

Flugsicherheit aus arbeitswissenschaftlicher Sicht

Heinz Bartsch

1. Einleitung

Die Praxis zeigt immer deutlicher – die Anforderungen an Piloten und ihre Crew werden komplexer und schwieriger. Nicht zuletzt damit sind auch Fragen der Flugsicherheit ¹⁾ zu beantworten.

Das Problem „Flugsicherheit“ zeichnet sich durch einen außerordentlich hohen Grad an Komplexität aus. Eine wichtige Kausalität ergibt sich dabei aus den vielschichtigen Wirkungen der Interaktion Mensch – Technik – Organisation.

International vergleichbare Untersuchungen zu Flugunfällen machen deutlich, dass sich die Relation von den ursprünglich technisch bedingten stark zu den menschlich bedingten Ursachenkomplexen verschoben hat.

Heute muss man davon ausgehen, dass fast 75 % aller Flugzeugunfälle **„menschliches Versagen“** als Unfallursache ausweisen. Demnach wird deutlich, dass in der genannten Interaktionskette vor allem der Mensch im Sinne seiner „Zuverlässigkeit“ als das schwächste Glied angesehen werden muss.

Die Arbeitswissenschaft / Ergonomie befasst sich in sehr interdisziplinärer Weise mit den Gesetzmäßigkeiten und Wirkungsbedingungen der menschlichen Arbeit. Auf der Grundlage daraus gewonnener Erkenntnisse sollen vor allem Arbeitssysteme - also auch „Flug - Arbeitssysteme“ - aus der Sicht der zentralen Stellung des Menschen optimiert werden.

Eine zentrale Kategorie wird dabei mit der „Menschlichen Zuverlässigkeit“ gesetzt. Dabei versucht die Arbeitswissenschaft im systemwissenschaftlichen Ansatz zwei wesentliche Zielstellungen zu erreichen:

- Erhöhung der Systemleistung,
- Erhöhung der Systemzuverlässigkeit.

Die „Systemzuverlässigkeit“ beinhaltet dabei die Teilzuverlässigkeiten der Technik, der Organisation und vor allem des Menschen als integrativ wirkenden Zusammenhang.

Der Autor geht deshalb im nachfolgenden Beitrag von der Hypothese aus, dass durch eine gezielte Optimierung der „Menschlichen Zuverlässigkeit“ und ihrer entsprechenden Einbindung in die Gesamtzuverlässigkeit des Systems in erheblichem Maße eine **Verbesserung der Flugsicherheit** erwartet werden kann. Die Arbeitswissenschaft / Ergonomie könnte dazu einen wesentlichen Beitrag leisten.

1) - Sicherheit - „Zustand des Unbedrohtseins, der sich objektiv im Vorhandensein von Schutz bzw. im Fehlen vor / von Gefahrenquellen darstellt und als Gewissheit von individuellen und sozialen Gebilden über die Zuverlässigkeit von Schutzeinrichtungen empfunden wird.“ / Meyers Lexikon-1980/. Trotz DIN 31619-2 und DIN 32541 muss davon ausgegangen werden, dass es zur Zeit keine allgemein gültige und akzeptierte Definition des Begriffes „Sicherheit“ gibt. Auch die Formulierung „Zustand des Geschütztseins“ / Neues Deutsches Wörterbuch/ bzw. die Relation zum Begriff „Risiko“ verbessert diese Situation nicht. Ausgehen kann man allerdings davon, dass es keine „absolute Sicherheit“ gibt. Man kann in Anlehnung an DIN 31000 die Position vertreten, dass ‚Sicherheit‘ als „Sachlage, bei der die Schadensersparnis im sozio - technischen System noch nach vernünftigem Ermessen vertretbar ist“ verstanden werden kann.

2. Unfallgeschehen im Flugverkehr

Statistische Erhebungen zum Unfallgeschehen im Flugverkehr /1/ - ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben - weisen zusammenfassend nachfolgendes Geschehen aus:

- Von 1958 bis 2001 wurden weltweit 630 Passagierflugzeuge im operativen Einsatz zerstört,
- Auffallend sind die plötzlichen, gravierenden Anstiege der „Total Losses“- Kurve (Totalverluste von Linienflugzeugen),
- Die Anstiege der Unfallzahlen sind immer nach der Neueinführung einer neuen Flugzeuggeneration, also nach markanten technischen Veränderungen der Flugzeuge (incl. Cockpit) zu verzeichnen,
- 1960 wurde die 1. Cockpit-Layout-Generation eingeführt (z.B. B707, DC8, Caravelle),
- 1965 folgte die 2. Cockpit-Layout-Generation (z.B. B727, DC9, F28),
- 1971 erfolgte die Einführung der „Early Widebodies“ (z.B. B747-200, DC10, A300),
- 1983 stellte Airbus den A310 in den Liniendienst.
Mit diesem Flugzeug begann die Ära der „Glascockpits“, d.h. eine veränderte Art der Informationsaufbereitung der Cockpitinstrumente – überwiegend elektronisch per Computer / Anzeige in modifizierten Instrumenten alter Herkunft oder einfachen Kleinbildschirmen,
- 1986 wurde die 3. Cockpit-Layout-Generation mit der Bildschirmtechnik für fast alle Systeme eingeführt (z.B. B747-400, MD11, A310),
- 1988 revolutioniert Airbus mit der A320 den Markt.
Linienflugzeuge werden in großem Maßstab mit „Sidesticks“ ausgestattet, d.h. mit einer veränderten Art der Steuerung von Flugzeugen / Vektorsteuerung),
- Airbus prognostiziert die Entwicklung der Unfallzahlen bis 2017 gerade für die 3. Generation stark ansteigend.

Nachfolgende Grafiken zeigen in konzentrierter Weise die vorgenannten Aussagen:

Von 1965 bis 2000 gab es weltweit, mit Ausnahme aller militärischen und aller in den CIS (frühere Sowjetunion) gefertigten Jet-Flugzeuge, über 60.000 pounds maximalen Take-off Weights (TOW):

- 378,6 * 10⁶ Abflüge (Boeing = 316, 9 * 10⁶) ; • 610,5 * 10⁶ Flugstunden (Boeing = 520, 1 * 10⁶)
- 7 Hersteller mit 33 signifikant unterschiedlichen Flugzeugmustern (Boeing = 13) ; • 14.949 Flugzeuge (Boeing = 11.327).

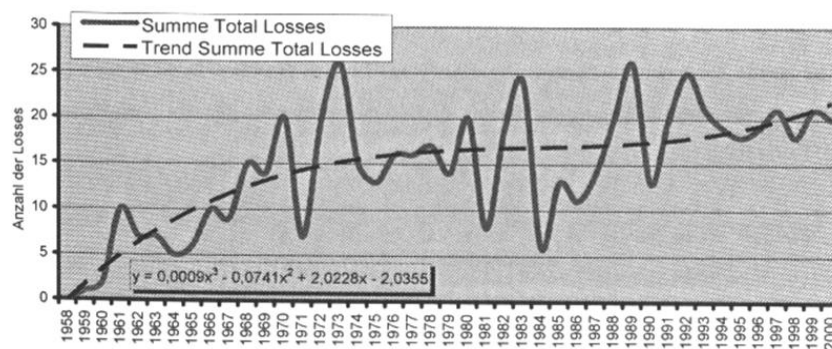
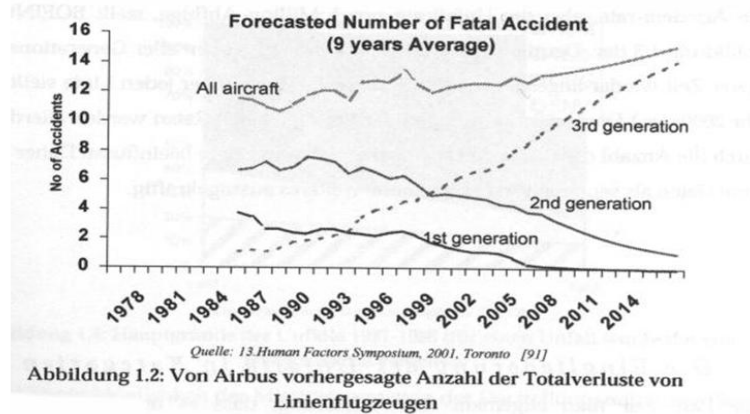


Abbildung 1.1: Total Losses (Totalverluste von Linienflugzeugen), 1958-2000

Hanke, H., 2003, Einflüsse digitaler Glas-Cockpits von Verkehrsflugzeugen auf das Qualifikationsprofil der Piloten, Dissertation, TU Chemnitz



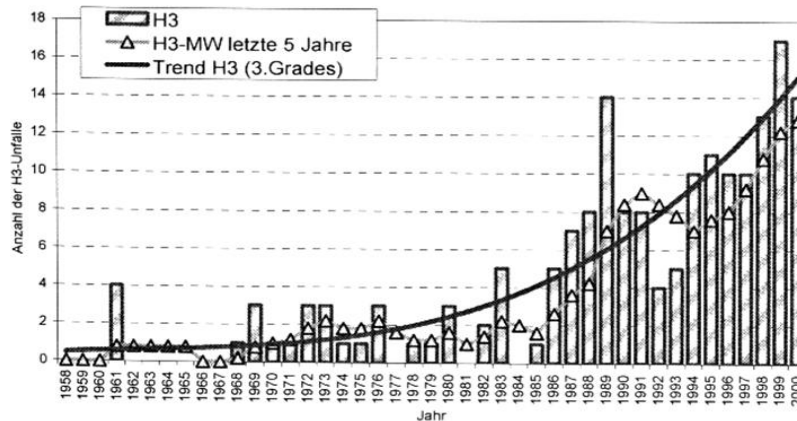
Wenn die Flugunfälle differenziert ausgewiesen werden, dann ergibt sich nachfolgende Übersicht:

Aufteilung nach Ursachen:		Risiko nach Flugphasen:	
1. Besatzung :	75 %	1. Landeanflug:	25 %
2. Flugzeug/Technik:	9 %	2. Landung:	24 %
3. Wetter:	7 %	3. Abheben:	24 %
4. Flugsicherheit:	5 %	4. Reiseanflug:	12 %
5. Wartung:	2 %	5. Steigflug:	6 %
6. Verschiedenes:	2 %	6. Rollen	5 %
Aufteilung nach H - Unfällen (von 1963 – 1992):			
		Entwicklung:	
H 1 = 40 %	H 1 = 52 %	H 1 = 27 %	H 1 = bewusster, vorsätzlicher Arbeitsfehler, H 2 = unbewusster, unbeabsichtigter Fehler, H 3 = Ausbildung (Qualifikationsdefizite), H 4 = Fehler infolge Unwohlsein / Krankheit.
H 2 = 49 %	H 2 = 34 %	H 2 = 19 %	
H 3 = 11 %	H 3 = 13 %	H 3 = 54 %	
H 4 = 0 %	H 4 = 1 %	H 4 = 0 %	

Tabelle 1: Differenziertes Unfallgeschehen /2/

Der FHP e.V. (Forschungs- und Arbeitszentrum Hochschulausbildung von Piloten e.V.) stellt in diesem Zusammenhang fest, **dass sich die H 3 - Unfälle im Zeitraum von 1963 bis 1992 mehr als vervierfacht haben.**

Das zeigt auch die Abbildung 1.7



Eigene Darstellung - Datenbasis: Lufthansa FRA CF

Abbildung 1.7: Aufteilung der H3 Unfälle inkl. Trend 1958-2000

Natürlich könnten diese Analysen auch international differenzierter fortgesetzt werden. Das ist aber nicht die Hauptzielstellung des folgenden Beitrages. Die Abb.1.8. zeigt dabei auch, dass im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern das *Flugzeug noch immer als das sicherste Transportmittel angesehen werden kann* (die dargestellte Relation hat sich in der Entwicklung bis zum Jahre 2003 nur unwesentlich verändert) – trotzdem ist natürlich jeder Flugzeugunfall einer zu viel.

Wenn man sich für die Zukunft nur die zu erwartende *Zunahme der Flugverkehrsdichte, den zunehmenden Verdrängungswettbewerb der vielen Airlines und der zu transportierenden ‚Massen‘ (s. ‚Airbus 380‘)* vorstellt, dann wird deutlich, welche Ausmaße hier an Schadenswirkung für Menschen und Güter entstehen können. Desto wichtiger ist es, sich *den Ursachen* zu widmen, die hauptsächlich verantwortlich für solche Entwicklungen zu sein scheinen. Deshalb konzentriert sich der nachfolgende Beitrag im Sinne der Interaktionskette Mensch – Technik – Organisation auf die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ in Flug-Arbeitssystemen, ihrer möglichen Bestimmbarkeit und gezielten Beeinflussung.

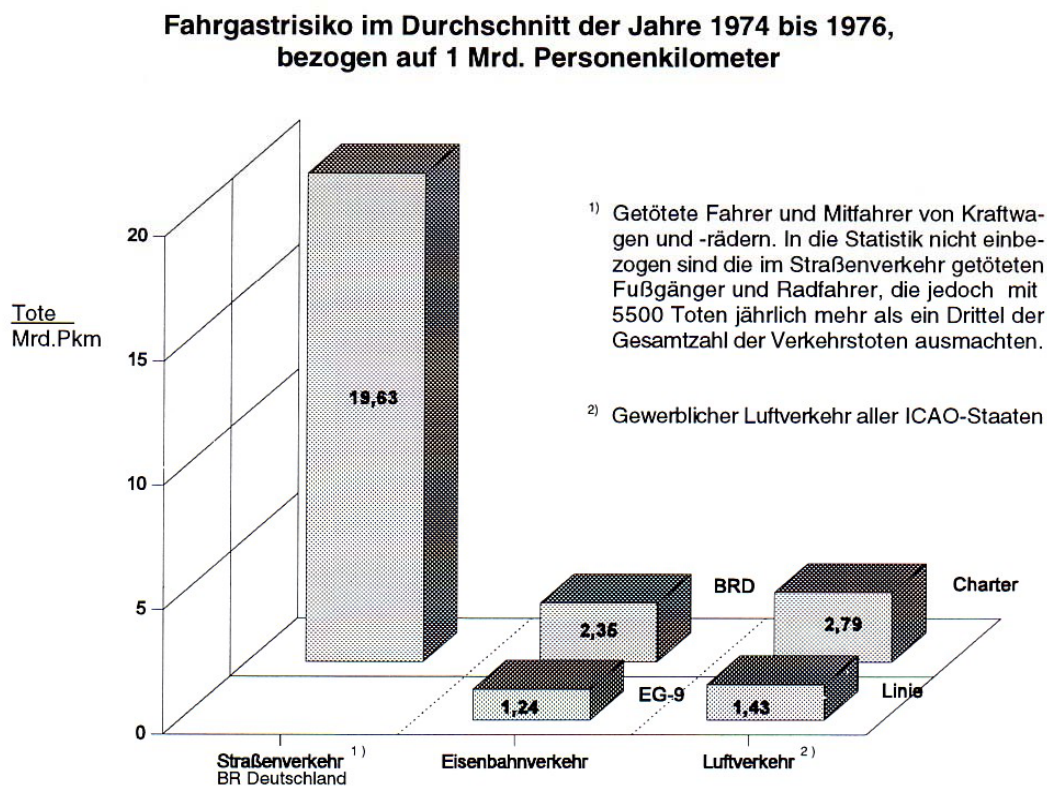
Insbesondere in Deutschland, in der Schweiz und in Österreich gibt es in jüngster Zeit zu diesen Fragen ‚Bewegungen‘, die zu Hoffnungen für prinzipielle Lösungsansätze ermutigen.

Dabei darf die Arbeitswissenschaft / Ergonomie natürlich nicht fehlen.

Exkurs

Sicherheit im Luftverkehr

Jedes technische System und jedes Mensch-Maschine-System ist fehlerbehaftet. Fehlerfreie Hybridsysteme gibt es nicht. Insbesondere wegen der hohen Geschwindigkeiten sowie des Übergangs vom Luft- zum Bodenfahrzeug sind Flugzeuge potentiell unfallgefährdete technische Systeme.



Im Vergleich zu anderen Verkehrssystemen sind Flugzeuge jedoch recht sichere Transportmittel.

Abb.1.8.: Sicherheitsvergleiche unterschiedlicher Transportmittel / 2 /

3. Erkenntnisse zur Ausbildung von Verkehrspiloten

In den vergangenen Jahren hat die Arbeit der Piloten infolge neuer Technologien gravierende Veränderungen erfahren.

Zunehmende Komplexität des Gesamtsystems Luftverkehr, das erweiterte Aufgabenspektrum im Cockpit, die wachsende Luftverkehrsdichte, der sich enorm steigernde Wettbewerbsdruck bei allen Airlines und ein exponentieller Anstieg der H3 - Unfälle (s. Abb. 1.7.) verlangen eine kritische Überprüfung der bisherigen ATPL¹⁾ – Ausbildung aller Piloten.

Zunehmende Probleme, die sich durch die erheblich gestiegenen Anforderungen an Flugzeugführer im immer komplexeren Mensch-Maschine-System ergeben, müssen vor allem durch eine hoch qualifizierte Ausbildung gelöst werden.

Nach bisheriger Analyse gibt es für Verkehrspiloten weder wissenschaftlich gesicherte Arbeitsanalysen und Qualifikationsprofile noch einen anerkannten Berufsabschluss / 2 /.

Verliert z.B. ein Pilot aus gesundheitlichen Gründen seine Flugberechtigung, dann kann er durchaus in ein tiefes „soziales Loch“ fallen.

Auch aus dieser Sicht muss eine Hochschulausbildung für Verkehrspiloten gefordert werden, die mit einer Doppelqualifikation (Diplom + ATPL) abschließt.

Vor dem Hintergrund der Umsetzung von JAR-FCL²⁾ (Europäische Neuregelung) sollte dazu kein weiterer Zeitverzug mehr zugelassen werden.

Wenn festgestellt werden muss, dass sich die Flugzeugtechnik erheblich schneller entwickelt hat als die Pilotenausbildung, dann sind doch eindeutige Signale dafür gegeben.

Hier muss also ein neues umfassendes Curriculum und seine Umsetzung gefordert werden und nicht eine weiterhin einseitige Orientierung an (multi – choice –) Prüfungsfragen.

Es gilt die generelle Erkenntnis, dass mit höherem Automatisierungsgrad und somit höherer Komplexität der Verkehrsflugzeuge der 3. Jetgeneration auch höher qualifizierte Piloten benötigt werden.

¹⁾ ATPL = Airline Transport Pilot Licence / Verkehrspilotenlizenz

²⁾ JAR-FCL = Europäische Richtlinien für die Crew-Lizensierung (ersetzt die LuftPersV).

Durch die oben beschriebenen Veränderungen im Luftverkehr bzw. durch die konkrete Entwicklung neuer Verkehrsflugzeuge haben sich die Arbeitsbedingungen für die Piloten und ihre Crew qualitativ radikal verändert. Wesentliche Merkmale werden nachfolgend gekennzeichnet:

- Der Arbeitsplatz „Cockpit“ hat sich durch Automatisierung stark verändert,
- Das Cockpit-Team schrumpfte von 5 auf 2 Mitglieder,
- Motorische Regeltätigkeiten der Piloten sind rückläufig,
- Überwachungsarbeit und Systemmanagement dominieren im Normalbetrieb (hohe kognitive Anforderungen und Beeinflussung des Vigilanzzustandes),
- Hochautomatisierte digitale Fly-by-wire-Glascock-pits sind im Normalbetrieb komfortabel,
- Im Störfall führt die hohe Komplexität zu großer Informationsdichte, die die Beherrschbarkeit des Systems durch die Piloten gefährden kann,
- Human – Factors - Unfälle der Kategorie H 3, die auf Ausbildungs- und Qualifikationsdefizite beruhen, haben seit der 3. Jetgeneration exponentiell zugenommen.

Nach Faber / 2 / werden bei der 3. Jet-Generation der Verkehrsflugzeuge vor allem folgende „Qualifikationsverschiebungen“ für die Piloten festgestellt: Reine Bedientätigkeiten, insbesondere manuelles Fliegen, treten zunehmend in den Hintergrund.

Nach einer aufwendigen Flugvorbereitung am Boden wird ‚Monitoring‘ zur zentralen Aufgabe der Piloten im Normalbetrieb. Sieht man von stärkeren Vigilanzproblemen ab, dann sind die neuen Systeme der 3. Jet-Generation der Verkehrsflugzeuge hinsichtlich der Bedienung meist komfortabel.

Hohe Informationsdichten, starke kognitive Anforderungen und damit hohe Belastungen der Piloten treten erst bei Störfällen auf. Vor allem hierbei ergibt sich im Vergleich zur 1. Generation eine stark geänderte Situation. Bisherige, nicht mehr verfahrensbezogene Grundfertigkeiten verlieren im Normalbetrieb an Bedeutung, extrafunktionale, langlebigere, übergreifende, so genannte „Schlüsselqualifikationen“ werden zunehmend benötigt und müssen entsprechend definiert werden. Die nachfolgende Abb. 2 zeigt vereinfacht den qualitativen (hypothetischen) Zusammenhang zwischen Systemkomplexität und Pilotenqualifikation im Normalbetrieb und bei Störungen:

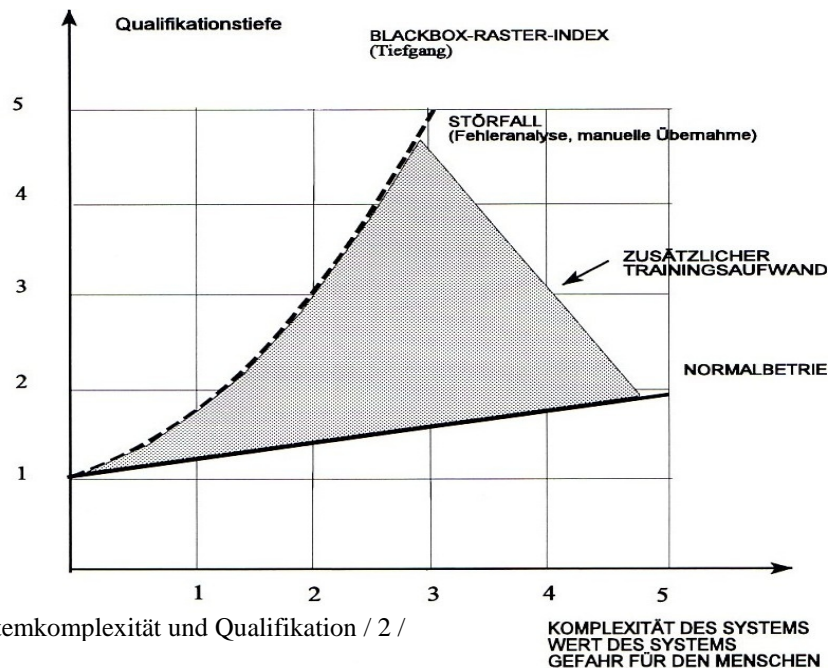


Abb. 2: Systemkomplexität und Qualifikation / 2 /

Solche zunehmend komfortablen, bedienerfreundlicheren Systeme hoher Automatisierung können im Normalbetrieb durchaus auch von Piloten mit geringerer Qualifikationstiefe geflogen werden. So genannte „Push-Button-Operatoren“ („Knöpfchendrucker“) können also durchaus im Normalbetrieb bei Arbeiten an sehr komplexen Hybridsystemen erfolgreich sein.

Ganz anders ist das aber bei möglichen Störungen oder gar Havariesituationen. Hier wird immer für eine erfolgreiche sichere manuelle Übernahme eine viel höhere Qualifikationsstufe erforderlich, damit das evtl. defekte System noch beherrscht werden kann.

Flugzeughersteller haben mitunter mit der Behauptung geworben, solche Flugzeuge können auch von weniger qualifizierten Piloten sicher geflogen werden. Wenn diese Behauptung für den Normalbetrieb wenigstens bedenklich stimmt, dann ist sie für Störfall-Situationen immer definitiv falsch.

Gerade Unfälle jüngerer Vergangenheit zeigten, dass nur der Einblick der Piloten in hohe Systemebenen nicht ausreicht, sondern dass vor allem auch Informationen bzw. Kenntnisse über Systemzusammenhänge gewährleistet werden müssen. Gibt es bei den Piloten dazu Defizite – und davon kann ausgegangen werden – dann kann das im Störfall zu fatalen Folgen führen.

Gewarnt werden muss an dieser Stelle aber auch gleichzeitig vor Systemen von *teilweise unnötiger und damit zu hoher Komplexität*. Solche Systeme können trotz umfassender und hochwertiger Pilotenausbildung deshalb dann auch häufig nicht mehr beherrscht werden.

Damit ist prinzipiell eine Kernfrage der Funktionsteilung Mensch – Technik angesprochen.

Gerade bei Systemstörungen wird der Unterschied zwischen einem angelernten Operator und einem mit entsprechender Handlungskompetenz ausgestatteten qualifizierten Piloten deutlich.

Der für den Normalbetrieb gerade hinreichend qualifizierte Operator (Pilot) versagt im Störfall, wenn manuelle Übernahme, Fehleranalyse und somit Entscheidung und Maßnahme zur Abwendung von Gefahren - häufig unter extremen Zeitdruck – notwendig werden.

Im Unterschied zur 1. Generation ist für das Steuern und Bedienen bei der 3. Generation vor allem noch hinzugekommen:

- Programmieren (programming),
- Überwachen (monitoring),
- Fehlerprävention (fault prevention),
- Fehleranalyse (fault analysis),
- ggf. Beseitigung von Fehlern (trouble shooting) sowie
- letztendlich die manuelle Übernahme (getting into the loop).

Die vorgenannten Bemerkungen machen sicherlich deutlich, ***dass bei der Pilotenausbildung nach dem Grundsatz verfahren werden muss, für die mögliche ungünstigste Situation die bestmögliche Befähigung der Piloten und der Crew zur Verfügung zu haben.*** In diesem prospektiven Sinne kann – wie in anderen Bereichen des Arbeitslebens ebenfalls – begründet davon ausgegangen werden, Gefährdungsquellen zu erkennen und zu beseitigen, damit es erst gar nicht zur Schädigung kommen kann. *Da mögen die fixen Kosten im Sinne einer prospektiven Arbeitsgestaltung (z.B. auch Hochschulausbildung) zwar etwas höher werden, die variablen Kosten können aber mittel- und langfristig durch die Minimierung der Gefährdungen und Schäden enorm vermindert werden.*

4. Arbeitssysteme

Als Synonym für die Begriffe „Mensch - Maschine - Systeme“ bzw. „Sozio – technische Systeme“ kann auch der Begriff „Arbeitssystem“ verwendet werden, der sich generell in der arbeitswissenschaftlichen Fachliteratur auch mehr durchgesetzt hat. Der Vorteil des Systemansatzes liegt darin, dass er eine allgemeingültige Darstellungsweise für die Struktur verschiedenster Phänomene erlaubt.

Das eigentliche Kennzeichen eines Systems besteht darin, dass es über eine Systemgrenze (die es zur Umwelt abgrenzt), Systemelemente, Beziehungen zwischen den Elementen und ggf. auch zur Umgebung, verfügt.

Dabei kann das jeweils betrachtete System einerseits Teilsystem oder Subsystem eines übergeordneten Systems sein und andererseits in Form anderer Elemente wiederum Subsysteme enthalten / 3 /.

So kann z.B. die Struktur technischer Systeme beschrieben werden (Bauteile, Baugruppen, Maschine, Maschinenverbund) mit entsprechenden Beziehungen (Organisation bzw. „Inbeziehungsetzen“) der Elemente untereinander und mit der Umwelt.

Rohmert, 1983 / 4 / formulierte z.B.:

„Das Arbeitssystem kann als Modell zwischen dem arbeitenden Menschen und seiner Arbeitsaufgabe aufgefasst werden. Aus zumindest diesen beiden Elementen, dem arbeitenden Menschen und der Arbeitsaufgabe, besteht das Grundmodell menschlicher Arbeit.“

Die Arbeitsaufgabe (Inhalt und Umfang) wird durch den Arbeitsvorgang, das Arbeitsobjekt, die Arbeits- und Betriebsmittel (Arbeits- und Ausführungsbedingungen) im Hinblick auf die notwendige Qualifikation und Motivation des arbeitenden Menschen gekennzeichnet.

Die Anzahl der Systemelemente und die Formen sowie der Verflechtungsgrad der Beziehungen zwischen den Systemelementen und zur Systemumgebung bestimmen den **Grad der Komplexität eines Systems**.

Dabei kann man danach zwischen einfachen und äußerst komplexen Systemen unterscheiden. In äußerst komplexen Systemen existieren eine Vielzahl von Mensch-Mensch-Beziehungen bzw. „soziale Systeme“, Maschine-Maschine-Beziehungen bzw. „technische Systeme“ sowie Mensch-Maschine-Systeme (MMS) bzw. übergeordnet – im Verständnis prozessbezogener Betrachtung – „sozio - technische Systeme“.

Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems aus der Sicht arbeitswissenschaftlicher (ergonomischer) Zielstellungen lassen sich vor allem über die Nutzung von Erkenntnissen aus der **Belastungs-Beanspruchungs-Konzeption** (Einsatz des Menschen) und aus der Sicht der Informationsumwandlung mit Hilfe *systemergonomischer Betrachtungen* gewährleisten.

Die nachfolgende Abb. 3 zeigt diesen Zusammenhang:

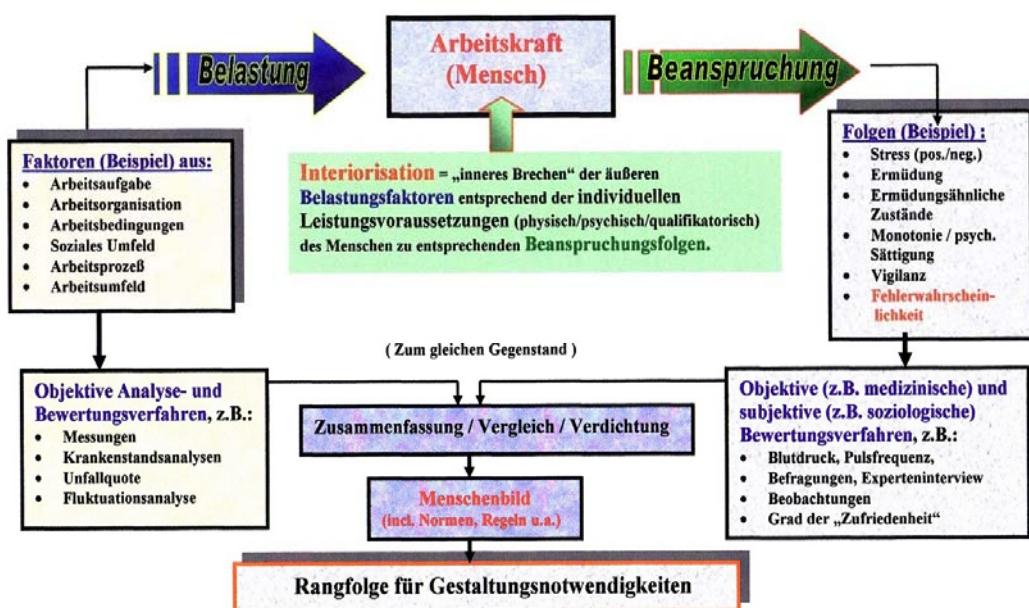


Bild 3: Belastungs - Beanspruchungs - Konzeption

Dabei befasst sich die System – Ergonomie insbesondere mit der Entwicklung und Nutzung von ergonomischen Analyse- und Gestaltungsmethoden für die Lösung von Mensch-Maschine-System-Problemen, die im Zusammenhang mit einer entsprechenden Systemauslegung stehen.

Mit Hilfe eines solchen systemanalytischen Ansatzes können prinzipielle Strukturbilder über die Einbindung des/der Menschen in komplexe „sozio-technische Systeme“ entwickelt werden und daraus ganzheitliche Ableitungen für die Optimierung dieses Systems gefunden werden (Schmidtke, 1993) / 5 /.

Das schließt die Notwendigkeit ein, dass es im Verständnis moderner Ingenieurwissenschaften zunehmend erforderlich ist, naturwissenschaftlich-technische Gesetzmäßigkeiten und ihre Wirkungsbedingungen stärker im Kontext menschlicher Arbeit zu sehen.

Technik ist nicht ohne Arbeit und Arbeit nicht ohne Technik¹⁾ denkbar.

Auch wenn beide Begriffe sehr eng miteinander gekoppelt sind, dürfen sie nicht als koextensiv verstanden werden. Allein die Motivationsstrukturen für Technik und Arbeit sind völlig unterschiedlich (Kornwachs, 2001) / 6 /.

Aus dieser Sicht Technik / Technologie lediglich als die Verwendung, in Gebrauch und Herstellung technischer Artefakte, Werkzeuge, Maschinen, Systeme zu verstehen, wäre eine leichtsinnige Verkürzung.

Deshalb muss auch der in den Ingenieurwissenschaften anzutreffenden Auffassung widersprochen werden, dass Technik / Technologie lediglich eine Art degenerierter, weil eben nur angewandter Naturwissenschaft sei. Technik ist damit aber auch nicht „Herrschaft über die Natur“, sondern lediglich „Herrschaft in der Natur“.

Im Sinne der engen Kopplung von Technik / Technologie und Arbeit muss gleichzeitig gesehen werden, dass der neuzeitliche Arbeitsbegriff zunehmend Eigentum, soziale Teilhabe und persönliche Identität impliziert / 6 /.

¹⁾ „Technik / Technologie“ wird hier nicht nur als produkt- bzw. gegenstandsbezogen, sondern auch handlungsbezogen (verschiedene „Techniken“ bzw. Methoden einsetzen) verstanden.

Er geht also von einem **Menschenbild** aus, das den Menschen als ein *autonomes Subjekt begreift, das zur Regulierung der eigenen Beziehungen mit der Umwelt und zur Selbstregulation fähig ist* (Bartsch, 1997) / 7 /.

Wenn man davon ausgeht, dass die technologische Entwicklung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, neben der Informations- und Kommunikationstechnologie, eine neue Kategorie technischer Einrichtungen zeigte, deren Größe und Komplexität alles übertrifft, was bisher an Technikgeschichte bekannt war, dann wurde aber auch gleichzeitig deutlich, dass mit der Herstellung und Inbetriebnahme solcher komplexer groß-technischer Systeme sprunghaft das Gefahrenpotenzial zunahm.

Das trifft – technisch orientiert – vor allem für so genannte „wenig fehlerverzeihende Bereiche“ zu, wo hohe Konzentrationen von Energie oder toxischen Stoffen kontrolliert werden müssen, damit katastrophale Folgen für Umwelt, Bevölkerung und zukünftige Generationen vermieden werden.

Typisch dafür stehen die Kerntechnik, die zivile und militärische Luft- und Raumfahrt, Anlagen der chemischen Industrie, Gefahrgütertransport, schienengebundener Schnellverkehr von Gütern und Menschen, die Schifffahrt und die petrochemischen Großanlagen, aber eben auch die weltweiten Informations- und Kommunikationsnetze, komplexe Nahrungsmittelketten oder medizinische Dienstleistungen (Wilpert, 2001) / 8 /.

Die Ingenieurwissenschaften stehen hier also nicht nur in Verantwortung, effektive, sichere und zuverlässige „Technik / Technologie“ zu gewährleisten, sondern auch gleichermaßen im Sinne der Systemwirkung bestmöglichen Einfluss auf die „Menschliche Qualität“ (im Sinne von „Menschlicher Zuverlässigkeit“) im Kontext dieser Interaktion zu nehmen (Bartsch, 2001) / 9 /.

Im Sinne der obigen Themenstellung kann demnach ein „**Flug – Arbeitssystem**“ bzw. ein „**Transportträger- Arbeitssystem**“ [TAS] (s. Bild 3 a) vereinfacht wie folgt beschrieben werden:

Das System besteht aus dem Flugzeug sowie seiner technischen Ausstattung, dem Dienst des Bordpersonals und dem des Bodenpersonals. Alle stehen unter dem Aspekt der bestmöglichen Realisierung ihrer Aufgabenstellung in enger Beziehung zueinander bzw. sind miteinander interaktiv, wobei sie auch dem Einfluss der Umgebungsfaktoren unterliegen.

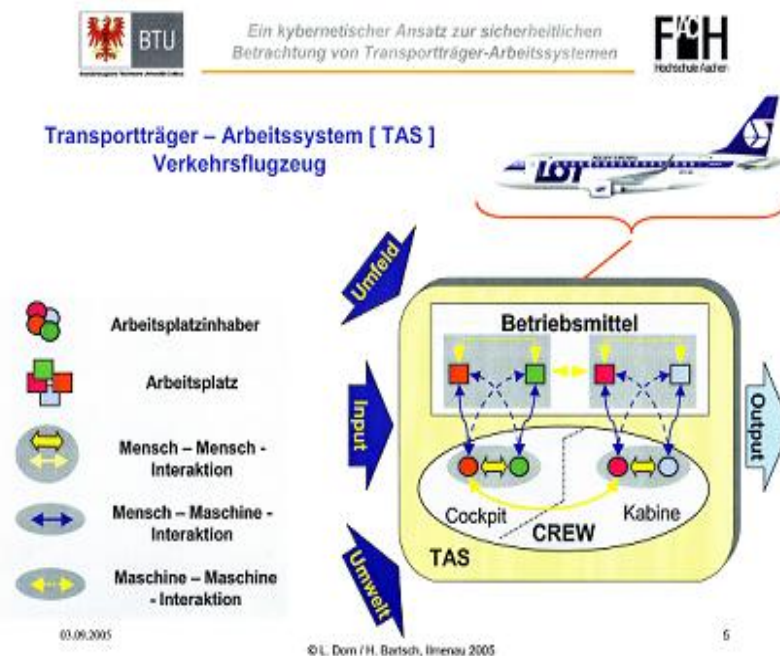


Bild 3 a: Transportträger – Arbeitssystem ‚Verkehrsflugzeug‘

So gesehen kann (muss) von einem Mensch - Maschine - System bzw. sozio - technischen System ausgegangen werden.

Hauptelemente des Systems sind:

- **Technischer Teil**, bestehend aus: Flugzeug, technische Ausstattung, funktionelle Verknüpfungen und Boden-Leit-Anlagensystemen (Hardware),
- **Menschlicher Teil**, bestehend aus: Bordpersonal, Bodenpersonal und ihren Reaktionen,
- **Umgebungsfaktoren**, bestehend aus: Wetterbedingungen, Flugverkehrsdichte, nationale und internationale Vorschriften, Regelungen, Flugsituationen.

Für die in diesem Beitrag zu beschreibende Problemstellung wird deshalb in Anlehnung an Rohmert / 4 / der Begriff „**Flug – Arbeitssystem**“ verwendet.

5. Technische und „Menschliche Zuverlässigkeit“ im Arbeitssystem

Im Kontext der vorangestellten Ausführungen kann abgeleitet werden, dass ein sozio - technisches System dann optimal gestaltet ist, wenn die technische Auslegung von Maschinen und Systemen mit den betrieblichen Arbeitsverhältnissen und mit der Tätigkeit sowie angemessener Qualifikation und Motivation der Arbeitspersonen abgestimmt wird.

Dabei wirkt eine Vielzahl von technischen, organisatorischen und personellen (menschlichen) Leistungsparametern, die im Sinne einer optimalen Aufgabenerfüllung nach konkret vorgegebenen Zielstellungen in Beziehung gesetzt werden (z.B. Arbeitsorganisation).

Mit der Abb.4 wird am Beispiel des Leistungsparameters „Menschliche Zuverlässigkeit „ dieser Zusammenhang gezeigt:

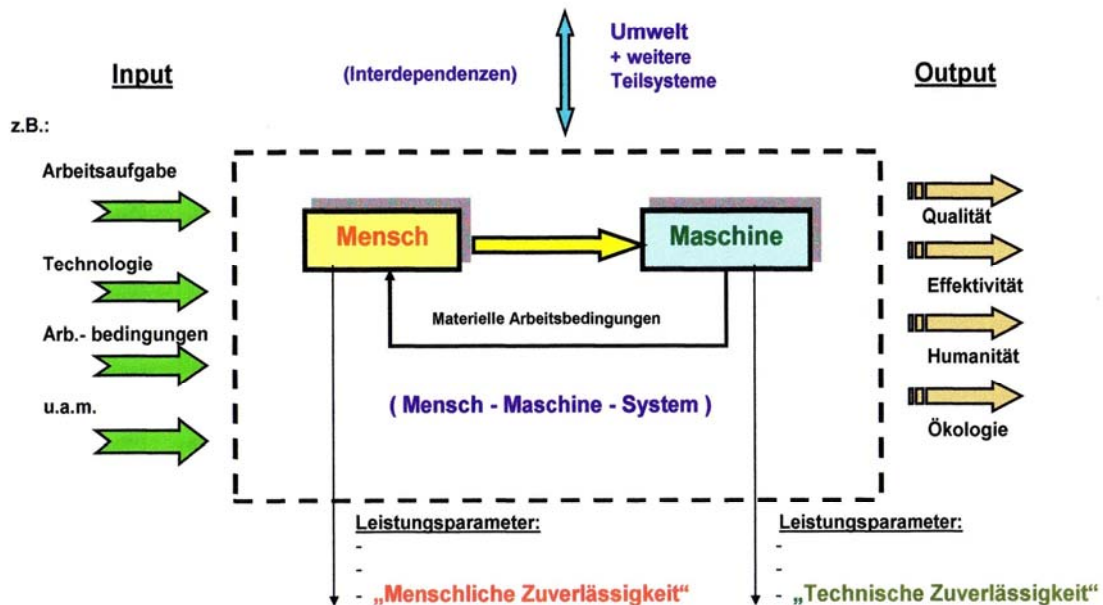


Bild 4: Menschliche und Technische Zuverlässigkeit im Mensch-Maschine-System

Bei dieser Betrachtung wird davon ausgegangen, dass jede Tätigkeit des Menschen in einem Arbeitssystem auf Aufgabenstellungen beruht, deren reale Verwirklichung, nämlich das Ergebnis, als Aufgabenerfüllung bezeichnet werden kann. Diese enge Verbindung zwischen Aufgabenstellung und Aufgabenerfüllung stellt das Mensch-Maschine-System dar. Aufgabenerfüllung bezieht sich dabei insgesamt auf:

- Die Gewährleistung der geplanten Qualität der herzustellenden Erzeugnisse bzw. der zu realisierenden Leistungen,
- Erreichung einer max. Effektivität (Wirkungsgrad) des dafür erforderlichen Gesamtprozesses,
- Schaffung optimaler Wirkungsbedingungen für den arbeitenden Menschen im Sinne optimaler Zustands- und Befindlichkeitsveränderungen,
- Umweltgerechte Wirkungen (umweltgerechte Arbeitsgestaltung).

Neben anderen Leistungsparametern (-merkmalen) eines Arbeitssystems ist die **Zuverlässigkeit** von besonderer Relevanz.

Mit Bezug auf DIN 55 350, Teil 11 (1987) kann die „**Technische Zuverlässigkeit**“ als ein Teil der Qualität im Hinblick auf das Verhalten während oder nach vorgegebenen Zeitdauern bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen festgelegt werden.

Dabei müssen zusätzlich die Wirkungen der Umgebungsbedingungen des technischen Systems (z.B. Temperatur, Vibrationen) berücksichtigt werden. Die tatsächliche Verwendung soll innerhalb der Grenzen liegen, die während des Konstruktions- bzw. Projektierungsprozesses des technischen Systems zugrunde gelegt wurden.

Man kann deshalb nicht von mangelnder technischer Zuverlässigkeit sprechen, wenn infolge höherer Beanspruchung ein Versagen eintritt.

Die technische Zuverlässigkeit wird durch eine Reihe von Merkmalen mit zugehörigen Kenngrößen bestimmt und damit einer quantitativen Bestimmung zugänglich gemacht. Dazu gehören z.B. die Ausfallwahrscheinlichkeit, die Ausfalldichte, die Lebensdauer, die Ausfallrate u.a.

Wegen der multifaktoriellen Beeinflussung müssen die erforderlichen Grundlagen für eine zu erreichende technische Zuverlässigkeit bereits in der Planungsphase (prospektive Arbeitsgestaltung) technischer Systeme antizipiert und berücksichtigt werden.

Der eigentlich generelle Unterschied zwischen einer so verstandenen „Technischen Zuverlässigkeit“ und einer notwendigen Betrachtung von „Menschlicher Zuverlässigkeit“ ist vor allem in der Art der Zielgerichtetheit der Informationsverarbeitung durch das ‚Subsystem Mensch‘ bzw. durch das ‚Subsystem Maschine‘ zu sehen.

Dabei muss davon ausgegangen werden, dass technische Systeme Funktionen haben, die zwar in den sie aufbauenden Elementen überwacht werden können, bei einem möglichen Funktionsausfall aber nicht mehr zur Verfügung stehen. Das gilt grundsätzlich auch für selbstreparaturfähige Systeme.

Der Mensch führt dagegen im Mensch-Maschine-System Funktionen aus, indem er Aufgaben erfüllt. Im Gegensatz zur Maschine handelt er zielgerichtet, nicht funktionell. Das heißt auch, dass er bei Kenntnis des Produktions- bzw. Missionszieles dieses auch mit anderen Mitteln oder einer geänderten Aufgabenabfolge zu erreichen versucht.

Dabei kann dann zwar die Wahrscheinlichkeit des fehlerhaften Ausführens einzelner Handlungsschritte hoch, die Wahrscheinlichkeit aber, das Gesamtergebnis nicht zu erreichen, dennoch sehr klein sein.

Der Mensch verfügt eben über die Fähigkeit, sein Handeln selbst zu überwachen und fehlerhafte Handlungsschritte zu korrigieren, bevor sie sich auf das System auswirken.

In diesem Kontext sind aus der Fachliteratur unterschiedliche Bemühungen bekannt, den Begriff „**Menschliche Zuverlässigkeit**“ zu definieren.

Bubb (1992) / 10 / definiert z.B.:

„ Die menschliche Zuverlässigkeit ist die Fähigkeit des Menschen, eine Aufgabe unter vorgegebenen Bedingungen für ein gegebenes Zeitintervall im Akzeptanzbereich durchzuführen.“

Bartsch (2004) / 11 / versteht unter „Menschlicher Zuverlässigkeit“

„ 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 eine Fehlerakzeptanzbereich beachtet werden.“

Beide Definitionen haben den gleichen Ansatz und sind inhaltlich weitgehend übereinstimmend. Bartsch / 11 / erweitert die Definition von Bubb / 10 / allerdings um die Benennung wesentlicher Randbedingungen. Er vertritt außerdem die Auffassung, dass sich die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ nicht allein über eine lineare Beziehung mathematisch bestimmen lässt.

Bubb sieht hier z.B. einen Weg, über die Bestimmung der ‚**Menschlichen Fehlerwahrscheinlichkeit**‘ (Human Error Probability: HEP / Gl. 1)

$$\text{HEP} = \frac{\text{Anzahl der fehlerhaft durchgeführten Aufgaben des Typs } i}{\text{Anzahl aller durchgeführten Aufgaben des Typs } i} \quad \text{Gl. 1}$$

die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ (Gl. 2) mathematisch zu bestimmen. Danach ergibt sich die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ (Human Reliability Probability: HRP) über die Beziehung:

$$\text{HRP} = 1 - \text{HEP} \quad \text{Gl. 2}$$

Die Interpretation der Ergebnisse aus dieser Beziehung sagt dann aus: je mehr die Wahrscheinlichkeit des menschlichen Fehlers gegen Null (0) geht, desto mehr erhöht sich die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘.

Aus der Sicht des Autors ist die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ ein viel zu komplexes und dynamisches Gebilde, als dass es sich allein durch eine solche mathematische Beziehung ausreichend bestimmen ließe.

Auch aus der Sicht anderer Ebenen ist dieser zugeordnete Aussagewert nach Auffassung des Autors umstritten:

1. Hier wird ganz offensichtlich ‚**Fehler**‘ mit tatsächlicher ‚**Ursache**‘ gleichgesetzt bzw. verwechselt.
Zwischen den eigentlichen ‚Ursachen‘ einer möglichen unterschiedlichen ‚Menschlichen Zuverlässigkeit‘ (Aufgabenstellung, Ausführungs- und Arbeitsbedingungen, menschliche Dispositionsfaktoren u.a.) und den ‚Fehlern‘

bzw. der ‚Fehlerwahrscheinlichkeit‘ **liegt aber der für die jeweilige individuelle menschliche Zuverlässigkeit so bedeutsame ‚Interiorisationsprozess‘**. Über diesen Interiorisationsprozess sieht der Autor eine **größere ‚Nähe‘ zur ‚Menschlichen Zuverlässigkeit‘** als zur ‚Menschlichen Fehlerwahrscheinlichkeit‘.

Menschliche Fehler bzw. die ‚Menschliche Fehlerwahrscheinlichkeit‘ ist im systemwissenschaftlichen Sinne (z.B. Black-Box-Methode) als ein ‚Ergebnis‘ bzw. ‚Output‘ der vorgelagerten Prozesse zu verstehen.

Man kommt also der ‚Menschlichen Zuverlässigkeit‘ näher, wenn man sich mit den **dominanten Merkmalen dieses Interiorisationsprozesses** befasst. Hier sind allerdings keine linearen mathematischen Zusammenhänge zu erwarten. An späterer Stelle wird der Autor nochmals darauf Bezug nehmen.

2. Man kann bis zum heutigen Tag nicht davon ausgehen, dass es in der Fachliteratur eine einheitliche und überzeugende Auffassung über die Möglichkeiten der Klassifizierung der menschlichen Fehler gibt (vgl. Rigby, 1970; Meister, 1977; Rasmussen, 1981; Hacker, 1984; Rouse & Rouse, 1988; Zimolong, 1990).

Es können auftretens- und verrichtungsorientierte, ursachenorientierte, kombinierte Methoden sein. Menschliche Fehler können stochastischen oder deterministischen Charakter haben. Außerdem könnte eine Klassifizierung danach erfolgen, ob menschliche Fehler zufällig, sporadisch oder systematisch auftreten.

Welchen Bezug gibt es dann dabei zum erwähnten „Akzeptanzbereich“, wenn wir von einem **„Menschenrecht auf Fehler“** ausgehen (Bartsch, 2004 / 12 / , Wilpert, 2001) / 8 / ?

Welche Faktoren im Sinne von Bartsch / 11 / dabei die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ hauptsächlich beeinflussen können, zeigt die Abb. 5:



Abb. 5: Einflussfaktoren auf die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘

Das in diesem Kontext ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ sowohl als Charaktereigenschaft / -merkmal als auch als **Leistungseigenschaft / -merkmal** verstanden werden kann, zeigt vereinfacht die Abb. 6:

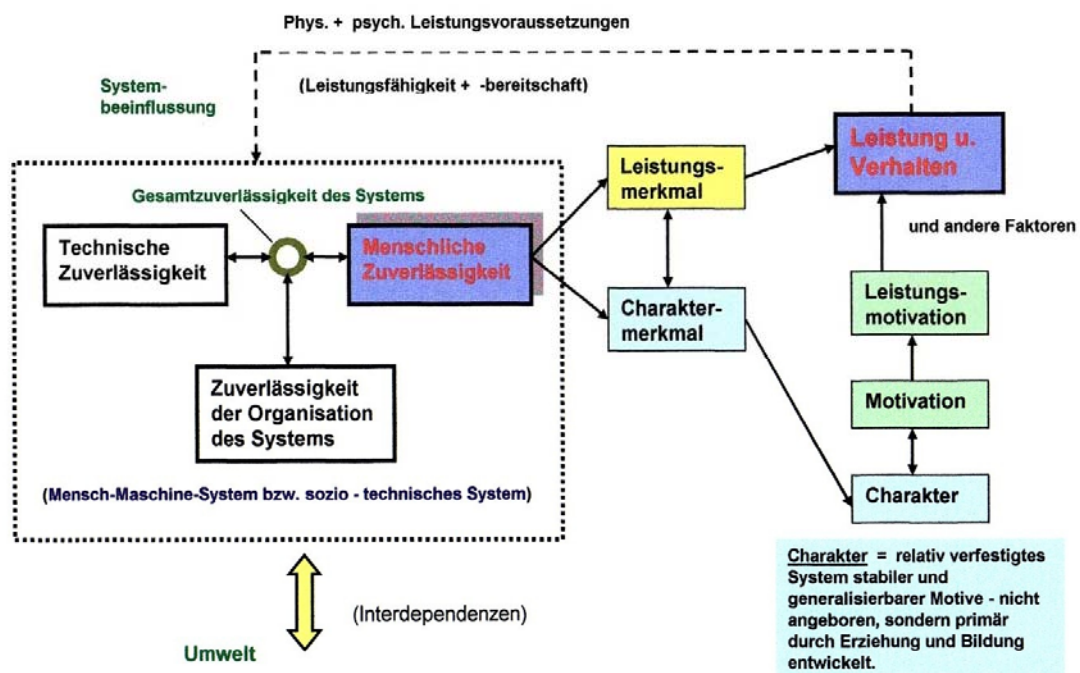


Bild 6: „Menschliche Zuverlässigkeit“ als Leistungs- und Charaktermerkmal

Der Autor geht davon aus, dass zumindest die in der Abb. 5 dargestellten Korrelationen durch systematische Untersuchungen verifiziert werden müssen. Das wurde seit mehreren Jahren am Lehrstuhl Arbeitswissenschaft der BTU Cottbus unter seiner Leitung am Beispiel unterschiedlicher Zielgruppen (z.B. Piloten, Chirurgen, Führungskräfte in mittleren und großen Unternehmen) so ‚angefasst‘ und durchgeführt.

Teilergebnisse liegen bereits vor, die in Form von Dissertationen oder anderen Publikationen nachgelesen werden können.

Natürlich ist dabei ein hoher interdisziplinärer Anspruch gestellt, der der großen Komplexität dieses Gegenstandes gerecht werden kann.

6. Verhalten im Flug- Arbeitssystem

Die vorangestellten Positionen und Ausführungen sollen nachfolgend beispielhaft auf die *Problemstellung der Flugsicherheit* bezogen werden.

Dabei wird davon ausgegangen, dass die Aufgabenerfüllung in Flug-Arbeitssystemen insbesondere von der Art und Weise der Aufgabenbewältigung abhängt.

Es stellt sich u.a. in diesem Zusammenhang die Frage, *welches Verhalten des Arbeitssystems erwartet werden kann*. Charakteristische Systemmerkmale sind dafür (Dorn / Bartsch, 2004) / 13 /:

- Das Arbeitssystem existiert real und ist relativ offen zu seiner Umgebung. Es stellt sich als ein natürliches Gebilde dar und folgt den wissenschaftlich bekannten Naturbeschreibungen in ihren Gültigkeitsbereichen,
- Das Arbeitssystem bildet ein Netzwerk von Interaktionen mit und innerhalb seiner Elemente und seiner Umgebung,

- Ein Hauptelement des Arbeitssystems ist das Betriebsmittel: es ist ein technisches Produkt, das weitgehend durch Linearität geprägt ist (Eilenberger, 1990)/ 18 /. Es arbeitet funktionell und das Verhalten ist generell durch Kausalketten beschreib- und vorhersagbar,
- Ein weiteres Hauptelement des Arbeitssystems ist der Mensch: ein natürliches Gebilde, das durch Nichtlinearität geprägt ist. Der Mensch arbeitet zwar ‚zielgerichtet‘ (Bullinger, 1997), sein Verhalten ist jedoch nur fraktal durch hochdimensionale, komplexe Kausalgewebe beschreibbar (Eilenberger, 1990, S. 80). Eine wesentliche Orientierungshilfe für die Beschreibung des Verhaltens des Menschen ist u.a. auch das angesprochene ‚*Menschenbild*‘.

Nach Gerok, 1990 / 14 /, sind damit die Voraussetzungen gegeben, dass ein System trotz der Kenntnis der Ausgangsbedingungen nicht mehr uneingeschränkt prognostizierbar ist. **Prozesse, die nach den oben beschriebenen Bedingungen ablaufen, sind demnach mathematisch mit Hilfe einer linearen Differentialgleichung nicht mehr beschreibbar.**

Für die vorliegende Problemstellung kann deshalb davon ausgegangen werden, dass ‚**Ordnung**‘ und ‚**Chaos**‘ entsprechende Verhaltenselemente dieses Arbeitssystems darstellen.

Praktische Untersuchungsergebnisse aus der Verkehrsfluffahrt können diese Feststellung belegen.

Für eine weitere Problembearbeitung wird deshalb davon ausgegangen, dass die Flugbesatzung als „kollektives Konstrukt“ aus den jeweiligen Arbeitsplatzinhabern des Verkehrsflugzeuges aufgefasst wird.

Dabei kann davon ausgegangen werden, dass das komplexe, natürliche Verhalten der Flugbesatzung u.a. das Ziel hat, den Schutz¹⁾ des Arbeitssystems zu gewährleisten.

Im Sinne des formulierten Menschenbildes (...“...das zur Regulierung der eigenen Beziehungen mit der Umwelt und zur Selbstregulation fähig ist“) kann also dann kein Schutz des Arbeitssystems vor Bedrohung erfolgen, *wenn sich die Flugzeugbesatzung in einem Zustand befindet, in dem sie nicht mehr zur Regulation der eigenen Beziehungen mit der Umwelt und zur Selbstregulation fähig ist.*

Nach dieser Prämisse kann ein zumindest hypothetisch – theoretischer Ansatz entwickelt werden, der folgende Positionen berücksichtigt:

- Ein bestimmter Grad an innerer Selbstorganisation bzw. das rückgekoppelte Regulationsverhalten der Flugbesatzung auf der Grundlage limitierter Ressourcen,
- Den Fluss („Interiorisationsstrom“ / s. Abb. 3) an kollektiven Interiorisationsgrößen als Maß des hier gemeinschaftlichen Belastungs – Beanspruchungs – Niveaus der Crew. Er bildet die ‚**Ursache**‘ der **Regulationsaktivität** der Flugbesatzung,
- Das Maß an dosierter **Agilität**, d.h., „**Beweglichkeit**“ der Flugbesatzung, ein anderes Niveau an Regulationsaktivität in das System einzubringen und wirksam werden zu lassen (s. Def. ‚Menschliche Zuverlässigkeit“ von Bartsch).

1) Nach DIN 31004, Teil 1, wird als ‚Schutz‘ die Verringerung des Risikos durch geeignete Vorkehrungen verstanden, die entweder die Eintrittshäufigkeit oder den Umfang des Schadens oder beides verringert. Risiko wird durch die Häufigkeit (Wahrscheinlichkeit des Auftretens) und durch den zu erwartenden Schadensumfang (Tragweite) beschrieben.

Mit der Abb.7 wird sehr vereinfacht ein solches rückgekoppelte ‚Subsystem Flugbesatzung‘ hypothetisch dargestellt:

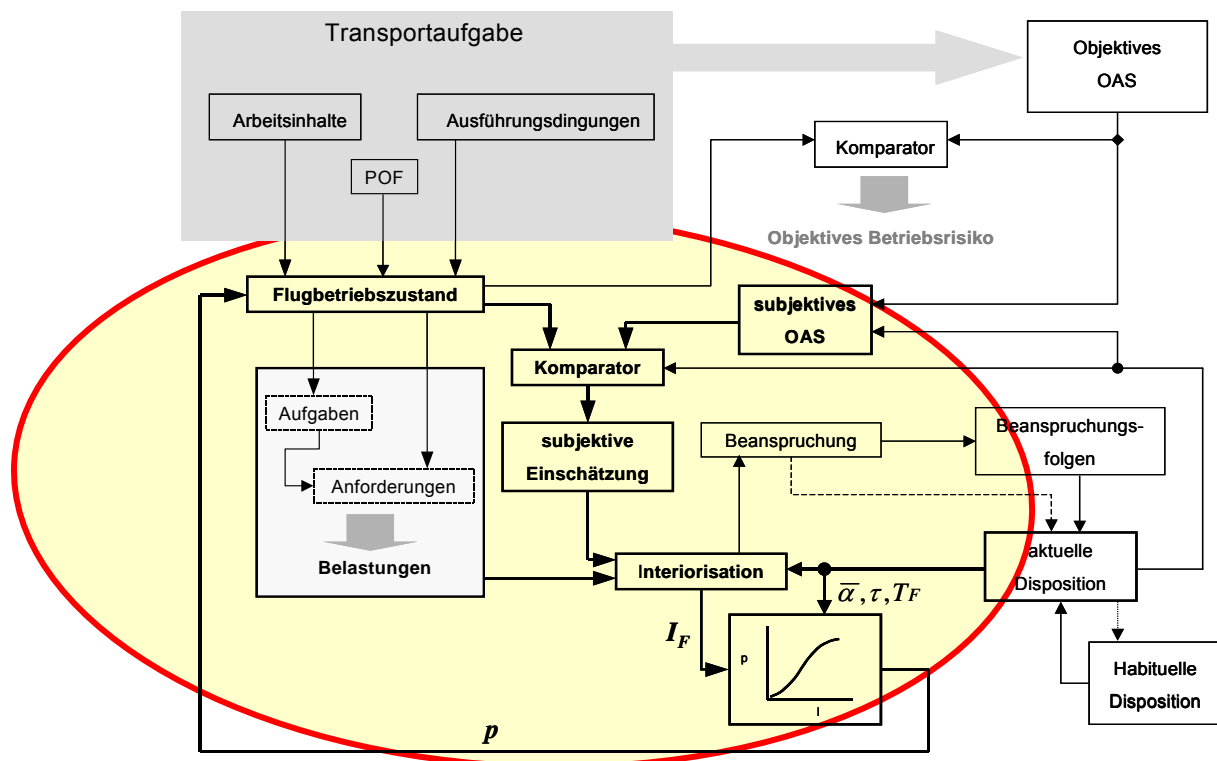


Abb. 7: Hypothetisches rückgekoppelte ‚Subsystem Flugbesatzung‘

In der 1. Phase der weiteren Betrachtung werden, stark vereinfachend, nur die Elemente aus der Abb. 7 herausgegriffen, die für die Bestimmung eines möglichen mathematischen Modells besonders relevant sind.

Die Arbeitsplatzinhaber erhalten Informationen aus dem jeweiligen *Flugbetriebszustand*. Die dadurch gewonnenen Wahrnehmungen werden in einem kognitiven Prozess durch den sicherheitsorientierten Vergleich des objektiven Betriebsrisikos mit einem entsprechenden subjektiven operationellen Abbildungssystem (OAS) verarbeitet. Mögliche ‚Wahrnehmungsverzerrungen‘ bleiben vorerst unberücksichtigt.

Das Ergebnis daraus führt zu einer subjektiven Einschätzung des aktuellen objektiven Gefährdungspotentials (Hacker, 1998) / 15 /.

Die subjektive Einstellung des Menschen zum Risiko (mit Bezug zur Ausprägung seines Gefahren- und Sicherheitsbewusstseins) ist ein wichtiger *Aktivierungsparameter für Schutzmaßnahmen*, bei dem Erkenntnisse aus der Risikokompensationstheorie berücksichtigt werden müssen (Bubb, 1992).

Entscheidungen, Selektionen und Aktivierung effektiv wirksamer Handlungen zum Schutz vor Gefahren werden als ‚Schutzmaßnahmen‘ verstanden. Entsprechende Schutzmaßnahmen werden mit der Crew abgestimmt. Die Handlungsabstimmung dazu (Multi Crew Coordination und Crew Ressourcenmanagement) stellt dabei ein wesentliches Element der inneren Selbstorganisation des Arbeitssystems dar. Die dafür erforderliche Zeit geht als entsprechende Reaktionszeit der Flugbesatzung in das Systemverhalten ein.

Die sich aus den Betriebsphasen des Arbeitssystems (Phases of Flight – POF, s. ATA iSpec 2200), den jeweiligen Arbeitsinhalten und den zugehörigen sonstigen Arbeitsbedingungen, sich ergebenden Arbeitsanforderungen führen zu entsprechenden Arbeits**belastungen**.

Diese Arbeitsbelastungen – gemeinsam mit der subjektiven Einschätzung des objektiven Risikos als insbesondere psychische Belastungskomponente - führen über den individuellen Interiorisationsprozess zu einem entsprechenden **Beanspruchungsniveau** (s. Abb. 3).

Der Autor geht davon aus, dass die Änderung des „Interiorisationsstromes“ die eigentliche Ursache der „Regulationsaktivität“ der Flugbesatzung (zum Schutz vor Gefährdung) darstellt.

Diese „Regulationsaktivität“ beeinflusst aber wiederum den Betriebszustand des Arbeitssystems (s. Rückkopplungsschleife in der Abb. 7).

Für den nachfolgenden Versuch, ein **mathematisches Modell** für diese Zusammenhänge zu entwickeln, sollen vorerst die Probleme der Arbeitsermüdung (Vigilanz) und Regeneration unberücksichtigt bleiben.

Es werden nach Dorn / Bartsch, 2004 / 13 / folgende Begriffe „gesetzt“:

Regulationsaktivität P_F : kollektives Maß an Entscheidungen, Selektionen und Aktivierungen von antriebsmittelbaren (vgl. Hacker, 1998, S. 70) und wirksam werdenden Handlungen bzw. Tätigkeiten zum Betrieb, Kontrolle und Schutz des Arbeitssystems im Arbeitsprozess.

Trägerkapazität T_F : Maximal mögliche Regulationsaktivität der Flugbesatzung aufgrund begrenzter Ressourcen.

Relative Regulationsaktivität p :
$$p = \frac{P_F}{T_F} \quad \text{Gl. 3}$$

Interiorisationsstrom I_F : Fluss an kollektiven Interiorisationsgrößen als Maß des hier gemeinschaftlichen Belastungs-Beanspruchungs-Niveaus der Crew. Ein zeitabhängiges Maß des „inneren Brechens“ von äußeren Belastungsfaktoren zu Beanspruchungsfolgen.

Agilität der Flugbesatzung A_F : Ableitung der relativen Regulationsaktivität nach dem Interiorisationsstrom I_F

P_0 : Niveau der relativen Regulationsaktivität im Arbeitspunkt.

Index 0 : Markierung der Ausgangsposition der Systemzustandsbetrachtung.

In Anlehnung an Abb 7 kann diese Darstellung mit der folgenden Abb 7 a untersetzt werden:

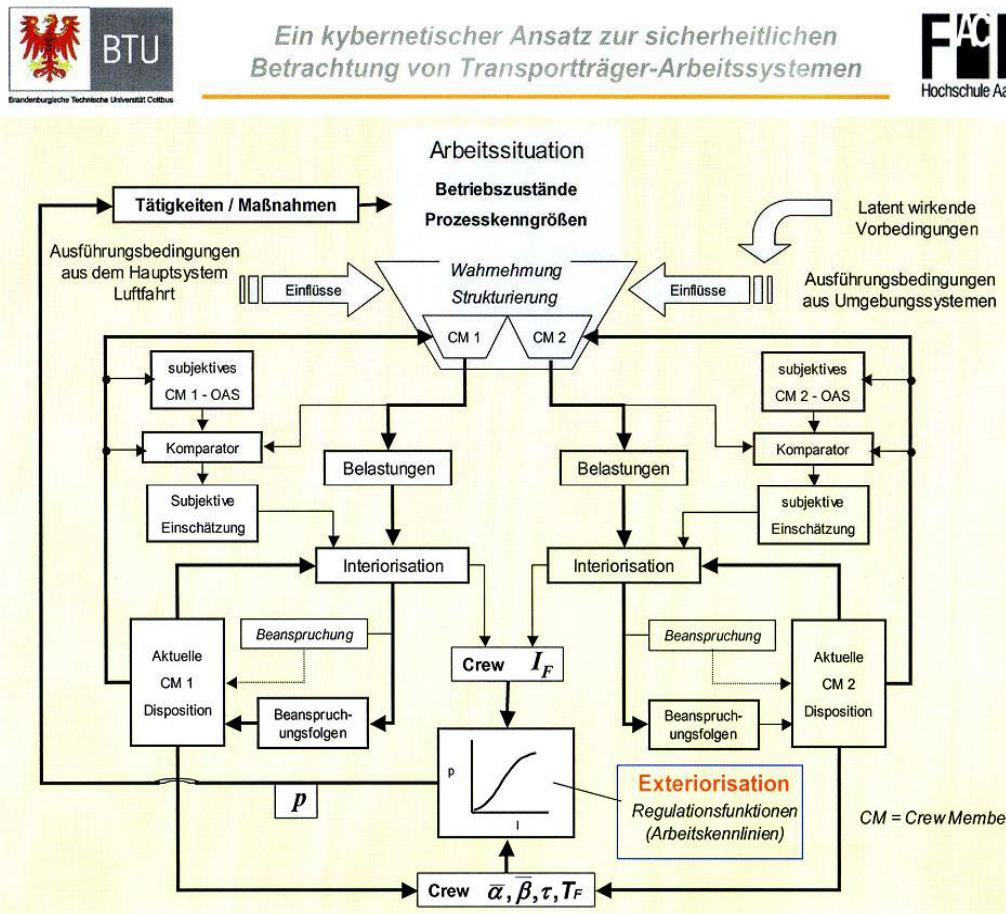


Abb 7 a: Regulationsfunktionen im Flug - Arbeitssystem

Nachfolgend soll eine Rechenvorschrift gefunden werden, die das rückgekoppelte Verhalten (die nicht mit „Grau“ hinterlegte Fläche) des dynamischen Systems nach Abb. 7 darstellen kann.

Ein dazu eingeführter Kontrollparameter $\bar{\alpha}$ soll mathematisch den Charakter des Regulationsverhaltens darstellen: er soll proportional zur bereits herrschenden relativen Regulationsaktivität und proportional zum noch zur Verfügung stehenden „Spielraum“ an relativer Regulationsaktivität sein.

Dabei ist $\bar{\alpha}$ der kontrollierende Proportionalitätsfaktor.

Damit wird die **nichtlineare Differenzialgleichung** (Blome et al., 2004) aufgestellt:

$$A_F = \frac{dp}{dl_F} = p' = \bar{\alpha} \cdot p \cdot (1 - p) \quad \text{Gl. 4}$$

Mit der Abb.8 wird die analytische Lösung dieser Gleichung 4 schematisiert gezeigt. Dabei stellt die Kennlinie den aus der flugbetrieblichen Praxis abgeleiteten, hypothetischen Verlauf der relativen Regulationsaktivität von Flugbesatzungen aufgrund entsprechender Arbeitsbelastungen dar.

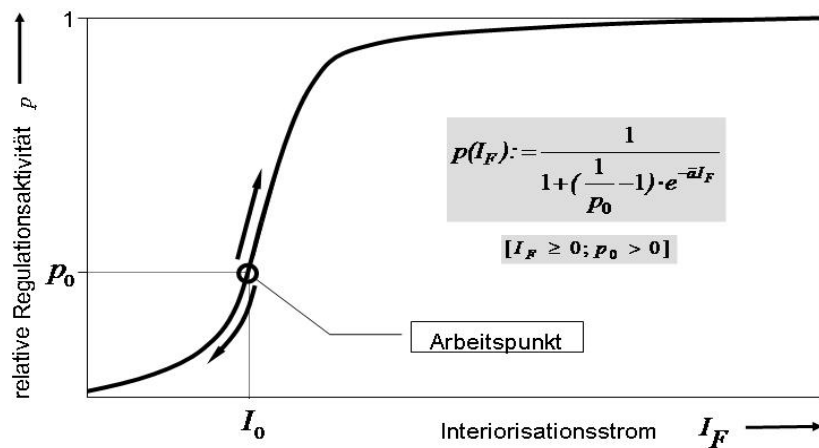


Bild 8: Relative Regulationsaktivität der Flugbesatzung als Funktion des Interiorisationsstromes (schematisierte, analytische Lösung der DGL 4.)

Das Verhalten des Subsystems kann nun, ausgehend von einem Anfangszustand p_0 (Arbeitspunkt), über der Zunahme bzw. Abnahme des Interiorisationsstromes betrachtet werden.

Dabei können die Aktivitäten von Regulationen zur Bedienung bzw. Kontrolle – damit zum Schutz des Arbeitssystems – als antriebsmittelbare Handlungen verstanden werden.

Der tatsächliche Verlauf ihres Betrages über dem Interiorisationsstrom ist von dem aktuellen Fluss an Interiorisationsgrößen und dem kollektiven Leistungs- und Charaktermerkmal der Crew abhängig. Letzteres wird in der Gl.4 als Verstärkungsparameter $\bar{\alpha}$ bezeichnet.

Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Agilität der Flugbesatzung im Bereich kleiner Interiorisationsströme gering (z.B. durch Lethargie) ist, sie nimmt im Bereich der Annäherung an die Trägerkapazität T_F wieder ab (Saturation).

Wenn nun Aussagen zum **Stabilitätsverhalten** von rückgekoppelten Systemen möglich sein sollen, dann müssen zusätzlich die Reaktionszeiten der Crew (die durch Informationsaufnahme und –verarbeitung und dadurch bedingter kognitiver Prozesse und inneren Handlungsabstimmungen entstehen) berücksichtigt werden.

Dazu kann das in der Abb. 7 abgebildete System in diskreter Form nach Abb. 9 beschrieben werden:

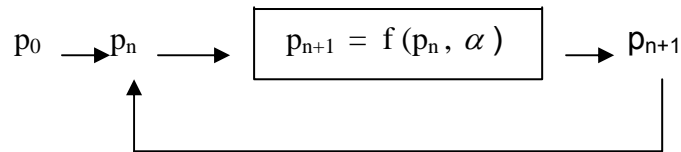


Abb. 9: Rückkopplungsprozess des Subsystems ‚Flugbesatzung‘

Mit

$$p' = \frac{\Delta p}{\Delta I_F} + O(\Delta I_F^2) \quad \text{Gl. 4 a}$$

lautet die diskretisierte Form der Gleichung 4 unter Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung der Gleichung 4.a :

$$A_F = p' = \frac{\Delta p}{\Delta I_F} = \frac{p_{n+1} - p_n}{I_{F,n+1} - I_{F,n}} = \bar{\alpha} \cdot p_n \cdot (1 - p_n) \quad \text{Gl. 4b}$$

$$\Rightarrow p_{n+1} = p_n + \left[\bar{\alpha} \cdot p_n \cdot (1 - p_n) \right] \cdot \Delta I_F \quad \text{Gl. 4c}$$

Zur Berücksichtigung der endlichen Informationsverarbeitung der Flugbesatzung wird die Reaktionszeit durch eine schrittweise Lösung der Gleichung GL. 4c erfasst. Nach Blome et al. (2004) kann die numerische Schrittweise eingeführt werden:

$$\Delta I_F = \frac{dI_F}{dt} \cdot \Delta t + O(\Delta t^2) \quad \text{Gl. 4d}$$

Mit der Reaktionszeit $\Delta t = \tau$ und der Vernachlässigung von höheren Gliedern der Gleichung Gl.4d wird Gleichung Gl.4c zu:

$$p_{n+1} = p_n + \left[\bar{\alpha} \cdot p_n \cdot (1 - p_n) \right] \cdot \frac{dI_F}{dt} \cdot \tau \quad \text{Gl. 4e}$$

Darin bedeutet $\frac{dI_F}{dt}$ den Zuwachs des Interiorisationsstromes pro Zeiteinheit, also eine hauptsächlich durch äußere Betriebsbedingungen, innere Umfeldbedingungen und durch das subjektive Einschätzungsvermögen eines objektiven Risikos gesteuerte Variable.

Es wird nun der folgende Kontrollparameter definiert:

$$\alpha := \bar{\alpha} \cdot \Delta I_F = \bar{\alpha} \cdot \frac{dI_F}{dt} \cdot \tau \quad \text{Gl. 4f}$$

Damit können nun die wesentlichen Einflussgrößen zur Beschreibung des Verhaltens der Flugbesatzung in das mathematische Modell zur Kennlinienbestimmung eingeführt werden. Dazu gehören:

- Die Systembelastung über der Änderung des Interiorisationsstromes pro Zeiteinheit $\frac{dI_F}{dt}$,

- Die Charakter- und Leistungsmerkmale der Crew über $\bar{\alpha}$,
- Die Reaktionszeit der Flugbesatzung über τ .

Beginnend bei einem aktuellen Arbeitspunkt im Prozess der Aufgabenbewältigung steuert α die Steigung der Kennlinie zum Erreichen eines neuen Niveaus an (relativer) Regulationsaktivität. Der Betrag des Kontrollparameters und damit die Steigung der Kennlinie wächst in erster Näherung mit dem Grad an Systembelastung. Er ist direkt proportional zur Reaktionszeit der Crew und ihren Leistungs- und Charaktermerkmalen.

Damit enthalten alle oben aufgeführten Punkte die wesentlichen Einflussfaktoren auf die ‚Menschliche Zuverlässigkeit‘ nach Abb. 5.

Wird die Gleichung Gl. 4f in die Gleichung Gl. 4e, dann folgt:

$$P_{n+1} = p_n + [\alpha \cdot p_n \cdot (1 - p_n)] \quad \text{Gl. 4 g}$$

Diese Gleichung entspricht der erstmals von Verhulst (1838)/ 16 / zur Untersuchung von Populationsdynamiken eingeführten Rekursionsform der Gleichung Gl. 4. In der Fachliteratur bezeichnet man diese nichtlineare Differentialgleichung als *Logistische Gleichung*.

Unter Nutzung eines normalen Tabellenkalkulationsprogrammes konnten numerische Rechnungen zur Lösung der Gleichung Gl.4g für unterschiedliche Werte des Kontrollparameters α durchgeführt werden.

Im Sinne einer **Interpretation** kann festgestellt werden:

Liegt ein stabiles Systemverhalten vor, dann strebt die diskretisierte Kurve $p = f(I_F, \alpha)$ asymptotisch gegen den Grenzwert $p_\infty \rightarrow 1$.

Der Kontrollparameter α bestimmt im Arbeitspunkt die Anfangssteigung p_0' entlang der Kennlinie und steuert damit das Annäherungsverhalten des Funktionswertes p an seinen Grenzwert und das Stabilitätsverhalten mit zunehmendem Interiorisationsstrom.

Dabei kann sich der Betrag von α aufgrund der Charaktereigenschaft der Flugbesatzung, oder durch eine geänderte Reaktionszeit oder durch einen geänderten Gradienten des Interiorisationsstromes oder durch alle drei Komponenten ergeben.

Dabei können grundsätzlich **drei** verschiedene Systemverhaltensformen bestimmt werden, davon sind gegenwärtig allerdings **nur zwei klassifizierbar**. Beispielphaft werden sie in den folgenden Abbildungen gezeigt:

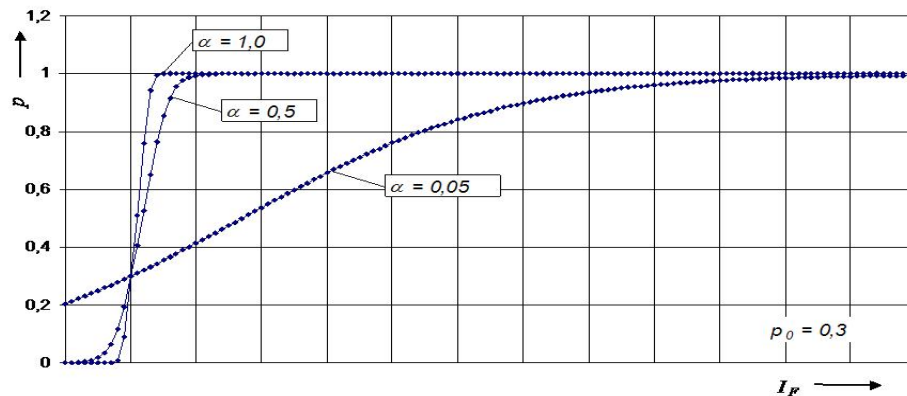


Abb. 9: Relative Regulationsaktivität in Abhängigkeit des Interiorisationsstromes für $\alpha \leq 1$

Bei $\alpha \leq 1$ liegt ein stabiles Systemverhalten vor. Die relative Regulationsaktivität stellt sich mit steigendem Interiorisationsstrom entlang der Kennlinie ohne Oszillationen auf den Grenzwert ein. Das Erreichen von $p = 1$ entspricht einer kompletten Ausschöpfung der zur Verfügung stehenden Trägerkapazität des Systems.

Allerdings ist hiermit keine Aussage über das objektive Gefährdungsrisiko verbunden. Steigt der Interiorisationsstrom weiter, dann drückt das nur aus, dass die Flugbesatzung ihre maximal mögliche Regulationsfähigkeit tatsächlich einsetzt. Eine mögliche Überbeanspruchung von Leistungsgrenzen kann durch ein sinnvolles Ressourcenmanagement vermieden werden.

Allerdings könnte auch die zur Verfügung stehende Regulationsaktivität nicht ausreichend sein, den Flug sicher zu beenden.

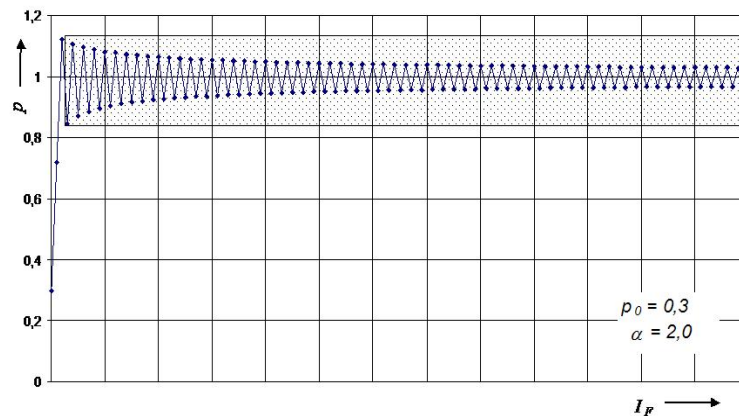


Abb.10: Relative Regulationsaktivität in Abhängigkeit des Interiorisationsstromes für $1 < \alpha \leq 2$

Bei dieser Situation verhält sich das System aus theoretischer Sicht mit zunehmendem Interiorisationsstrom dynamisch stabil.

Mit der nachfolgenden Abb.11 wird in Form einer ‚Ausschnittsvergrößerung‘ der Abb.10 gezeigt, dass der Kennlinienverlauf die Trägerkapazität des Systems schon beim ersten Erreichen von $p = 1$ übersteigt.



Abb. 11: Ausschnittsvergrößerung der Abb. 10

Bei diesem Punkt kann aus Gründen des Erreichens des Gültigkeitsbereiches des mathematischen Modells das Crewverhalten nicht mehr interpretiert werden.

Das Verhalten der Flugbesatzung ist dann nicht mehr vorhersagbar !

Mit der Abb.12 werden diese Interpretationen nochmals zusammenfassend dargestellt:

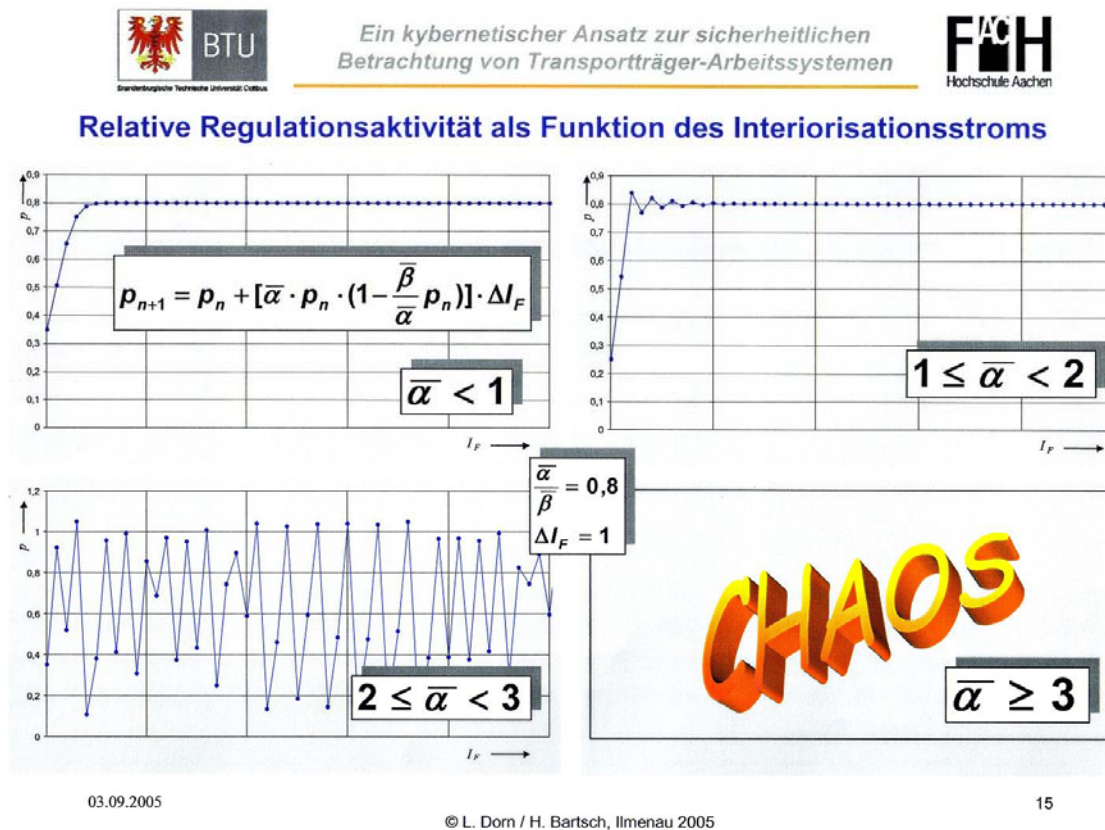


Abb. 12 Relative Regulationsaktivität als Funktion des Interiorisationsstromes

Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Beitrag möchte der Autor darauf aufmerksam machen, dass es offensichtlich einen engen Zusammenhang zwischen der ‚Menschlichen Zuverlässigkeit‘ und effektiven, sicheren und humanen Flug - Arbeitssystemen vor allem aus der Sicht der Flugsicherheit gibt.

Trotz oder gerade wegen der zunehmenden Cockpit-Automatisierung, der rasanten Erhöhung der Luftverkehrsdichte, der verschärften Wettbewerbsbedingungen und anderer sicherheitsrelevanter Faktoren im Flugverkehr steht in diesem Beitrag vor allem der Mensch mit seinen Fähigkeiten, aber auch Schwächen und Leistungsgrenzen in besonders kritischer Betrachtung.

Zunehmende Unfallzahlen von Flugzeugen, die durch menschliche Faktoren verursacht wurden, geben hierfür alarmierende Signale.

Deshalb ist es notwendig, sich dieser Problematik in Wissenschaft und Praxis in aller Konsequenz zu stellen und hier relativ schnell Lösungen zu finden, die dieses ständig wachsende Gefahrenrisiko komplex und umfassend erkennt und deshalb darauf mit geeigneten Maßnahmen reagieren kann.

Welchen Anteil dabei u.a. die Arbeitswissenschaft / Ergonomie leisten könnte, das sollte in diesem Beitrag angedeutet werden.

Wenn es uns also darum geht, vor allem über eine prospektive Arbeitsgestaltung das Luftverkehrsmanagement und damit gleichzeitig die Flugsicherheit zu verbessern, damit Anwender und Kunden eine höhere Zufriedenheit erreichen, dann sollten wir uns in Zukunft auch im Rahmen der wissenschaftlichen Forschung dieser Komplexität stellen, tatsächlich interdisziplinär denken und arbeiten lernen und somit einen wertvollen Beitrag zur besseren Befähigung des flugbestimmenden und flugbegleitenden Personals zu erreichen.

Der vorliegende Beitrag hätte seinen Nutzen, wenn er zum weiteren Nachdenken darüber anregen könnte.

Literatur:

- / 1 / Hanke, H., 2003, Einflüsse digitaler Glas-Cockpits von Verkehrsflugzeugen auf das Qualifikationsprofil der Piloten, Dissertation, TU Chemnitz,
- / 2 / Faber, G., Pilotenausbildung an Hochschulen, Vereinigung Cockpit e.V., Frankfurt/Main, Darmstadt, Chemnitz, Oktober 1994,
- / 3 / Luczak, H., 1992, Arbeitswissenschaft, Springer Verlag, Berlin, New York, Heidelberg, Lehrbuch, ISBN 3-540-54636-7
- / 4 / Rohmert, W., 1983, Formen menschlicher Arbeit, in: Rohmert / Rutenfranz, (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie, 3. neu bearbeitete Auflage, Stuttgart, New York,
- / 5 / Schmidtke, H., 1993, Ergonomie, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 3. Auflage ISBN 3-446-16440-5
- / 6 / Kornwachs, K., 2001, Arbeit der Technik – Technik der Arbeit, Forum der Forschung, Wissenschaftsmagazin der BTU Cottbus, 6. Jg., Heft 12, Juli 2001, 90 – 103,
- / 7 / Bartsch, H., 1997, Ergonomisches Gestaltungsniveau von Produkten und Prozessen – ein wesentlicher Faktor für Qualität, Effizienz, Humanität und Ökologie, Forum der Forschung, Wissenschaftsmagazin der BTU Cottbus, 3. Jg., Heft 5.2, September 1997,
- / 8 / Wilpert, B., 2001, Der Mensch im Kontext technischer Systeme, in: TÜV Saarland Foundation (Ed.), World Congress Safety of Modern Technical Systeme, Saarbrücken, 12.-14.09.2001,
- / 9 / Bartsch, H., 2001, Berücksichtigung interkultureller Aspekte für die Sicherheitsrelevanz von Produktionsanlagen, in: TÜV Saarland Foundation (Ed.), World Congress Safety of Modern Technical Systeme, Saarbrücken, 12.-14.09.2001, s. 455-459, Köln, TÜV-Verlag,
- / 10 / Bubb, H., 1992, Menschliche Zuverlässigkeit, Sicherheit und Risikobeurteilung, Zeitschrift Arbeitswissenschaft, Band 48, Heft 1,
- / 11 / Bartsch, H., 2004, Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen, Hrsg.: Landau/Pressel, Gentner Verlag Stuttgart, ISBN 3-87247-617-3,
- / 12 / Bartsch, H., 2004, Der Mensch als Gegenstand von Technologie-Wissenschaft, in: Konferenzband Internationales 4. Beckmann-Kolloquium, FH Wismar, 04.-05.06.2004, Wismar,
- / 13 / Dorn, L. / Bartsch, H., 2004, Zum Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesetzungen auf die Flugsicherheit, Konferenzband, 46. Fachausschusssitzung Anthropotechnik, DGLR, 12.-13.10.2004, Rostock-Warnemünde,
- / 14 / Gerok, W., 1990, Die gefährliche Balance zwischen Chaos und Ordnung im menschlichen Körper, in: H.v. Ditfurth & E.P. Fischer (Hrsg.), Mannheimer Forum 89/90, S.147 ff., München: Piper,
- / 15 / Hacker, W., 1998, Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten, Bern u.a. Huber,
- / 16 / Verhulst, P.F., 1838, Notice sur la loi que population suit dans son accroissement, Correspondancec Math. Et Physiques, 10 (1838), 113-121,
- / 17 / Blome, H.-J, Mertens, J. & Dorn, L., 2004, Diskussionen zum Thema der mathematischen Modellierung von natürlichem Systemverhalten, unveröffentlichte Notizen, FH Aachen,
- / 18 / Eilenberger, G., 1990, Komplexität – Ein neues Paradigma der Naturwissenschaften, in: H.v. Ditfurth & E.P. Fischer (Hrsg.), Mannheimer Forum 89/90, (S. 79 ff.), München: Piper,
- / 19 / Zimolong, B., 1990, Fehler und Zuverlässigkeit, in: C. Graf Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.) Ingenieurpsychologie (Enzyklopädie der Psychologie, Bd. D/III/2), Göttingen u.a.: Hogrefe

Verfasser: Prof. Dr. rer. oec. habil. et Dr.-Ing. et Dr.h.c. Heinz Bartsch
Seidelstrasse 7
D-18059 Rostock

(Von 1993 bis 2004 Inhaber des Lehrstuhls Arbeitswissenschaft an der BTU Cottbus und Direktor des ‚Instituts für Arbeits- und Sozialwissenschaften‘ an der Fakultät Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen),

Tel./ Fax: 0381-2003072 ;
Handy: 0171-3805595;
HeinzBartsch@web.de
<http://www.heinz-bartsch.de>