitszyklus hängt damit im Wesentlichen von der Bereitstellungsgüte der Cockpitbesatzung als personenbezogene Voraussetzung zur Schaffung von Betriebssicherheit ab.

A5.4 Zusammen mit den Aspekten zur Verweildauer von Information im Gegenwartsgedächtnis kann ein Ereignis des Versäumens intendierten Handelns besonders dann eintreten, wenn:

- Die Interiorisation abgeschlossen ist und eine Intention als Aktivitätsmuster vorliegt, aber noch keine Exteriorisation stattgefunden hat.
- Durch eine niedrige Selektionsschwelle eine andere Handlungstendenz Priorität erlangt.
- Die Exteriorisationszeit bzw. der Handlungsvollzug dieser neuen Priorität die Verweildauer der zurückgestellten Absicht im Gegenwartsgedächtnis überschreitet, besonders in Verbindung mit neuen Informationszuflüssen [164]. Die maximale Verweildauer im Gegenwartsgedächtnis ist anhängig von habituellen und dispositionellen Persönlichkeitsmerkmalen.

Im Flugbetrieb konnte beobachtet werden, dass besonders Piloten weitere eigene Handlungsstrategien zur Vermeidung von Versäumnissen im Zuge ihrer wachsenden Berufserfahrung herausbilden [118]. Dies erfolgt in Ergänzung zur verbindlichen Befolgung von Betriebsanweisungen (Nutzung von Checklisten).

A5.5 An dieser Stelle sei auf das Phänomen der *Target Fixation* hingewiesen. Es soll angenommen werden, dass dieser Zustand mit einer kompensatorischen Verhaltensweise zur Minimierung von Sollwertdifferenzen korreliert, wobei andere Prozessvariablen über eine längere Zeitdauer hinweg missachtet werden. Dabei befindet sich das System meist in einem *motivationalen Status mit überhöhter Selektionsschwelle*. Dieser Zustand stellt sich i. d. R. schleichend ein und ist vorwiegend nur durch eine selbstdisziplinäre Bewusstseinsänderung zu überwinden. Im zivilen Flugbetrieb kann dieses Phänomen besonders beim Anflug bzw. beim Landevorgang unter widrigen Wetterverhältnissen beobachtet werden. Mit dem vorliegenden mathematischen Ansatz ist diese Erscheinung jedoch nicht erfassbar.

A5.6 In der einschlägigen wissenschaftlich orientierten Literatur fehlen meist Hinweise über die innere Elementarzusammenstellung des Datenaufbaus wie z. B. Bewegungsanteile etc. Es kann hier jedoch als gesichert davon ausgegangen werden, dass die angegebenen Daten zur Stellung von Körperextremitäten u. a. neuromuskuläre Verzögerungskomponenten von ca. 0,1 s enthalten [183a].

A5.7 Im realen Flugbetrieb wurden Beantwortungszeiten auf einen detektierten Reiz auf den Piloten gemessen. Dabei wurde in einer äußeren monotonen Umgebung (bis zum Horizont ausgedehnte Wasserfläche mit nur leichter Dünung) während einer manuell auszuführenden Aufgabe zur kontinuierlichen Flugbahnführung in geringer Flughöhe ein Lichtreiz auf dem Instrumentenbrett seitlich in Sichtrichtung des Piloten gesetzt. Dies erfolgte in unregelmäßigen Zeitabständen durch den Versuchsleiter. Der Proband erhielt vorab die Zusatzaufgabe, das Licht über einen Taster, der in Sichtrichtung des Piloten auf dem Instrumentenbrett positioniert war, „auszudrücken". Die Zeitspanne zwischen dem Aufleuchten und dem Verlöschen der LED wurde elektronisch aufgezeichnet. Nach Abzug einer mittleren Bewegungszeit (Labormessung an der FH- Aachen, FB6: Konfiguration / Nachbildung BN2- Cockpit) des jeweils rechten Pilotenarmes von 0,892 s und einer neuromuskulären Zeitverzögerung von 0,1 s liegen die Größenordnungen von $\tau_{(I)}$ für eine mit wacher Aufmerksamkeit und konzentriert arbeitende Person zwischen 0,4 und 0,8 s. Diese Messergebnisse überschreiten die in der Flugregelung üblicherweise angesetzten Beträge für die äquivalente Systemtotzeit des operierenden Bedieners einer Flugsteuerung bei weitem. So werden dort Zeitdifferenzen für kompensierendes Verhalten bei zufällig erscheinenden visuellen Einträgen i. d. R. von 0,2 - 0,3 s angesetzt [183a]. Die Unterschiede zu den LED-Flugversuchsergebnissen könnten im Wesentlichen darauf zurückgeführt werden, dass (neben einer Vigilanzsenkung) vom Piloten der Zusatzaufgabe unbewusst eine hohe Irrelevanz zugemessen wurde. Damit ist deutlich ein nahezu fehlender spezifischer Einfluss von Zustandsangst verbunden, der im hier vorherrschenden Fall der Umweltbeobachtung zu keiner Erhöhung der Abtastrate führt. Weiterhin kann aufgrund der Aufgabenstellung und einer spezifischen erfahrungsbelegten Kenntnis des Aufgabenvollzugs vom Autor davon ausgegangen werden, dass sich die Arbeitsperson während der Versuchszeit durchgängig im Typus eines vorausschauenden Verhaltensmusters befand. Die Komplexität der Einträge ist i. d. R. dadurch höher als im kompensatorischen Modus. Eine Erhöhung von Reaktionszeiten ist auch durch die nicht gesichtsfeldsymmetrisch ausgerichtete, jedoch realitätsnahe Positionierung der LED- Anzeige gegeben [223]. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Reizdetektion die Bewegungen zumindest der Augen voraussetzt. Damit implizieren die aufgeführten Randbedingungen bzw. Argumente eine größere Ausprägung von $\tau_{(I)}$ als die in der Regelungstechnik üblicherweise angesetzten Beträge für Untersuchungen von Fragestellungen zu Mensch-Maschine-Interaktionen.

A5.8 Das Auftreten von Symptomen psychischer Sättigung kann im Flugbetrieb fast ausschließlich den Phasen am Boden zugeordnet werden. Eigene Beobachtungen zeigen, dass Flugzeugbesatzungen vermehrt zeitrelevante Korrekturen an Inhalten von bodenseitigen Abfertigungsprozessen durchführen müssen. Wie in Kapitel 2 beschrieben werden diese im Wesentlichen aufgrund unausgereifter bzw. defizitärer Organisationsstrukturen von Prozessabläufen notwendig, die i. d. R. nicht von der Crew selbst verursacht wurden. Situationserschwerend kann festgestellt werden, dass zudem die zu kritisierenden entsprechenden Handlungsvornahmen angrenzender Sozialsysteme bzw. soziotechnischer Systeme mit z. T. egozentrischer Ausrichtung verlaufen.

A5.9 Die Koordinierung der vielen Gewebe- und Zellenuhren des menschlichen Organismus erfolgt durch den *suprachiasmatischen nucleus* (SCN), der wiederum das Synchronsignal der Umweltlichtintensität als Zeitgeber über lichtsensitive Rezeptorproteine in den Dendriten erhält (grob: Unterscheidung Tag-Nachtperiode) [230]. Durch die Synchronisation werden besonders einzelne Prozesselemente, wie z. B. Stoffwechselverläufe des biologischen Systems auf einander abgestimmt. Dies führt zur Stabilisierung und damit Stärkung des Gesamtsystems hinsichtlich seines Leistungsvermögens und der Resistenz gegen Krankheiten.

A5.10 Attraktor (in Anlehnung an *MAINZER* [240]): Daseinsform bzw. dynamische Existenz, in die …*ein dynamisches System langfristig hineingezogen wird*. Eine ausgeglichene Daseinsform entspricht einem Fixpunktattraktor. Im Phasenraum konvergieren dann die Entwicklungslinien (Trajektorien) zu diesem Punkt als momentanem Endzustand. Neben Grenzzyklen existieren auch Chaosattraktoren, bei denen sich die Entwicklungslinien vorwiegend irregulär bzw. nach seltsamen Formen in einem begrenzten Gebiet des Zustandsraumes verdichten. Die Daseinsform des Systems ist nicht determiniert und Regulationen nicht vorhersehbar, wie z. B. beim Auftreten von Affekthandlungen.

A5.11 Phasen- oder Zustandsraum: Mathematischer Raum, welcher durch Zustandskoordinaten eines dynamischen Systems aufgespannt wird. Dabei ist es im vorliegenden Fall denkbar, die Raumdimensionen u. a. durch den Interiorisationsoperanden $\partial I_F / \partial t$ sowie der Interiorisationszeit $\tau_{(I)}$ zu repräsentieren. Dies bedarf jedoch einer Prüfung in weiterführenden wissenschaftlichen Untersuchungen.

A5.12 Es sei angemerkt, dass ausgehend vom Arbeitspunkt sich eine anfänglich hohe Steigung α innerhalb der ersten Iterationsschritte durchaus auf ein adäquates Maß reduzieren kann. Dieses Phänomen der Eigendämpfung ist Ausdruck eines intakten Regulationsvermögens durch wachsame Fluktuationsbegrenzung (mikroskopische Stabilität) während der Interiorisation (siehe Abschnitt 4.5, Gl. (4.22)).

Die bewertenden Kategorien von geordneten dynamischen Systemexistenzen weisen u. a. auf ausbalancierte Entropiebilanzen hin. Für $\alpha \geq 2$ muss besonders mikroskopisch von unausgeglichenen Selbstorganisationssequenzen bzw. defizitären Ungleichgewichtstrukturen ausgegangen werden.

A5.13 Zur Abrundung des mathematischen Konstrukts sollen Nachbildungen psychophysischer Relaxationsphasen illustriert werden. Diese nehmen zwar vordergründig nicht den Stellenwert ein wie eine Beanspruchungsbewältigung, sie bilden aber ebenso ein wesentliches Element des globalen Regulationsablaufes im Arbeitsprozess. Ein monoton fallendes Entwicklungsverlaufsmuster psychophysischer Relaxationsphasen kann mit der Hilfe von handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogrammen unter den aufgeführten Modellierungs-Randbedingungen dargestellt werden:

$$\left|\alpha_{relax}\right| \overset{!}{\leq} p^{\infty}_{F,relax}$$

$$p_{FV,relax} - \theta < p^{\infty}_{F,max}$$

Dabei ist $p_{FV,relax}$ die motivational geprägte Zielgröße als Ergebnis der momentan vom Individuum vorgenommenen Vorwegnahme eines angestrebten, herunter gestuften mentalen Anstrengungsniveaus. Dies kann z. B. notwendig werden, um eine langfristig effiziente Ressourcenzuweisung zu erreichen. Das hierzu korrespondierende Maß an Systemerregung generiert im Wesentlichen erfahrungsgeleitete Fließzustände des tätigkeitsadaptierten Subsystems, wobei Letztere spezifischen Regelmäßigkeiten der zu erwartenden Anstrengungsregulation unterliegen [27k]. Sie sind von verallgemeinerten Motivdispositionen abhängig, wie z. B. von der entgegenzusehenden Dauer einer Arbeitsperiode und den damit verbundenen situationsspezifischen Arbeitsanforderungen, von der jeweiligen individuellen Befindlichkeit sowie vom Grad der psychophysischen Ermüdung. $p^{\infty}_{F,relax}$ kann als momentane Basis eines angepassten Regulationsaktivitätsniveaus bezeichnet werden, von dem aus das Individuum ein erhöhtes Maß an Anstrengung zur Bewältigung von Arbeitsanforderungen ansetzt (vgl. Arbeitspunkt).

Abbildung A5.1 zeigt ein prinzipielles Beispiel des Verlaufsmusters von Beanspruchungs- und Relaxationsphasen eines möglichen individuellen Regulationsausschnitts. In dem dargestellten Fall kann dem natürlichen Subsystem eine geordnete dynamische Existenz unterstellt werden. Es agiert innerhalb seiner *PPE*.

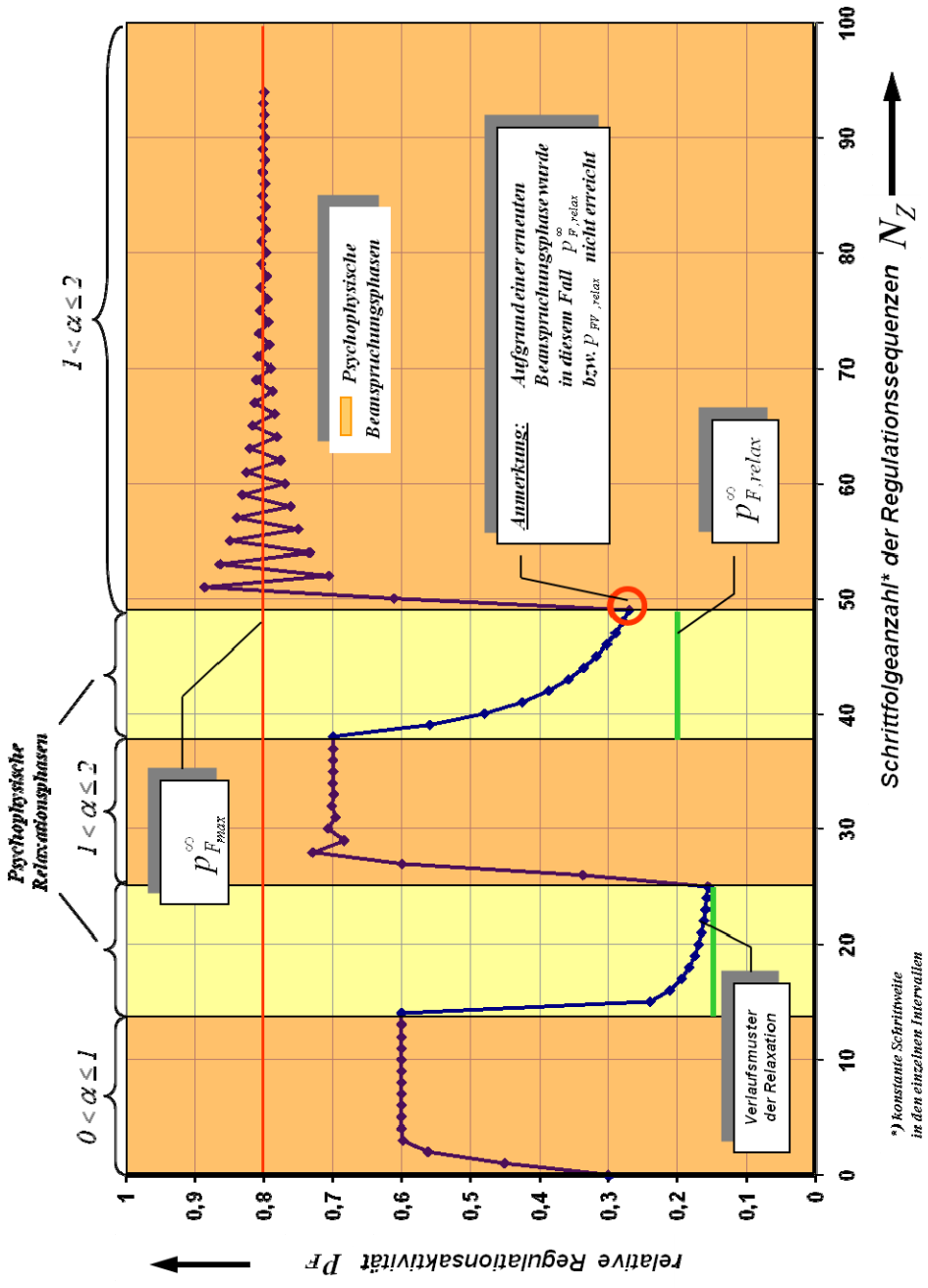


Abb. A5.1: **Darstellung eines einfachen Simulationsbeispiels zu Verlaufsmustern makroskopischer Regulationsaktivität unter geordneter dynamischer Systemexistenz → geordnetes Verhalten**

Anmerkungen zu Kapitel 6

A6.1 Die Anwendung der *MCHR*- Methode besitzt den Vorteil gegenüber aufwändigeren Verfahren, wie z. B. dem *NASA TLX*, dass die Transformation gedanklicher Entscheidungen hinsichtlich einer Klassenzuordnung in verbale Ausdrücke weitgehend simplifiziert und damit verzögerungsfrei erfolgen kann, um in dieser Weise u. a. einer Selbsttäuschung der Probanden entgegen wirken zu können. Die Ansage des Schätzwertes als Ziffer kann somit direkt nach Aufforderung durch den Befragenden (Versuchsleiter) erfolgen ohne den Versuchsablauf zu unterbrechen. Dies setzt allerdings voraus, dass die Probanden im Vorfeld der Experimente in den Gebrauch des Instruments eingewiesen werden und dessen Handhabung üben müssen. Die Angabe von Zwischenwerten soll zulässig sein. Mit Zunahme der Arbeitsanforderungen muss ggf. für hohe Bewertungsklassen mit Ausdruckshemmungen gerechnet werden. Diese sind auf jeden Fall protokollarisch zu vermerken, da sie als Indikator des Erreichens von maximalem mentalem Leistungsvermögen interpretiert werden können.

A6.2 Das Stellen von unnatürlichen Aufgabenkomplexen (z. B. FFT *Forcing Function Tasks*), wie sie von *BAUSCHAT* eingesetzt wurden - gleichzeitig allerdings auch von ihm einer kritischen Würdigung unterzogen wurden - gilt es zu vermeiden, um einen adäquaten Realitätsbezug aufrechterhalten zu können [255].

A6.3 Umfeldbedingungen werden im aktuellen Versuch ausgeklammert. Allerdings sind vor den Experimenten jeweils personenbezogene Daten zu erheben, um sowohl konstitutionelle, dispositionelle (besonders *DBS*-Profile nach Abschnitt 5.2.6), Anpassungs- und Qualifikationsmerkmale zu ermitteln als auch Kenntnis zu sozialen Lebenssituationen (siehe Kapitel 2) zu erhalten. Um eine Vergleichbarkeit der hier empirisch gewonnenen Daten mit den im realen Flugbetrieb erhaltenen Erkenntnissen zu gewährleisten, wird vorgeschlagen sich dabei an der Methodenwahl von *NIEDERL* zu orientieren [257].

Anmerkungen zu Kapitel 7

A7.1

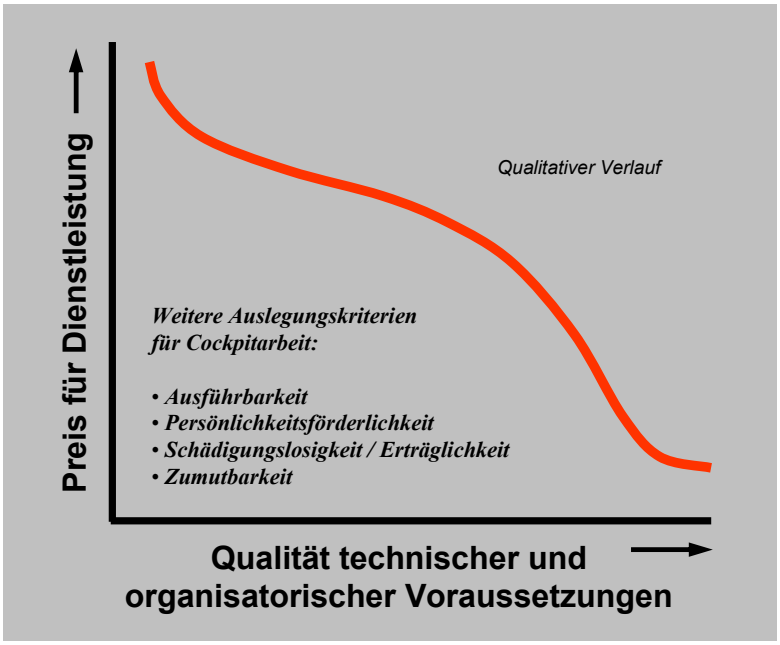


Abb. A7.1: **Qualitativer Verlauf des Kaufpreis für die Dienstleistung *Cockpitarbeit* in Abhängigkeit bereitgestellter Qualität für Voraussetzungen zur Schaffung von Flugsicherheit (Vorschlag)**

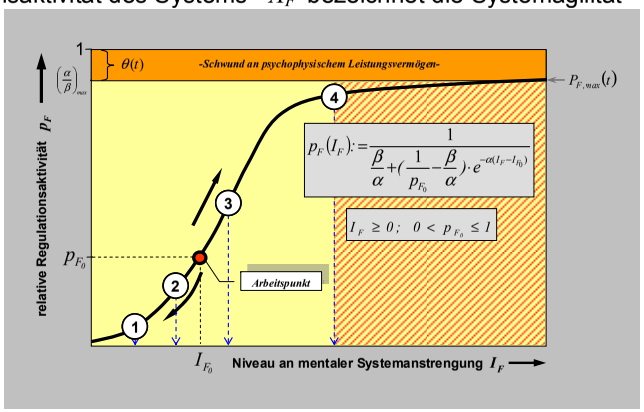
A7.2 Aus einer ablaufstringenten Initiativen-Konsequenzperspektive heraus kann angenommen werden, dass sich ein Regimeübergang der Regulationsmodalität durch die Ausprägung bzw. den Klassenwechsel des Kontrollparameters α ankündigt. Allerdings ist zu vermuten, dass eine voll ausgebildete Metamorphose der menschlichen Daseinsform, die ein sicherheitsorientiertes Regulieren von Betriebsabläufen in akzeptabler Weise nicht mehr zu bewerkstelligen vermag, durch mehrmals wiederholt auftretende quantitative Schwellwertüberschreitung der Kontrollparameterausprägung indiziert wird - wie es z. B. in Analogie zu Schwingungsphänomenen[I] in der Strömungsmechanik beobachtet werden kann.

[I] Ankündigung des Umschlag von laminarer zu turbulenter Strömung durch das Auftreten so genannter Tollmien-Schlichting-Wellen in der Grenzschicht eines umströmten Körpers.

Bezeichnung	**physikalisch-technischer Systembezug**	**Analogie im mathematisch-physikalischen Ansatz**
Potential	Wirkungsbeschreibung eines konservativen Feldes auf Objekte aufgrund von Verschiebung $\Phi(r)$	Potential an Ungeklärtem $U(\underline{r}(t))$
Antrieb des Transportprozesses	Verallgemeinerte Kraft aus Potentialgradient $\underline{F} = -\nabla \Phi$	Psychophysische Affinität $\underline{X}_U(t) = -\nabla U(\underline{r}(t))$
Transportgröße	Teilchenzahl, Substanz, Energie, Impuls… x_i	strukturelle bzw. palliative Ressource R_i
Fluss (Stromdichte)	z. B. Diffusionsphänomene: $\underline{J} = \lambda \cdot \underline{F}$	örtlich gerichtet: $\underline{j}_{R_i}(t) = \underline{\underline{L}}_{R_iU} \cdot \underline{X}_U(t)$ $\underline{j}_F(t) = \sum_i \underline{j}_{R_i}(t)$ allseitig gerichteter *Interiorisationsstrom* $\underline{J}_F(t) = \int_V \underline{j}_F(t)\,dV$

		Ansatz in Analogie zur Thermodynamik von Nichtgleichgewichts-Prozessen	**Ansatz in Analogie zur Gleichgewichtsthermodynamik**
Entropieproduktions-dichte	Voraussetzung: • nahe benachbarte Fließzustände • → linearer Transportprozess • zeitlich konst. Ströme $\frac{dS}{dt} = \underline{J}_X \cdot \underline{F}_Y$ Für $J \| F$ gilt: $\dot{S} = L_{XY} \cdot F_Y^2$	Dichte der örtlichen systeminneren Produktion von Interiorisationsentropie $\frac{ds_i}{dt}(t) = \sigma(t) = \underline{X}_U(t) \cdot \underline{j}_F(t)$ → allseitig systeminnere Entropieproduktionsgeschwindigkeit $\vartheta(t) = \frac{dS_i}{dt}(t) = \int_V \sigma(t)\ dV$ $\vartheta(t) = \int_V \left(\underline{X}_U(t) \cdot \underline{j}_F(t)\right)\ dV$	↓
Zustandsänderung	Wärmeaustausch dQ ist mit Entropieänderung dS verbunden $dS = dQ\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$	für die innere Entropiezunahme während der Interiorisationssequenz $\tau_{(I)}$ gilt: $\Delta S_{i(I)} = \int_0^{\tau_{(I)}} \vartheta(t) dt$	Überführung eines, von zwei nahe benachbarten Zuständen in den anderen gemäß 2. Hauptsatz $\Delta S_{(I)} := k_{(I)} \cdot \frac{\Delta\Im \cdot U_{vorher} \cdot U_{nachher}}{U_{vorher} - U_{nachher}} \Big\|_{\tau_{(I)}}$

Aufwand	Arbeit / Energie $E = Kraft \cdot Wegstrecke$	Ansatz: $\Delta S_{i(I)} = \Delta S_{(I)}$	Einsatzäquivalent bzw. Aufwand für den Vollzug der Interiorisationssequenz $\Delta \Im := k_{(I)} \cdot \frac{\Delta S_{i(I)} \cdot U_{vorher} \cdot U_{nachher}}{U_{vorher} - U_{nachher}} \Big\|_{\tau_{(I)}}$ mit: $U_{vorher} > U_{nachher} \overset{!}{>} 0$
Wirkungsgrad	*CARNOT*- Prozess: $\eta_{ideal} = \eta_{th} = \frac{T_o - T_u}{T_o}$		Interiorisationswirkungsgrad: Quotient aus „erfolgter Klärung“ zu „vormals zu Klärendes“ – reflektiert die Ergebnisgüte innerhalb der I-Sequenz $\eta_{(I)} := \frac{U_{vorher} - U_{nachher}}{U_{vorher}} \Big\|_{\tau_{(I)}}$
Effektive Arbeit	$\Delta W_{Nutz} = \frac{\Delta Q}{\eta_{th}}$		Investitionsäquivalent für mentale Arbeit $\Delta \Im_F := \frac{\Delta \Im}{\eta_{(I)}} \Big\|_{\tau_{(I)}}$

Energiestrom	Leistung (Arbeitsstrom) $\dot{E} = \frac{\Delta W_{Nutz}}{\Delta t}$	Mentale Systemanstrengung im Sinne von intellektuellem Aufwand während eines Zeitintervalls $I_F := \frac{\Delta \Im_F}{\tau_{(I)}}$
Wirkung	$Y = \int E dt$	Regulationsaktional als Systemkonsequenz zum Zeitpunkt $t = t_n$ $P_F(t_n) = \left[\underline{\underline{L}}_{\Psi}(t_n) \cdot \underline{\Psi}(t_n)\right] \cdot \left[\underline{\underline{L}}_{\dot{E}}(t_n) \cdot \underline{\dot{E}}(t_n)\right]$
VERHULST-Gleichung	$\frac{dx}{dt} = a \cdot x - b \cdot x^2$ (Wenn Koeffizienten positiv wird DGL als logistische Gleichung bezeichnet) analytische Lösung der DGL mit Populationslimitierung: $k = \frac{a}{b}$ $x(t) = \frac{k \cdot x_0}{x_0 + (k - x_0) \cdot e^{-at}}$ $\begin{cases} t = 0: & x = x_0 \\ t \to \infty: & x \to k \end{cases}$	Regulationsfunktion (analytische Lösung der DGL) beschreibt als Kennlinie die Koppelung der mentalen Systemanstrengung mit der makroskopischen Regulationsaktivität des Systems - A_F bezeichnet die Systemagilität  $A_F = \frac{dp_F}{dI_F} = p'_F = \alpha \cdot p_F - \beta \cdot p_F^2$

Rekursionsform	$x_{n+1} = x_n + \left(a \cdot x_n - b \cdot x_n^2\right) \cdot h$	Werte zur Genese intendierter Handlungsaktivität → Darstellung als Histogramm – asymmetrische Zeitausrichtung bzw. Ausrichtung der Einzelschrittfolge ins Futur $p_{F,n+1} = p_{F,n} + \left[\phi \cdot p_{F,n} \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{\phi} p_{F,n}\right)\right] \cdot \Delta I_F$ mit: $p'_F \approx \frac{\Delta p_F}{\Delta I_F} + O\left(\Delta I_F^2\right)$ Die Dynamik der Handlungsaktivitätsgenese reflektiert die Organisationsform des Systems.
numerische Einzelschrittweite	$h = t_{n+1} - t_n$	Euler-Verfahren mit Tayloransatz: [Vernachlässigung von Termen höherer Ordnung: $O\left(\Delta t^2\right) \overset{!}{=} 0$] $\Delta I_F := \frac{\partial I_F}{\partial t} \cdot \Delta t + O\left(\Delta t^2\right)$ mit: $\Delta t = \begin{cases} \tau_{(I)} : & 0 \le t \le \tau_{(I)} \\ 0 : & \tau_{(I)} < t \le \tau_{(E)} \end{cases}$
Kontrollparameter	a	Ausprägung beeinflusst die Steilheit der Annäherung an selbst gesetzte Zielvorgabe (Stabilitätseinfluss auf die Genese intendierter Handlungsaktivität) $\alpha := \phi \cdot \Delta I_F = \phi \cdot \frac{\partial I_F}{\partial t}(t) \cdot \Delta t$ mit: $\Delta t = \begin{cases} \tau_{(I)} : & 0 \le t \le \tau_{(I)} \\ 0 : & \tau_{(I)} < t \le \tau_{(E)} \end{cases}$
Dämpfungsparameter	b	Degradierungsfaktor λ: Ermittlung indirekt über phänomenologische Betrachtung von θ $\beta := \lambda \cdot \Delta I_F = \lambda \cdot \frac{\partial I_F}{\partial t}(t) \cdot \Delta t$ mit: $\Delta t = \begin{cases} \tau_{(I)} : & 0 \le t \le \tau_{(I)} \\ 0 : & \tau_{(I)} < t \le \tau_{(E)} \end{cases}$

Systemdissipation	Abstrahlung, Leck, Reibung $\frac{dE}{dt} < 0$	Schwund an psychophysischem Leistungsvermögen (Phänomenologische Betrachtung) $\theta(t) = 1 - \frac{\phi}{\lambda} = 1 - \frac{\alpha}{\beta}$
Ereignisverlauf	*Population = f(Betrachtungsdauer)*	Darstellung des Fortschritts korrespondierender Aktivitätsentwicklungen über: • Anzahl der Iterationsschritte: N_Z • Sukzessiver Zeitverlauf der Regulationssequenzen: $t_m = \sum_{n=1}^{m} \left(\tau_{(I)} + \tau_{(E)}\right)_n$

Thesen

T1 Die Zweckmäßigkeit von Cockpitarbeit fordert für eine Erhöhung des Niveaus von Flugsicherheit vorrangig die Einsicht in die Notwendigkeit, dass entsprechende Arbeitsgestaltungsmaßnahmen sowohl gemäß aufgestellter Zielsysteme einer Fluggesellschaft, als auch nach menschengerechten Auslegungskriterien unter Berücksichtigung eines allseitig akzeptierten Sittenkodex zu projektieren sind.

T2 Für den Erhalt bzw. für eine Erhöhung von Flugsicherheit müssen vorrangig systemdidaktisch orientierte Weiterbildungsmaßnahmen für das Verwaltungs- und Planungspersonal von Luftfahrtgesellschaften etabliert werden. Dabei gilt es das jeweilige individuelle Inventar an tätigkeitsleitenden Gedächtnisrepräsentationen von Bodenmitarbeitern mit existenzrelevanten Aspekten aus dem Flugbetrieb anzureichern. Die Projektanten von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen sollen damit in die Lage versetzt werden, in der Vorwegnahme die Konsequenzen ihrer Initiativen hinsichtlich deren Wirksamkeit im trilateralen Spannungsfeld des Flugbetriebs von ergonomisch bestimmten Notwendigkeiten, geschuldeter Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit besser abschätzen zu können.

T3 Die Voraussetzungen zur Schaffung von Sicherheit im Flugbetrieb gemäß des *TOP*-Ansatzes müssen derart beschaffen sein, dass das individuelle Vermögen zur Wahrung eines persönlichkeitsförderlichen Systemselbstbezugs während der aufgabenorientierten Bewältigung von Arbeitsanforderungen ohne Gesundheitseinbußen auf Dauer erhalten werden kann.

T4 Der Interiorisationsstrom bildet - als Konsequenz - die mikroskopische Verlaufsstruktur der Interiorisation ab. Als abstraktes dynamisches Konstrukt verbindet er mikroskopische und makroskopische Prozessebenen der Anforderungsbewältigung. Er schließt damit raumzeitliche Lücken zwischen Erkenntnis und Handlung.

T5 Es kann dann kein umfassender Schutz des Transportträger-Arbeitssystems vor Gefährdungen vorhanden sein, wenn die jeweilige aktuelle Daseinsform der Arbeitsperson / -en derart gestaltet ist, dass diese nicht mehr zur Regulierung der eigenen Beziehung mit der Umgebung und zur Selbstregulation fähig ist / sind. Die entsprechenden Grenzen des Regulationsvermögens bilden den Auslegungsrahmen zur Optimierung sicherheitsorientierter Arbeitsgestaltungsmaßnahmen für Cockpitbesatzungen.

T6 Auf der Basis von arbeitswissenschaftlichen Konzepten und unter Anwendung von wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen zum Paradigma der Selbstorganisation dissipativer Systeme ist es auf einer theoretischen Entwicklungsstufe hypothetisch möglich, Modalitäten von Anforderungsbewältigungen im Arbeitsprozess durch Operanden der Handlungsentstehung kategorial voneinander abzugrenzen. Hierzu wurde ein physikalisch-mathematisch ausgerichtetes Kriteriensystem aufgestellt. Mit diesem lässt sich der Übergang von akzeptablem zu nicht mehr tolerierbarem menschlichem Regulationsvermögen im Arbeitsprozess erkennen bzw. abbilden. Die Wurzeln des Ansatzes bilden hypothetische Annahmen, die sich ihrerseits aus Plausibilitätsbe-

trachtungen berufsspezifischer Empirie ableiten. Im Zuge der weiteren Theoriebildung bedarf das Konstrukt der Verifikation über geeignete experimentelle Untersuchungen.

T7 Durch das Aufstellen arithmetischer Beschreibungsprinzipien zur Bilanzierung entropischer mikroskopischer Prozesse des Nichtgleichgewichtssystems *Mensch* können wesentliche Aspekte zur Verwobenheit von objektiver Belastung und subjektiver Beanspruchung theoretisch erfasst werden.

T8 Die vorgeschlagene Neustrukturierung europäischer Flugbetriebssysteme (als ein Element von Flugarbeitssystemen) besitzt für Luftfahrtunternehmen den Vorteil eines chancengleichen Zugangs zu operationell notwendigen Dienstleistungen. Damit würde der Anreiz zu weit gefassten Gestaltungsoptionen von Cockpitarbeit für die Etablierung von Lufttransport bei erhöhter Flugsicherheit unter menschengerechten Arbeitsbedingungen nach dem *TOP*-Ansatz geschaffen. Für die Luftfahrtunternehmen bedeutet dies gleichzeitig, dass sich generell für die Tätigung von sicherheitsförderlichen Investitionen der wirtschaftliche Rechtfertigungsdruck gegenüber ihren eigenen Kapitalgebern reduziert.