



# TUM School of Education

Professur für Technikgeschichte

## Die historische Entwicklung der Cockpit- Instrumentierungen von Verkehrsflugzeugen

Mario Josef Gerhard Schuivens

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät TUM School of Education der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ. Prof. Dr. A. Noschka-Roos

Prüfer der Dissertation: 1. Univ. Prof. Dr. K. Zachmann

2. apl. Prof. Dr. H. Trischler  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Die Dissertation wurde am 08. April 2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät TUM School of Education am 07. September 2015 angenommen.



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
Einführung in das Thema.....	1
Der Forschungsstand .....	4
Erkenntnisinteresse.....	12
Abgrenzungen.....	17
Periodisierung und Aufbau der Arbeit.....	20
Quellenbasis.....	22
<b>Kapitel 1 – Der Weg in die Luft</b> .....	<b>27</b>
Entwicklungen und deren Erfinder.....	27
Die Wrights – Vorbilder der kommenden Flugzeugbauer .....	30
Die ersten Instrumentierungen .....	32
Die ersten Cockpits.....	43
<i>Anordnung und Anzeigen von Flugzeuginstrumenten</i> .....	43
<i>Die Steuerung</i> .....	47
<i>Das Betriebsumfeld des Piloten</i> .....	53
<i>Die Piloten</i> .....	55
Anfänglicher Luftverkehr.....	58
<i>Rechts oder Links?</i> .....	59
<i>Verkehrsregeln</i> .....	60
<i>Kommunikation über Distanzen</i> .....	62
Gesellschaft und Forschung .....	64
Automatische Flugsteuerungen.....	68
<i>Sensoren als Grundlage der automatischen Flugsteuerung</i> .....	69
<i>Elmer Sperry – Pionier in der Flugzeugkreiselentwicklung</i> .....	71
<i>Entwicklungen von Kreiselinstrumenten in Deutschland</i> .....	72
Vom Parcours zum Streckenflug .....	75

---

<b>Kapitel 2 – Der Erste Weltkrieg .....</b>	<b>79</b>
Das Flugzeug als Kriegsgerät .....	79
Forschung während des Krieges .....	83
Mindestausrüstung und Regularien .....	84
Die Linksplatzrunde als Standard .....	85
Die Kommunikation zum Boden.....	87
Instrumentenentwicklung während des Ersten Weltkriegs .....	90
Britische und deutsche Großflugzeuge .....	91
Lessons learned – Die Transformation des Flugzeugs.....	94
 <b>Kapitel 3 – Zwischen den Kriegen .....</b>	 <b>97</b>
Ziviler Luftverkehr nach dem Krieg.....	98
<i>Anfänge</i> .....	98
<i>Die Luftfahrtforschung als Antrieb</i> .....	100
<i>Der Wiederaufbau der Luftfahrtindustrie</i> .....	102
<i>Die Postflieger</i> .....	103
<i>Die Flugboote</i> .....	106
<i>Drei Triebwerke</i> .....	107
Die Anfänge des Crew Resource Management .....	111
<i>Sicherheit und die Ergonomie im Cockpit</i> .....	111
<i>Eigentümer und Piloten</i> .....	113
<i>Geld und Sicherheit</i> .....	116
<i>Zwei-Piloten Besatzungen</i> .....	118
Der Flug nach Instrumenten.....	120
<i>Streckennavigation ohne Sicht – Die Funkpeilung</i> .....	120
<i>Nacht, Wolken und Nebel</i> .....	126
<i>Die erste Landung nach Instrumenten</i> .....	131
<i>Mehr und bessere Instrumente</i> .....	134
<i>The „Basic Six“</i> .....	138
Funknavigations- und Kommunikationseinrichtungen .....	141
<i>Einfluss auf das Cockpit?</i> .....	141
<i>Flächennavigation</i> .....	142
<i>Landehilfen für schlechte Sicht</i> .....	144
<i>Funkkommunikation nach dem Krieg</i> .....	147

---

Der Langstreckenflug .....	150
<i>Pionierleistungen im Langstreckenflug</i> .....	150
<i>Von der Kursregelung zum Autopiloten</i> .....	151
<i>Douglas kommerzieller Erfolg</i> .....	152
Das Cockpit .....	156
<i>Vom offenen Cockpit zum „Front Office“</i> .....	156
<i>Fortlaufende Innovationen – der Weg zum Standard</i> .....	162
<i>Der Cockpitentwurf</i> .....	167
Rückblick auf die erste Phase des zivilen Flugverkehrs.....	170
<b>Kapitel 4 – Der Zweite Weltkrieg .....</b>	<b>173</b>
Triebwerkssteuerung und -überwachung .....	174
Nationale Unterschiede im Cockpitdesign.....	175
Steigende Flugleistungen und komplexere Cockpits.....	177
Neue Funknavigationssysteme .....	180
Fokussierung auf die Flugbesatzung .....	182
<b>Kapitel 5 – Wiederaufbau des Zivilluftverkehrs.....</b>	<b>185</b>
Neue Flugzeugentwicklungen .....	186
Flightdecks der ersten Passagierjets.....	189
Human Factors .....	192
<i>Ein neuer Schwerpunkt in der Luftfahrt</i> .....	192
<i>Ergonomische Faktoren</i> .....	193
<i>Human Error</i> .....	194
<i>Schnittstelle zwischen Pilot und Flugzeug</i> .....	196
<i>Informationen, Instrumente und Interpretation</i> .....	198
<i>Wie viele Piloten werden benötigt?</i> .....	201
<i>Entwurf des Flight Decks</i> .....	206
<i>Der Wandel der Rolle des Piloten</i> .....	209
Neuerungen in der Flugführung.....	212
<i>Neue Wege in der Instrumentenanordnung</i> .....	212
<i>Flächennavigation</i> .....	218
<i>Die Kontrolle der Flugbahn</i> .....	221
<i>Automatische Landungen</i> .....	226

---

<i>Welche Instrumente wurden benötigt?</i> .....	228
Lessons Learned – Unfälle als Innovationsmotor .....	229
<i>Unfallquelle: Flight Deck</i> .....	230
<i>Der Einfluss von Unfällen auf die Instrumentierung</i> .....	232
Organisationen und Behörden.....	233
<i>Die Internationale Zivile Luftfahrtorganisation (ICAO)</i> .....	234
<i>Die Federal Aviation Administration (FAA)</i> .....	238
<i>Das Luftfahrt-Bundesamt (LBA)</i> .....	240
<i>Die International Air Transport Association (IATA)</i> .....	242
<i>Die Rolle der Organisationen und Behörden</i> .....	244
<b>Kapitel 6 – Die Markteinführung der Boeing 737 .....</b>	<b>245</b>
Boeing 737 – Die Geburt einer Legende .....	245
<i>Die beginnende Dominanz der Jetairliner</i> .....	246
<i>Boeing und die Kurzstrecke</i> .....	247
<i>Neue Wege durch Innovation</i> .....	249
Lufthansa – Der Launching Operator der Boeing 737 .....	251
<i>Lufthansa und Boeing – eine lange Partnerschaft</i> .....	251
<i>Der Vertrag 127 – Die Anforderungen der Lufthansa</i> .....	254
Der Kunde als Innovator .....	259
<i>Der Vertrag 127 – Die Nachwirkungen</i> .....	262
<i>Autopilot und Auto-Throttle</i> .....	263
<i>Das Instrumentenpanel Design</i> .....	266
<i>Die Anordnung der Instrumente</i> .....	269
<i>Ein neues ADF für bessere Handhabung</i> .....	276
<i>Master Caution</i> .....	277
Der Einsatz im Linienflugdienst.....	279
Lufthansa und Boeing – Lead User und der Innovator .....	281
<b>Fazit .....</b>	<b>285</b>
Vom Cockpit zu Flight Deck .....	285
Der Weg zur Automation.....	292
Zukünftige Innovationen .....	294

---

<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>297</b>
-----------------------------------	------------

<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>321</b>
-----------------------------------	------------





---

# Einleitung

## Einführung in das Thema

Diese Arbeit befasst sich mit der historischen Entwicklung von zivilen Flugzeugcockpits. Der Schwerpunkt historischer Forschungen im Bereich der Luftfahrt liegt beim Flugzeug als Mobilitätsmaschine. Untersucht werden das Flugzeug im Kontext technischer Innovationen zum Beispiel in den Themenfeldern Aerodynamik, Triebwerksentwicklung und Verkehrssystemen. Das Cockpit als Steuerzentrale für das komplexe sozio-technische System Flugzeug stand dabei weniger im Mittelpunkt. Diese Arbeit soll die Auswirkungen der Flugzeugentwicklung auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle Cockpit aufzeigen. Durch die persönliche Erfahrung als Pilot und durch mehrjährige berufliche Praxis in den Bereichen Qualitäts- und Sicherheitsmanagement von Luftfahrtunternehmen, kam es häufig zu Anregungen dieser Thematik nachzugehen. Neben den allseits in der Luftfahrt gegenwärtigen Sicherheitsaspekten ist die Mensch-Maschine-Schnittstelle immer Gegenstand von Flugsicherheitsveranstaltungen. Dabei zeichnet sich zunehmend die Transformation des Piloten vom „Steuermann“ zum „Manager“ automatisierter Systeme ab.

Wie sieht das Cockpit eines modernen Verkehrsflugzeugs aus? Cockpits moderner Verkehrsflugzeuge, oder auch Flight Decks, wie sie bei den Airlines bezeichnet werden, sind häufig als Blickfang in Büchern über die Luftfahrt abgebildet. Dem aufmerksamen Betrachter fallen unmittelbar die großen bunten Bildschirme, meist sechs in der Anzahl, vor den beiden Pilotensitzen auf. Im Mittelfeld ist eine Konsole mit Bedienhebeln für die Triebwerksleistungseinstellung und die Bedieneinheiten für das Flight Management System erkennbar. Über der wie ein großes Panoramafenster wirkenden Windschutzscheibe befindet sich in zentraler Anordnung eine Vielzahl weiterer Schalter.

Der heutige Verkehrsflugzeugmarkt wird von den Unternehmen Boeing und Airbus dominiert. Die beiden Firmen verfolgen ein unterschiedliches Konzept zur Flugzeugsteu-

---

erung. Boeing verwendet für die Primärsteuerung die traditionelle Steuersäule, die direkt vor den Piloten angebracht ist und ihren Arbeitsbereich dominiert. Airbus hingegen verwendet einen dezenteren, einem Joystick ähnlichen Hebel, den Sidestick, der jeweils rechts und links neben den Piloten, an den Außenseiten des Flight Decks, angebracht ist.

Durch einen kurzen Blick auf die Primärsteuerung sowie die Anzahl der Triebwerkshebel lässt sich das Flight Deck dem Flugzeughersteller recht gut zuordnen. Bei Flugzeugen gleicher Hersteller ist das nicht so leicht. Das Flight Deck eines Langstreckenjets wie zum Beispiel dem Airbus A330-300, mit einer Kapazität von bis zu 440 Passagieren, unterscheidet sich von einem Kurz- bis Mittelstreckenjet wie dem Airbus A318, mit einer Kapazität von 130 Passagieren, kaum.

Über den Bildschirmen, dem so genannten Glare Shield, das bei Sonneneinstrahlung einen Schatten auf die Monitore werfen soll, um Reflexionen zu verhindern, sind die Bedienelemente für den Autopiloten angebracht.

Das Flight Deck eines modernen Verkehrsflugzeugs verfügt in der zentralen Anordnung über Elemente, die von beiden Piloten bedient werden. Dazu gehören die Triebwerkssteuerung und Überwachung, die Fahrwerks- und Landeklappensteuerung sowie die Autopilotensteuerung. Die Bedienelemente der Sekundärsysteme wie Klimaanlage und Kabinendruckregelung befinden sich auf dem Overheadpanel.

Die Piloten kontrollieren je auf ihrer Seite die Primärsteuerung, die sich teilweise auf Körpergröße und bevorzugten Anzeigemodus individuell einstellen lässt; ein Beispiel hierfür ist die Seitenrudersteuerung. In zentraler Position vor den Piloten befindet sich das Primäre Display für die Fluglage. Dieses zeigt im Zentrum in den Farben blau und braun den künstlichen Horizont, der noch durch die Balkenanzeigen des Flight Directors erweitert werden kann. Links neben dem Horizont wird eine vertikale Bandanzeige mit der Fluggeschwindigkeit abgebildet. Rechts neben dem Horizont befindet sich nach dem gleichen Anzeigeschema das Höhenband. Zudem wird die Vertikalgeschwindigkeit rechts vom Höhenband angezeigt. Unterhalb der Horizontabbildung befindet sich eine vertikale Bandanzeige, die den Steuerkurs abbildet. Die Anordnung der primären Anzeigen, der Geschwindigkeit, des Horizonts, der Flughöhe und des Steuerkurses entspricht dem klassischen Basic-T, einem Arrangement, welches sich kurz nach dem Zweiten Weltkrieg zum weltweiten Standard etablierte.

---

Neben dem primären Display befindet sich das Navigationsdisplay. Auf diesem wird grundsätzlich die horizontale Position des Flugzeugs im Kontext der geplanten Flugstrecke, Ausweichflugplätze, Navigationsanlagen, Navigationsfixpunkte oder der Wetterradaranzeige abgebildet. Diese Anzeigen können miteinander kombiniert und auch in unterschiedlichen Modi dargestellt werden.

Die beiden Displays in der Mitte, die meist untereinander angeordnet sind, dienen der Steuerung und Überwachung der Triebwerke und der Subsysteme. Auch diese Anzeigen können je nach Flugphase oder Problembehandlung unterschiedliche Daten anzeigen.

Die beschriebene Ausstattung des Cockpits bildet einen sehr komplexen Arbeitsplatz ab. Beim Betrieb des Systems wird der Mensch bei der Steuerung und Überwachung durch autonom arbeitende Systeme unterstützt.

Wie sieht der Arbeitsplatz der Piloten im Reiseflug, der am längsten andauernden Flugphase, aus? Die Piloten sitzen in einer bequemen Haltung in der klimatisierten Überwachungszentrale. Die Displays zeigen in bunter Vielfalt ihre Daten an. Das Flugzeug scheint still im Raum zu stehen. Auch sind Bewegungen in den Anzeigen kaum wahrnehmbar. Ein Blick durch die Windschutzscheibe verrät, dass sich das Flugzeug über den Wolken in einem fast unwirklich wirkenden Raum befindet. Jedoch befinden sich die Hände der Piloten nicht an der Primärsteuerung. Diese sind damit beschäftigt, zum Beispiel einmal pro Stunde eine System- und Kraftstoffüberprüfung durchzuführen, gelegentlich Positionsmeldungen über Funk weiterzugeben und auf Anordnung der zuständigen Radarstation dem Autopiloten einen neuen Kurs oder eine neue Flughöhe einzugeben.

Die meisten Airlines und Flugzeughersteller verfolgen den Ansatz des „Silent and Dark Flight Decks“, was bedeutet, dass es, sofern alle Systeme einwandfrei funktionieren, zu keiner Anzeige kommt. Lediglich im Störfall oder im Spezialbetrieb von Systemen wie der Tragflächen- und Triebwerksenteisung wird dieser angezeigt. Dies hat zur Folge, dass die Piloten Störungen oder Abweichungen vom Normalbetrieb sofort optisch wahrnehmen können. Durch die nahezu vollständige Automation des Flugzeugs und seiner Systeme ist es meist nicht erforderlich, dass bei Störungen eines Subsystems die Piloten in den Flugverlauf aktiv eingreifen müssen. Sie können sich um die Störbehebung kümmern, denn das Flugzeug fliegt mit Hilfe des Autopiloten erst einmal weiter.

Der Beruf des Piloten besteht heute primär aus der Überwachung des Flugverlaufs sowie der Flugzeugsysteme. Selbst zu fliegen, ist heute eher die Ausnahme. Die aktive Steuerungszeit eines Airbus A340 auf einem Langstreckenflug kann zwischen 5 und 15 Minuten betragen. Die übrige Zeit, meist mehrere Stunden, steuert das Flugzeug autonom. Es genügt, den geplanten Flugweg in das Flight Management System einzutragen sowie den Autopilot und das Autothrottle System zu aktivieren.

Wie sich dieses hochtechnisierte System des „Flugzeugcockpits“ ziviler Verkehrsflugzeuge herausbildete, ist Gegenstand dieser Arbeit. Das Cockpit bildet die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Dabei erfolgt eine schrittweise Eliminierung menschlicher Fehler durch Systemautomation.

Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich von den ersten motorisierten Flügen bis zur Einführung der Boeing 737-130 bei der Deutschen Lufthansa 1968. Innerhalb dieses Zeitraumes entwickelte sich der Aushandlungsprozess zwischen Piloten und Flugzeugherstellern vom Cockpit als einer einsitzigen Steuerungszentrale bis hin zur vollklimatisierten Kontroll- und Kommandozentrale der Flugbesatzung moderner Verkehrsflugzeuge.

## Der Forschungsstand

Zur Geschichte des Flugzeugs seit dessen Erfindung und Entwicklung im frühen 20. Jahrhundert liegt mittlerweile eine kaum mehr überschaubare Literatur vor, die sich aus ganz unterschiedlichen Perspektiven ihrem Gegenstandsbereich nähert. Die Vielzahl von Arbeiten zeigt auf, wie tiefgreifend das Flugzeug als technisches System die moderne Gesellschaft geprägt und verändert hat. Kulturgeschichtliche, wirtschafts- und sozialhistorische, gesellschaftsgeschichtliche und politikhistorische Studien werden in dieser Arbeit jeweils selektiv zur Kontextualisierung der Cockpitentwicklung herangezogen.

Das von Wolfgang König herausgegebene Grundlagenwerk der Propyläen Technikgeschichte gibt einen Gesamtüberblick über den Wirkungszusammenhang der Technik mit der Kultur, der Wirtschaft und der Gesellschaft. In diesem Kontext beschreibt er

---

den Aufstieg der Wertigkeit des Flugzeugs.<sup>1</sup> Dabei zeigt er die Leistungen der wichtigsten Akteure für die Luftfahrt in allen Disziplinen der bemannten Luftfahrt auf.

Martina Heßler schildert die Kulturgeschichte der Technik anhand der Bereiche Produktion, Haushalt, Mobilität und Kommunikation, Menschenbild sowie Unfälle und ihre Folgen in einer einführenden Studie. Besonders die Folgen von Unfällen sind für diese Arbeit interessant.<sup>2</sup> Sozialwissenschaftliche Techniktheorien beschreibt Jan-Hendrik Passoth in seiner Dissertation zu Technik und Gesellschaft. Passoth betrachtet unter anderem die Massenfertigung im Bereich der Luftfahrt in den Nachkriegsjahren.<sup>3</sup> Das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Technologie wurde von John Staudenmaier betrachtet.<sup>4</sup>

Die Beziehung von Flugzeug zur Kultur beschreibt Kurt Möser mit seiner richtungsweisenden Studie über das Fahren und Fliegen in Frieden und Krieg. Möser betrachtet auch die Interaktion zwischen dem Flugzeug und anderer Mobilitätsmaschinen mit dem menschlichen Körper.<sup>5</sup>

Das Verhältnis von Luftfahrtforschung und Politik behandelt Helmuth Trischler in einer umfassenden Längsschnittstudie. Trischler analysiert die Entwicklung der Luftfahrtforschung in Deutschland mit Blick auf den politisch-gesellschaftlichen Kontext.<sup>6</sup> Die deutsche Luftfahrtforschung im politischen, institutionellen und industriellen Umfeld wird von Ernst Heinrich Hirschel, Horst Prem und Gero Madelung dargestellt.<sup>7</sup> Eine historische Betrachtung der Forschung im Feld der Strömungsmechanik führt Michael Eckert durch. Er legt in seiner Studie den Schwerpunkt auf die Interaktion zwischen Forschung und praktischer Anwendung.<sup>8</sup> Im Mittelpunkt steht dabei die Aerodynamische Versuchsanstalt (AVA) Göttingen und ihr Gründer Ludwig Prandtl.

---

<sup>1</sup> König, Propyläen Technikgeschichte, 1997.

<sup>2</sup> Heßler, Kulturgeschichte der Technik, 2012.

<sup>3</sup> Passoth, Technik und Gesellschaft: Sozialwissenschaftliche Techniktheorien und die Transformationen der Moderne, 2008.

<sup>4</sup> Staudenmaier, Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric, 1985; weiterführend siehe auch: Merki, Verkehrsgeschichte und Mobilität, 2008; Degele, Einführung in die Techniksoziologie, 2002; Gleitsmann, Kunze, & Oetzel, Technikgeschichte, 2009; König, Das Kulturelle in der Technik: Kulturbegriffe und ihre Operationalisierung für die Technik, 2003 etc.

<sup>5</sup> Möser, Fahren und Fliegen in Frieden und Krieg, 2009.

<sup>6</sup> Trischler, Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900-1970, 1992.

<sup>7</sup> Hirschel, Prem, & Madelung, Luftfahrtforschung in Deutschland, 2001.

<sup>8</sup> Eckert, The Dawn of Fluid Dynamics: A Discipline between Science and Technology, 2005.

---

Der Ökonom Eric von Hippel schafft in seinen Veröffentlichungen die Grundsätze und Wirtschaftlichkeit verteilter Innovationen. Aus seinem Konzept der „user innovation“ geht hervor, dass die Nutzer von Technologien einen großen Anteil an deren Innovation haben.<sup>9</sup>

Maßgeblicher sind die Studien aus dem Bereich der Technikgeschichte, die kaum weniger umfangreich vorliegen. Und auch hier ist das konzeptionelle Spektrum enorm breit.

Als wegweisend lassen sich die Arbeiten des britischen Technikhistorikers David Edgerton bewerten, der die Koppelung der Luftfahrtentwicklung in England an die Nation herausgearbeitet hat. Er zeigt, dass sich Luftfahrtindustrie und -technik seit der Einführung des Flugzeugs als Verkehrsmittel und Waffensystem nicht von der englischen Geschichte separieren lässt.<sup>10</sup> Die integrale Verbindung von Luftfahrttechnikentwicklung und nationaler Identitätsbildung ist in einer Fülle von Studien für viele weitere Staaten herausgearbeitet worden. Hans-Liudger Dienel und Peter Lyth etwa haben die Geschichte europäischer Fluggesellschaften im Kontext der Nationalstaatsbildung untersucht und diese plastisch als „national flag carriers“ bezeichnet.<sup>11</sup>

Ein für diese Arbeit wichtiges Themengebiet ist die Entwicklung des Luftverkehrs und der Luftfahrtindustrie.

Erik Conway thematisiert den Flugbetrieb bei geringer Sicht und den frühen Instrumentenflug in Amerika im politischen Kontext. In seiner Studie befasst er sich mit dem Zeitraum vom Ende des Ersten Weltkriegs bis zum Beginn des Jetzeitalters in den 1950er Jahren und arbeitet dabei insbesondere die Rolle von Flugunfällen als Momente technischen Scheiterns heraus, die als Katalysatoren des sozio-technischen Wandels wirksam wurden.<sup>12</sup>

Die grundlegende Arbeit von Dawna Rhoades beschreibt die Evolution der internationalen Zivilluftfahrt in technischen sowie ökonomischen und politischen Kontexten. Da-

---

<sup>9</sup> von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988; von Hippel, *Democratizing Innovation*, 2005.

<sup>10</sup> Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991; Edgerton, *The Shock of the Old - Technology and global history since 1900*, 2006.

<sup>11</sup> Dienel & Lyth, *Flying the Flag: European Commercial Air Transport since 1945*, 1998.

<sup>12</sup> Conway, *Blind Landings – Low Visibility Operations in American Aviation 1918-1958*, 2006.

---

bei widmet er sich weniger den Akteuren, sondern betrachtet die Luftfahrt als Gesamtsystem.<sup>13</sup> Ebenso stellt Marc Dierikx dar, wie der aufkommende Luftverkehr die Welt veränderte.<sup>14</sup>

John Morrow beschreibt den Aufbau der deutschen Luftfahrtindustrie vor dem Ersten Weltkrieg. Aufgrund der damals rudimentären Flugzeuginstrumentierung lassen sich aus dieser Quelle diverse Ableitungen der Cockpitausstattung sowie flugbetrieblicher Verfahren ermitteln.<sup>15</sup>

Die Technikerfahrungen deutscher Militärpiloten wurden von Christian Kehrt in seiner wegweisenden Studie erfasst.<sup>16</sup> Kehrt betrachtet in seiner Studie auch die Leistungsfähigkeit des Menschen im fliegerischen Militärdienst im Zeitraum der Weltkriege. Ulrich Kirchner analysiert in seiner Dissertation die Geschichte des bundesdeutschen Verkehrsflugzeugbaus. Dabei legt er den Schwerpunkt auf den langen Weg zum Airbus.<sup>17</sup> Der deutsche Luftverkehr in der Entstehungsphase nach dem Ersten Weltkrieg wurde von Wolfgang Wagner bearbeitet. Neben den prägenden Akteuren widmet sich Wagner im Schwerpunkt den deutschen Flugzeugentwicklungen.<sup>18</sup>

Breit vertreten sind Ansätze, die Biografie und Technikentwicklung verknüpfen. Von den zahlreichen Erfindern und Pionieren des Motorflugs sind vor allem die Gebrüder Wright in den Fokus der Forschung gerückt. Wegweisend war hier der amerikanische Technikhistoriker Tom Crouch, der die Geschichte der zunächst als Fahrradunternehmer tätigen Brüder Orville und Wilbur Wright mit der Entwicklung des Wright Flyers und dessen erfolgreichem Erstflug 1903 verknüpft.<sup>19</sup>

Die Frühgeschichte des bemannten Motorflugs in Amerika, im Speziellen aber die Akteure und deren Erfolge und Misserfolge wurden von Wim Coleman, Pat Perrin und Philip Jarrett betrachtet.<sup>20</sup> Besonders die raschen technischen Entwicklungen vor und

---

<sup>13</sup> Rhoades, *Evolution of International Aviation*, S. 15-51, 2008.

<sup>14</sup> Dierikx, *Clipping the Clouds – How Air Travel Changed the World*, 2008.

<sup>15</sup> Morrow, *Building German Airpower 1909-1914*, 1976.

<sup>16</sup> Kehrt, *Moderne Krieger – Die Technikerfahrungen deutscher Militärpiloten 1910-1945*, 2010.

<sup>17</sup> Kirchner, *Geschichte des bundesdeutschen Verkehrsflugzeugbaus: Der lange Weg zum Airbus*, 1998.

<sup>18</sup> Wagner, *Der Deutsche Luftverkehr – Die Pionierjahre 1919-1925*, 1987.

<sup>19</sup> Crouch, *First Flight – The Wright Brothers and the Invention of the Airplane*, 2002; vgl. auch Jakab & Crouch, *The Wright Brothers and the Invention of the Aerial Age*, 2003.

<sup>20</sup> Coleman & Perrin, *Early Flight in America*, 1999; Jarrett, *Pioneer Aircraft: Early Aviation to 1914*, 2003.

---

während des Ersten Weltkriegs standen dabei im Fokus. Der britische Luftfahrthistoriker Charles Gibbs-Smith analysiert in diversen Publikationen die frühe Luftfahrt in Europa und Amerika.<sup>21</sup>

Das Flugzeug selbst ist ein weiteres zentrales Element dieser Arbeit. Die Bereiche Flugzeugzelle und Flugtriebwerke, ganz besonders nach Einführung der Jettriebwerke, stehen im Schwerpunkt der Luftfahrtforschung von Ingenieuren und werden in der Fachliteratur dargestellt und erörtert.<sup>22</sup>

So werden viele, aus heutiger Sicht historische Flugzeuge, in der Literatur beschrieben. Dabei werden die Flugzeuge in unterschiedlichen Kontexten, wie Einsatz, Technik oder Flugleistungen, erklärt.<sup>23</sup>

Technische Teilsysteme standen, abgesehen von den Triebwerken, nicht im Vordergrund historischer Analysen. Sofern das Cockpit oder Flight Deck in diesen Beschreibungen thematisiert wird, liegt der Fokus häufig auf der bildlichen Darstellung der Instrumentierungen auf dem Front Panel und einer Erklärung der Funktionsweise.<sup>24</sup> Auch im Bereich der Arbeitspsychologie ist die Anordnung und Bedienung der Instrumente für die Piloten ein häufig verwendetes Beispiel.<sup>25</sup>

Grundlegende Werke zur Entwicklung der Cockpitinstrumentierung von Flugzeugen stammen von dem Royal Air Force Veteranen Leslie Coombs. In seiner fünfzigjährigen

---

<sup>21</sup> Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974; Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970; Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960; Gibbs-Smith, *The Invention of the Aeroplane (1799-1909)*, 1966; Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974.

<sup>22</sup> Folgende Grundlagenwerke können hier genannt werden: Urlaub, *Flugtriebwerke: Grundlagen, Systeme, Komponenten*, 1991; Bräunling, *Flugzeugtriebwerke: Grundlagen, Aero-Thermodynamik, ideale und reale Kreisprozesse, Thermische Turbomaschinen, Komponenten, Emissionen und Systeme*, 2000; Fecker, *Strahltriebwerke: Entwicklung - Einsatz - Zukunft*, 2013; Torenbeek, *Synthesis of Subsonic Airplane Design: An Introduction to the Preliminary Design of Subsonic General Aviation and Transport Aircraft*, 1982; Torenbeek, *Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Technology and Optimization of Subsonic Civil Airplanes*, 2013 etc.

<sup>23</sup> Als Beispiele dienen hier die Flugzeugmuster Ju 52, Fw200, B707 und DC-8 zu nennen. Siehe dazu: Griehl, *Junkers - Flugzeuge seit 1915*, 2010; Nowarra, *Die Ju 52, Flugzeug und Legende*, 1991; Nowarra, *Focke-Wulf FW 200 'Condor'*, 1988; Beek, *Boeing Verkehrsflugzeuge: seit 1919*, 2009 Figgen & Plath, *Boeing Verkehrsflugzeuge: Von den Anfängen bis zur 787*, 2006; Becker, *Boeing 707*, 2001; Vetter, *Douglas DC-8*, 2001.

<sup>24</sup> Als Beispiel siehe: Cohausz, *Cockpits deutscher Flugzeuge*, 2000; Smithsonian Institution, *In The Cockpit: Inside 50 History-Making Aircraft*, 2007.

<sup>25</sup> siehe hierzu Hoyos & Zimolog, *Ingenieurspsychologie*, S. 426-433, 1990; vgl. Ames Research Center, S. 66-67, 1989.



---

Laufbahn in der zivilen und militärischen Luftfahrt hat Coombs immer wieder für Luftfahrtunternehmen im allgemeinen und über ergonomische und avionische Fragen geforscht. Als Fachmann für Ergonomie hält er Vorlesungen über ergonomische Aspekte von Cockpitauslegungen. Coombs untersucht die Entwicklungen im Bereich des Cockpits aus unterschiedlichen Perspektiven. Dabei zeichnen sich seine Arbeiten durch eine geradlinige Argumentation und eine Reduzierung auf den Pilotenbezug aus. Kontextualisierungen zu anderen Akteuren wie Konstrukteuren, Designer oder Luftfahrtunternehmer werden nur in geringem Maße vorgenommen. Neben der zivilen Luftfahrt geht Coombs auf der Basis einer in diesem Bereich besonders günstigen Quellenlage auch intensiv auf die militärische Luftfahrt ein. Jedoch sind einige seiner Aussagen schwierig nachvollziehbar, andere sind fehlerhaft.<sup>26</sup> Verknüpfungen zu wegweisenden Einflussgrößen wie Luftfahrtorganisationen oder Behörden werden oft nur am Rande erwähnt. Grundsätzlich aber liefern seine Arbeiten einen sehr guten Überblick über die historische Entwicklung von Flugzeugcockpits bis in die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg.<sup>27</sup>

Kurt Kracheel dagegen hat ein, im Wesentlichen auf die deutsche Technikentwicklung konzentriertes, Grundlagenwerk über die Entwicklung von Cockpitinstrumenten und Flugführungssystemen vorgelegt. Den Schwerpunkt allerdings legt Kracheel auf die Mechanik und Systematik der Instrumente und Flugsteuerungen. Dabei ist der Bezug zum Piloten nicht immer gegeben. Zudem finden bei ihm die Instrumente und Verfahren, die nach 1930 entwickelt oder angepasst wurden, keine intensive Beachtung. Kracheel zeigt auf, dass viele deutsche Entwicklungen sich mittelfristig am Luftverkehrsmarkt nicht durchsetzen konnten; sie erweisen sich zwar als Treiber der technischen Entwicklung im engeren Sinne, prägten langfristig jedoch nicht den Luftverkehr.<sup>28</sup>

Die Basis der modernen automatischen Flugsteuerungen und Stabilisierungsautomaten sind Kreisel. Die historische Entwicklung der Kreiseltechnik wird von Jobst Broelmann in ihren verschiedenen Anwendungen in einer herausragenden Arbeit dargestellt, in der insbesondere auch die Wechselwirkungen zwischen den technischen Sys-

---

<sup>26</sup> Siehe dazu Kapitel 3: „Nacht, Wolken, Nebel“.

<sup>27</sup> Coombs, *Control in the Sky*, 2005; Coombs, *The Aircraft Cockpit: from stick-and-string to fly-by-wire*, 1990.

<sup>28</sup> Kracheel, *Flugführungssysteme - Blindfluginstrumente, Autopiloten, Flugsteuerungen*, 1993.

---

temen Schifffahrt und Luftfahrt herausgearbeitet werden. Hauptkonkurrent des deutschen Erfinderunternehmers Hermann Anschütz-Kämpfe, dessen ungewöhnlicher Weg vom Kunsthistoriker zum erfolgreichen Erfinder, der mit Albert Einstein und Arnold Sommerfeld über wissenschaftlich-technische Fachfragen korrespondierte, Broelmann instruktiv nachzeichnet, war der amerikanische Ingenieur Elmer Sperry. Zu Sperry hat der amerikanische Technikhistoriker Thomas P. Hughes eine beispielgebende Studie vorgelegt, in der er sein später vielzitiertes Konzept des Erfinderunternehmers geprägt hat. Broelmann und Hughes analysieren die Technikentwicklung jeweils bis hin zur Kreiselstabilisierung von Flugzeugen.<sup>29</sup>

Die Entwicklung von elektronischen Systemen in der Luftfahrt ist ein breites Feld, welches sich insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts enorm ausdifferenzierte. Im Bereich des Cockpits gehören zu den Schwerpunkten die Funkkommunikation und die Funknavigation. Umfassende Studien zu diesen Thematiken wurden von Bill Gunston und Ernst Kramar erstellt. Gunstons Schwerpunkte liegen dabei auf der Entwicklung technischer Systeme und deren Arbeitsweise und Funktion, besonders im militärischen Sektor. Kramar beschreibt die Systemfunktion mit ihren physikalischen Zusammenhängen. Auch fokussiert er auf die Bodeninfrastruktur der Systeme.<sup>30</sup> Die Entwicklung der Bordfunkgeräte in Deutschland wurde von Fritz Trenkle untersucht. Trenkle bezieht sich dabei vor allem auf die technischen Eigenschaften der frühen Geräte.<sup>31</sup>

Ein umfangreiches Themenfeld das in dieser Arbeit tangiert wird, ist das menschliche Leistungsvermögen im Cockpit. Als ausdifferenziertes Forschungsfeld bildete sich dieses Feld erst in den 1980er Jahren heraus, es war jedoch seit dem Beginn der Verkehrsluftfahrt von virulenter Bedeutung.

---

<sup>29</sup> Broelmann, *Intuition und Wissenschaft in der Kreiseltechnik*, 2002; Hughes, *Elmer Sperry – Inventor and Engineer*, 1971.

<sup>30</sup> Gunston, *Avionics*, 1990; Kramar, *Funksysteme für Ortung und Navigation und ihre Anwendung in der Verkehrssicherheit*, 1973; Kramar, *Hyperbelnavigation - Geschichte und neue Wege*, 1969.

<sup>31</sup> Trenkle, *Bordfunkgeräte – Vom Funkensender zum Bordradar*, 1986.

---

Eduardo Salas und Dan Maurino behandeln den Faktor Mensch in einer umfangreichen Studie. Dabei erörtern sie nicht nur den gegenwärtigen Forschungsstand, sondern liefern auch Einblicke in die historische Entwicklung.<sup>32</sup> Das menschliche Leistungsvermögen gehört in der Luftfahrt zu den größten Fehlerquellen und ist oft für schwere Unfälle verantwortlich. Ronald und Leslie Hurst werten in ihrer Studie zu Flugunfällen diverse Unfallberichte aus und analysieren deren Ursachen.<sup>33</sup> Als Basis dienten veröffentlichte Unfall- und Untersuchungsberichte. Diese werden von den für Flugunfalluntersuchung zuständigen Behörden veröffentlicht, um Wiederholungen zu verhindern.<sup>34</sup>

Das Thema Flugsicherheit ist ein breites Forschungsfeld mit unterschiedlichen Kontexten. Ludwig Dorn analysiert den Begriff der Flugsicherheit im Kontext der Arbeitsbelastung der Cockpitbesatzung.<sup>35</sup>

Flugkapitän Robert Buck legt mit seinem umfassenden Erfahrungsbericht wichtige Grundlagen für das Verständnis zwischen dem Zusammenspiel von Mensch und Flugzeug. Besonders zur Zäsur vom Übergang vom Kolbentriebwerk zum Jetantrieb sowie zur Rolle des Piloten im Umfeld der Luftfahrtindustrie liefert Buck wichtige Erkenntnisse.<sup>36</sup>

Die Unternehmensgeschichte der Flugzeugindustrie zeigt ein etwas asymmetrisches Bild. Sieht man vom traditionsträchtigen Konzern Boeing ab, liegt für kaum ein Unternehmen eine Studie vor, die modernen Ansprüchen unternehmens- und technikhistorischer Forschung genügt. Die Geschichte von Boeing selbst aber, die in dieser Arbeit im Zusammenhang mit der Cockpitentwicklung der Boeing 737 besonders interessiert, ist seit ihren Anfängen, spätestens aber seit dem Bau der Boeing 707, in einer Reihe

---

<sup>32</sup> Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010.

<sup>33</sup> Hurst & Hurst, *Flugunfälle und ihre Ursachen*, 1987.

<sup>34</sup> Eine Sammlung von Unfalluntersuchungsberichten weltweiter Flugunfälle wurde von Richter & Wolf, *Jet – Airliner – Unfälle*, 1997 veröffentlicht. Das US amerikanische National Transportation Safety Board (NTSB) sowie die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchungen bieten online Datenbanken mit Berichten abgeschlossener Untersuchungen.

<sup>35</sup> Dorn, *Zum Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen auf die Flugsicherheit*, 2011

<sup>36</sup> Buck, *The Pilot's Burden: Flight Safety and the Roots of Error*, 1994.

---

von Arbeiten beleuchtet worden.<sup>37</sup> Das Erfolgsprodukt Boeing 737, das das Unternehmen auch in eine besondere Beziehung zur Lufthansa setzt, hat sich in der zivilen Luftfahrt auf breiter Front durchgesetzt. Die Besonderheiten, die in der Entwicklung der Boeing 737 auftraten, werden von der gängigen Literatur gut herausgearbeitet, jedoch bezieht sich diese primär auf die Entwicklung des Flugwerks und ökonomische Aspekte wie die Logistik. Die wegweisende Bedeutung der Entwicklung des Flight Decks der Boeing 737-100 hat hingegen kaum Beachtung gefunden.

## Erkenntnisinteresse

Diese Arbeit befasst sich mit der Technisierung des Flugzeugcockpits als Teil des Systems Flugzeug. Heute wird dem Arbeitsplatz Cockpit oder Flight Deck in der Luftfahrt große Aufmerksamkeit gewidmet. Die Gründe dafür sind vielfältig. Cockpits heutiger Flugzeuge zählen zu den modernsten Technologien überhaupt. Historisch wurde der lange Weg der Cockpitentwicklung von Verkehrsflugzeugen aber nur partiell betrachtet.

Die Luftfahrt war gleichsam eine öffentliche Technik. Bereits in der Phase ihrer Entstehung wirkte sie als gesellschaftlicher Magnet. In Europa begann dieses Interesse mit den Brüdern Montgolfier und ihren ersten Ballonen und setzte sich später in den Luftschiffen des Grafen Zeppelin und den spektakulären Flugzeugvorführungen der Gebrüder Wright fort. Franz Kafkas Reportage der Flugschau von Brescia ist dabei nur eines von vielen illustrativen Beispielen für die hohe öffentliche Wirksamkeit der neuen Technik.<sup>38</sup>

Bevor Satellitennavigationsgeräte in Automobilen zum erschwinglichen Massenprodukt wurden, fanden diese in der Luftfahrt bereits standardmäßig Verwendung. Die Luftfahrt entwickelte sich sehr rasch zu einem Industriezweig, dessen technische Innovationen in vielen anderen Bereichen angewandt wurden, und umgekehrt griff die

---

<sup>37</sup> Gerresheim, Flugzeuge die Geschichte machten – Boeing 737, 1995; Pelletier, Boeing – The Complete Story, 2010; Sharpe & Shaw, Boeing 737-100 and 200, 2001; Figger & Plath, Boeing Verkehrsflugzeuge, 2006; Yenne, The Story of the Boeing Company, 2010; Kirchner, Geschichte des bundesdeutschen Verkehrsflugzeugbaus: Der lange Weg zum Airbus, 1998.

<sup>38</sup> Siehe dazu Brod, Franz Kafka – Eine Biographie, 1954, sowie Kafka, Die Aeroplane in Brescia, 1977, Dick, 1987, Gillispie, The Montgolfier brothers and the invention of aviation, 1983, Crouch, The Wright Brothers, 2002.

---

Luftfahrt auf Konzepte und Lösungsmuster anderer Technikfelder, insbesondere in der Schifffahrt<sup>39</sup> und des Automobilsektors zurück.

Bereits bei den ersten kurzen Flügen der Gebrüder Wright 1903 wurde eine Anzeige zur Fluglage verwendet. Doch welche Instrumente und Anzeigen waren in der frühen Phase des Motorflugs verfügbar? Neben den Instrumenten, die dem Piloten Informationen über die Fluglage, Systemstatus und Position des Flugzeugs übermitteln, gehört die Art und Weise der Flugzeugsteuerung zur Schnittstelle von Mensch und Flugzeug. Welche Möglichkeiten der Flugzeugsteuerung wurde von den ersten Piloten verwendet und warum wurden diese bevorzugt?

Heute verfügt jedes Flugzeug im gewerblichen Einsatz über die Basic-T Anordnung der primären Fluglageinstrumente. Die Basic-T Anordnung zeichnet sich dadurch aus, dass sie sich zu einem internationalen Standard etablierte. In dieser Arbeit wird die Herausbildung und Festigung dieses Paradigmas der Vereinheitlichung von Instrumenten und deren Anordnung analysiert und seine zentrale Bedeutung für die Entwicklung der Flugnavigation in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nachgezeichnet.

Warum wurde diese Instrumentenanordnung entwickelt und welche Vorgänger gab es? Welche Gründe gab es für diesen Paradigmenwechsel im Bereich der Fluglageanzeigen?

Neben einzelnen Anzeigen spielte auch die Anordnung ganzer Instrumenten- und Anzeigegruppen eine tragende Rolle für die korrekte Ablesung und Interpretation der Parameter. Eine Standardisierung der Anordnung ermöglichte eine schnelle Übersicht über das Instrumentenbrett und erleichterte die Umschulung auf andere Flugzeugmuster. Durch welche Entwicklungen wurde der Standardisierungsprozess geprägt?

Die Kernunterschiede heutiger Verkehrsflugzeuge sind oft nur bei Primärsteuerung, Steuersäule oder Stick und in der Anzahl der Triebwerksleistungshebel zu finden. Vergleicht man diese von elektronischen Anzeigen und Schaltern dominierte Oberfläche mit den luftigen Sitzen früher Verkehrsflugzeuge, wie etwa der Junkers F 13, stellt sich die Frage nach der Evolution dieses Arbeitsplatzes. Welche Entwicklungsschritte erfolgten bei der Gestaltung des Cockpits, der Steuerzentrale des Flugzeugs, und von

---

<sup>39</sup> Siehe dazu Broelmann, Kreiselschiff, 2002.

---

welchen Faktoren wurde der technische Wandel beeinflusst? Dabei sind unterschiedliche Kontexte zu berücksichtigen. Welche Aufgaben fielen bei der Flugführung an und wie wurden diese gelöst? Dabei muss das Flugzeug als Objekt betrachtet werden, das sich mit sechs Freiheitsgraden im dreidimensionalen Luftraum bewegt. Welche konzeptionellen Vorstellungen und technischen Ideen hatten die frühen Entwickler und Konstrukteure zur Steuerung eines Flugzeugs in diesem so strukturierten Raum?

Verkehrsflugzeuge verfügen heute, wie zum Beispiel auch das Automobil und andere Mobilitätsmaschinen, über eine einheitlich zu bedienende Steuerung. In der frühen Phase des Motorflugs wurden unterschiedliche Konzepte verfolgt. Welche Gründe führten zu einer Vereinheitlichung der Flugsteuerung?

Als Flugzeuge, durch leistungsstarke Triebwerke ermöglicht, auf langen Strecken fliegen und in lebensfeindlichen Flughöhen operieren konnten, war die Frage nach dem offenen oder geschlossenen Cockpit nicht mehr von Relevanz. Die Sicht nach Außen wurde durch technische Systeme abgelöst. Welche Systeme und vor allem welche Instrumente im Cockpit ermöglichten den Flug nach Instrumenten? Wie entwickelte sich das Cockpit besonders im Hinblick auf Langstreckenflüge? Dabei wird besonders auf die Aufgaben der Besatzungsmitglieder eingegangen. War die fortschreitende Technisierung und Automation Grund für die Reduzierung der Flugbesatzung auf nur zwei Piloten?

Die meisten Airlines haben mittlerweile den Begriff des Cockpits durch den des Flight Decks ersetzt. Was unterscheidet das Cockpit vom Flight Deck? Gibt es Analogien zu anderen verkehrstechnischen Systemen, insbesondere zur Schifffahrt?

Der Personalbedarf auf dem Flight Deck war in der Vergangenheit großen Schwankungen unterlegen. Viele Flugzeugsysteme wurden automatisiert und die Bedienung durch die Piloten vereinfacht. Im Störfall jedoch mussten die zusätzlich anfallenden Aufgaben auf die zur Verfügung stehenden Personen verteilt werden, was zu einer höheren Arbeitsbelastung führte. Da der Mensch in einem komplexen System auch eine Fehlerquelle darstellt, bleibt die Frage: Führt die zunehmende Automation des Flugzeugs auch zu einer Erhöhung der Flugsicherheit?

Die bisher größte Steigerung der Leistungsfähigkeit von Verkehrsflugzeugen wurde durch die Einführung des Jetantriebs erreicht. Dadurch wurden im Vergleich zum Kol-

---

betriebwerk Flüge in sehr großen Flughöhen ermöglicht. Auch ermöglichte es die Implementierung dieser Technologie, Reisefluggeschwindigkeiten nahe der Schallgeschwindigkeit zu erreichen. Dies brachte neue Probleme im aerodynamischen und flugmechanischen Bereich mit sich. In diesem Zusammenhang gilt es dabei primär zu fragen, wie sich die Jetantriebe auf das Flight Deck auswirkten?

Das Wachstum des zivilen Luftverkehrs basierte auf dem gesellschaftlichen Reisebedarf. Dienten die ersten Flüge mit motorisierten Flugzeugen mehr der Unterhaltung, transformierte das „Sportgerät“ Flugzeug zu einem Eckpfeiler moderner Verkehrssysteme. Welche Anforderungen stellte die Gesellschaft an die Luftfahrtunternehmen?

Als die ersten Flugzeuge halbwegs sicher steuerbar waren und die Triebwerke über Leistungen verfügten, die einen längeren Überlandflug ermöglichten, kam auf die Besatzungen eine weitere Aufgabe zu, die Navigation. Dabei galt es nicht nur, geografischen Routen zu folgen, sondern auch Wettererscheinungen wie Regen, Schnee oder Nebel auszuweichen. Die Flug- und die Erdsicht waren daher von entscheidender Bedeutung. Welche Navigationsverfahren wurden angewendet? Wie entwickelten sich Navigationsverfahren und Instrumente, die es den Piloten ermöglichten, bei Nacht oder in Wolken zu fliegen?

Die Wissenschafts- und Technikgeschichte der letzten beiden Jahrzehnte hat herausgearbeitet, dass die beiden Weltkriege für die Technikentwicklung in unterschiedlichen Feldern von unterschiedlicher Bedeutung waren. Für die Luftfahrttechnik lässt sich grosso modo feststellen, dass von beiden Weltkriegen jeweils ein technologischer Schub ausging, der aus der enorm gewachsenen Bedeutung der Luftfahrt für die Kriegsführung resultierte. In dieser Arbeit wird dabei nicht die technische Dynamik als Ganzes betrachtet, sondern vielmehr zuvorderst untersucht, welche Innovationen aus der Kriegszeit auch weiterhin Verwendung fanden. Der Fokus liegt auf Veränderungen im Cockpit der zivilen Flugzeuge. Eine Betrachtung militärischer Entwicklungen erfolgt nur, sofern diese den zivilen Luftverkehr beeinflussten. Ferner soll analysiert werden, wie sich der kommerzielle Luftverkehr darstellte. Welche Mittel zur Flugdurchführung standen den Berufspiloten zur Verfügung und wie sah die Flugdurchführung aus? Es gilt zu erkunden, welche Instrumente für die Flugzeuge entwickelt und wo diese platziert wurden. Neben der Anordnung der Instrumente sollen auch die Vor- und Nach-

---

teile der offenen und geschlossenen Cockpits diskutiert werden. Bedeutete die Reduzierung der Rundumsicht eine Behinderung für die Piloten oder konnte die Außensicht durch Instrumente im Cockpit kompensiert werden?

In der Technikgeschichte des späten 19. und 20. Jahrhunderts ist die internationale Normierung und Standardisierung einer der grundlegenden Prozesse. Für die grenzüberschreitende Zivilluftfahrt wurden international verbindliche Normen geschaffen. Um ein Flugzeug im internationalen Luftverkehr sicher betreiben zu können, müssen bestimmte Harmonisierungen getroffen werden. Dies betrifft unter anderem die Maßangaben für Höhe, Geschwindigkeiten<sup>40</sup>, Luftdruck und Entfernungen. Die unterschiedlichen Nationen verwendeten bis nach dem Zweiten Weltkrieg ihre national üblichen Maße. Wodurch kam es dann in der zweiten Jahrhunderthälfte zu einer internationalen Standardisierung?

Wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit ist eine Fallstudie, die sich mit der Einführung der Boeing 737-130 bei der Lufthansa befasst. Der zeitliche Rahmen erstreckt sich von den ersten Vorstellungen der Lufthansa zu den Flugzeugeigenschaften 1964 bis zum Einsatz im Liniendienst um 1970. Dieser Studie wurden die Vertragsdaten und der interne Schriftverkehr, der im Kontext der Flight Deck Gestaltung geführt wurde, zwischen Boeing und der Lufthansa zu Grunde gelegt. Wie gestaltete sich der Innovationsprozess im Bereich des Flight Decks des damals neuartigen Flugzeugs?

Das Flugzeugmuster Boeing 737 zählt zu den meistgebauten Verkehrsflugzeugen und wurde im Laufe der Jahre jeweils mit den aktuellen Technologien ausgestattet. Das Konzept der Boeing 737 konnte sich am Luftverkehrsmarkt erfolgreich durchsetzen. Zudem gehörte die Boeing 737 auch zu den ersten Jets, deren Flugbesatzung aus nur zwei Piloten bestand. Daher war nicht nur eine übersichtliche Anordnung der Instrumente von immenser Bedeutung, sondern auch die Verfügbarkeit automatisierter Systeme. Wodurch behielten die Piloten die Übersicht über eine fehlerfreie Funktion aller Systeme?

Das Flugzeugmuster Boeing 737-130 wurde in kleiner Auflage speziell für die Lufthansa entwickelt und gebaut. Wie wurde das Flight Deck von den Piloten angenommen? Gab es Besonderheiten oder Muster spezifische Probleme?

---

<sup>40</sup> Für den Flugverkehr ist die horizontale wie die vertikale Geschwindigkeit von Interesse.



---

Für die Analyse der Innovationsprozesse werden die Thesen von Eric von Hippel herangezogen. Von Hippel ist seit über 30 Jahren mit der Innovationsforschung vertraut. In seinen Arbeiten verfasste er für die verschiedensten Industriezweige Studien über ihr Innovationsverhalten und ihr Verhältnis zu Innovationen. Für diese Arbeit sind besonders die „von Hippel’schen Paradigmen“ zwischen Nutzer und Kunde von Interesse.<sup>41</sup> Können die Thesen von Hippel, die sich zuvorderst auf Produktions- und Produktinnovationen beziehen, auch auf die Luftfahrt angewendet werden? Besonders interessant für das Beispiel Boeing 737-130 ist die Beziehung zwischen dem Kunden und dem Hersteller.<sup>42</sup> Ist die Gestaltung des Flight Decks der Boeing 737-130 eine Nutzerinnovation oder waren Ähnlichkeiten mit anderen Flugzeugmustern in der Luftflotte vom Kunden gewollt?

## Abgrenzungen

In dieser Arbeit werden im Schwerpunkt nur Flugzeuge betrachtet, die für den kommerziellen Linienflugbetrieb vorgesehen waren. Eine Ausnahme bilden die Flugzeuge der ersten Innovations- und Inventionsphase, die bis nach dem Ersten Weltkrieg im Einsatz waren. Mit diesen Flugzeugen wurde zwar kein kommerzieller Flugverkehr durchgeführt, dennoch schufen sie die Grundlagen für den gewerblichen Luftverkehr ab 1919.

Die Entwicklungen von Cockpits und Flight Decks im militärischen Bereich weichen – jenseits einiger technologischer Wechselbeziehungen – von der Entwicklung im zivilen Bereich stark ab. Sie bedarf einer eigenen Betrachtung, die im Rahmen dieser auf den zivilen Bereich ausgerichteten Arbeit nicht geleistet werden kann. Ausgenommen hiervon sind Systeme, die neben einer militärischer Verwendung auch in der kommerziellen Zivilluftfahrt verwendet wurden.

---

<sup>41</sup> Von Hippel, Franke, & Schreier, Finding commercially attractive user innovations: A test of lead user theory, 2006; von Hippel & Urban, Lead User Analyses for the Development of New Industrial Products, 1988; von Hippel & Thomke, Customers as Innovators: A New Way to Create Value, 2002; von Hippel, The Sources of Innovation, 1988; von Hippel, Successful Industrial Products from Customer Ideas, 1978; von Hippel, Lead Users: An Important Source of Novel Product Concepts, 1986; von Hippel, Cooperation between competing firms, 1986; von Hippel, A Customer-Active Paradigm for Industrial Product Idea Generation, 1977.

<sup>42</sup> Zur Differenzierung zwischen Nutzer und Innovator siehe auch Akrich, The De-Description of Technical Objects, 1992, S. 211.

---

Die Flugzeuge, die vor dem Ersten Weltkrieg für das Militär entwickelt wurden, waren aufgrund des vorhandenen technischen Wissens und der verfügbaren Materialien meist so ausgelegt, dass zwei Personen Platz fanden, der Pilot und der Beobachter. Die im weiteren Verlauf des Ersten Weltkrieges entwickelten und gebauten Flugzeuge dienten dann zum größten Teil als Waffenplattform, von der aus zum Beispiel in den Jagdflugzeugen der Pilot auch die Maschinengewehre bediente. Zwar wurden die Flugzeuge im Verlauf des Krieges immer leistungsfähiger, jedoch blieb die Ausstattung des Cockpits immer noch sehr sparsam.

Auch der Zweite Weltkrieg brachte zahlreiche Innovationen, zum Beispiel wurden erstmals der Jetantrieb und die Langstreckenfunknavigationssysteme erfolgreich eingesetzt. Ferner wurden Radarsysteme entwickelt, deren Derivate auch in zivilen Flugzeugen verwendet wurden. Die für die Kriegsflugzeuge entwickelten Cockpits, meist Jäger oder Bomber, sind aber kaum mit denen ziviler Verkehrsflugzeuge vergleichbar. Die meisten Jagdflugzeuge des Zweiten Weltkriegs waren einsitzig. Der Pilot war für die Flugdurchführung und die taktischen Aufgaben zuständig und verantwortlich. Daher wurden die Cockpits zur Missionsdurchführung, dem effektiven Waffeneinsatz, optimiert.

Die Langstreckenbomber hatten eine mit dem Lufttransport vergleichbare Aufgabe, mit dem Unterschied, dass diese am Zielort nicht landen, sondern ihre Bombenlast abwerfen mussten. Die Aufgaben an Bord, abgesehen von der des Bombenschützen, waren analog zu denen von Verkehrsflugzeugen. Dazu gehörten die Überwachung von Flugzeugsystemen inklusive der Triebwerke, Navigation und Kommunikation. Jedoch unterschieden sich die militärischen Instrumente häufig von den zivilen. Besonders im Bereich der Funknavigation und Kommunikation wurden Geräte benutzt, die in zivilen Flugzeugen nicht verwendet wurden. Viele militärische Entwicklungen wurden nach dem Krieg auch nicht weiter verfolgt oder durch verbesserte Systeme ersetzt. Grundsätzlich kann die Aussage getroffen werden, dass in zivilen Flugzeugen nur Derivate militärischer Entwicklungen verwendet wurden, da militärische Projekte meist der Geheimhaltung unterlagen. Ebenso verwendet das Militär bis heute Frequenzbänder für

---

Kommunikation oder Navigation, die mit zivilen Geräten nicht abgerufen werden können.<sup>43</sup>

Die militärische Luftfahrt der jeweiligen Länder unterliegt eigenen nationalen Regularien. So gelten zum Beispiel für den militärischen Flugbetrieb andere luftrechtliche Beschränkungen wie zum Beispiel die Mindestflughöhe oder auch erforderliche Wetterminima.

Eine weitere Abgrenzung in dieser Arbeit erfolgt durch die Fokussierung auf den gewerblichen Linienluftverkehr.

Der zivile Luftverkehr lässt sich in zwei wesentliche Kategorien aufteilen, die gewerbliche und die allgemeine Luftfahrt. Die allgemeine Luftfahrt umfasst dabei die private Fliegerei, den Werksverkehr und den Luftsport. Die gewerbliche Luftfahrt umfasst den Linien- und Charterflugverkehr mit kommerziellem Interesse des Luftfrachtführers<sup>44</sup>. Der Linien- und Charterflugverkehr kennzeichnet sich durch die Gewerbsmäßigkeit. Die Beförderung von Passagieren, Fracht und Post erfolgt entgeltlich mit der Gewinnerzielungsabsicht der Fluggesellschaft. Die Betrachtung des Charterflugverkehrs im Kontext der Cockpitentwicklung lässt die mangelnde Quellenlage nicht zu. Weiterhin muss der Linienflugverkehr der Öffentlichkeit in regelmäßiger Folge zur Verfügung stehen. Der Flugplan beinhaltet die Abflug- und Ankunftszeiten für periodische Flüge über einen längeren Zeitraum. Das beinhaltet auch, dass die Flüge unabhängig von der aktuellen Anzahl gebuchter Passagiere durchgeführt werden müssen.

Während private und militärische Luftfahrt überwiegend auf nationaler Ebene staatlich reglementiert wurden, mussten für den kommerziellen Flugverkehr internationale Regelungen getroffen werden. Diese Regularien beinhalteten zum Beispiel Luftverkehrsregeln, Kommunikationsfrequenzen und technische Anforderungen an Verkehrsflugzeuge.

Das Cockpit oder Flight Deck ist der Raum im Flugzeug, wo der Mensch die Maschine Flugzeug überwacht, regelt und steuert. Daher findet der Begriff „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ häufig Anwendung. Im Bereich dieser Arbeit dient die Schnittstelle

---

<sup>43</sup> Zum Beispiel TACAN (Abk.: Tactical Air Navigation) oder VORTAC arbeiten auf Frequenzen im UHF Bereich, während die zivilen Systeme im VHF Bereich arbeiten.

<sup>44</sup> Der vertragliche Luftfrachtführer ist das Unternehmen, das sich im Rahmen eines geschlossenen Beförderungsvertrages mit einem Kunden verpflichtet, Güter oder Personen von einem Ort an ein bestimmtes Ziel zu befördern.

---

Mensch-Maschine der Steuerung und Regelung des Flugzeugs und seiner Systeme. Der Mensch führt hierzu entsprechende Steuereingaben durch oder, im Fall fortschreitender Automatisierung, überwacht den Zustand der aktuellen Fluglage oder der einzelnen Systeme.

Um das Flugzeug entsprechend zu steuern, benötigt der Mensch spezifische Informationen, die ihm durch Anzeigen vermittelt werden. Diese können visuell, akustisch oder haptisch<sup>45</sup> dargestellt werden. Die biologischen Prozesse der Informationsverarbeitung beim Menschen selbst werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

## Periodisierung und Aufbau der Arbeit

Für diese Arbeit wurde eine Periodisierung gewählt, die Bezug nimmt auf die historische Entwicklung der Flugleistungen der zivilen Flugzeuge sowie deren Verbreitung im nationalen beziehungsweise im internationalen Luftverkehr und diese mit Zäsuren im politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext der Luftfahrtentwicklung verknüpft. Wie fast jedes Technikfeld ist auch die Entwicklung der Cockpitinstrumentierung von einigen wenigen Basisinnovationen auf der einen Seite und einer Fülle inkrementeller Innovationen auf der anderen Seite geprägt. Basisinnovationen wie zum Beispiel die Einführung der Instrumentenanordnung nach dem Basic-T Standard benötigten einen langen, teils Jahrzehnte umfassenden Prozess, um im internationalen Flugzeugbau Anwendung zu finden.

Die erste Phase kann als Inventionsphase des Motorflugs bezeichnet werden. Sie beginnt mit den ersten Motorflügen der Gebrüder Wright 1903 und endet nach dem Ersten Weltkrieg 1918. Diese Phase wurde in einer ersten, bis zum Beginn des Ersten Weltkriegs dauernden Periode von einer hohen technologischen Offenheit geprägt.<sup>46</sup> Zahlreiche Erfinder und Konstrukteure präsentierten eine Fülle unterschiedlicher Konzepte für das Flugwerk und die Steuerung. Neben dem Streben nach fliegerischen Erfolg und Ruhm standen auch wirtschaftliche Interessen im Vordergrund, ging es

---

<sup>45</sup> Zum Beispiel Steuerdrücke oder Stick Shaker.

<sup>46</sup> Vgl. Möser, Amphibien, Landschiffe, Flugautos: Utopische Fahrzeuge der Jahrhundertwende und die Durchsetzung des Benzinautomobils, 1999/2, S. 63-83.

---

doch meist darum, die Erfindungen an einen finanzkräftigen Kunden, meist das Militär, zu verkaufen und dadurch die Produkte zur Marktreife weiterentwickeln zu können. Dies setzte aber voraus, dass die Flugzeuge einfach und sicher zu bedienen waren. Unter dem militärischen Bewährungsdruck des Ersten Weltkriegs fand dann eine technologische Selektion und Schließung statt. Die Flugzeuge mussten so konstruiert werden, dass sie flugmechanisch stabil flogen und somit das Fliegen von den vielen auszubildenden Piloten leicht erlernbar war. Durch ihren Einsatz als Aufklärer, später auch als Jäger und Bomber, war es notwendig, dass die Flugzeuge entsprechende Flughöhen, Distanzen und Flugzeiten überwinden konnten. Nun wurden Flugzeuge in großen Stückzahlen gebaut und nicht mehr nur zu Vorführungszwecken betrieben. Im Bereich des Cockpits waren die Flugzeuge jedoch bis zum Ende des Ersten Weltkriegs noch rudimentär ausgestattet. Die Steuerung und Flugführung basierte weitestgehend auf den Sinnen des Piloten.

Die zweite Phase des Bearbeitungszeitraums umfasst im Wesentlichen die Zwischenkriegszeit sowie den Zweiten Weltkrieg. Kurz nach dem Ersten Weltkrieg entwickelte sich in Europa und in Amerika der kommerzielle Luftverkehr. Zunächst wurden Kriegsflyer so modifiziert, dass diese kleine Lasten oder Passagiere transportieren konnten. Postflugrouten und erste Linienstrecken wurden aufgebaut. Kreisel und elektrische Kommunikations- und Navigationsinstrumente wurden zum Standard. Die Flugzeuge erreichten eine hohe Zuverlässigkeit, Flughöhe und Reichweite. Der Flug ohne Sicht nach außen, nur basierend auf die Instrumentenanzeigen im Cockpit, nachts oder bei schlechtem Wetter, setzte sich durch. Die Flugbesatzung stieg mit zunehmender Flugzeuggröße an und wurde um Funker, Flugingenieur und Navigator erweitert. Auch wurden entsprechende Infrastrukturen am Boden geschaffen, um den Flugbetrieb auf zugewiesenen Routen bei Tag, Nacht und schlechtem Wetter durchführen zu können.

Der Zweite Weltkrieg brachte zwar einen Innovationschub im Bereich der Flugleistungen. Die Entwicklung von neuen Fluginstrumenten stagnierte aber. Lediglich im Bereich der Funkkommunikation und Funknavigation wurden technische Grundlagen geschaffen, deren Weiterentwicklungen in der Nachkriegszeit zu weltweiten Standards in der zivilen Luftfahrt wurden. Auch andere Standards, wie die Basic-T Anordnung der primären Fluginstrumente, wurden durch den Zweiten Weltkrieg angeschoben, etablierten sich aber erst später allmählich im zivilen Flugzeugsektor.

---

Die dritte Phase des Betrachtungszeitraums beginnt mit dem Wiederaufbau der zivilen Luftfahrt nach dem Zweiten Weltkrieg. Analog zur Zwischenkriegsphase wurden militärische Innovationen auf zivile Flugzeuge übertragen. Bereits kurz nach dem Zweiten Weltkrieg wurden zivile Interkontinentalflüge zur Regelmäßigkeit. Die Kolbentriebwerke wurden zunehmend durch verbesserte Jettriebwerke ersetzt, deren Vorgänger bereits während des Zweiten Weltkriegs zum Einsatz gekommen waren. Damit stiegen die Flugleistungen im Hinblick auf Flughöhe und Geschwindigkeit weiter an. Die während der Zwischenkriegsphase gewachsene Flugzeugbesatzung wurde stufenweise wieder reduziert. Der Flug nach Instrumenten wurde zum Standard, und somit wurde ein nahezu vollkommenen Wetter- und Tageszeit unabhängiger Flugbetrieb möglich. Das Flugzeug entwickelte sich zum Massentransportmittel.

Der Betrachtungszeitraum dieser Arbeit endet mit der Fallstudie über die Einführung der Boeing 737-130 bei der Lufthansa. Anhand dieses Fallbeispiels wird analysiert, welche Anforderungen die Lufthansa an das Flight Deck der ersten Serienmodelle der Boeing 737 stellte. Im Besonderen wird darauf eingegangen, wie der Innovationsprozess des Flight Decks der Boeing 737-130 zwischen den Akteuren Boeing und Lufthansa ausgehandelt wurde.

## Quellenbasis

Besonders für die Anfangsjahre des motorisierten Fliegens mit Flugzeugen ist eine Vielzahl von Literatur im Bereich der Technikgeschichte, Verkehrs- und Mobilitätsgeschichte sowie Biographien vieler Akteure aus der Pionierzeit verfügbar. Diese Quellen beschreiben meist das Flugzeug als ganzes System oder die damit vollbrachten Leistungen. Im Bezug zum Thema dieser Arbeit geben sie nur wenig Informationen. Um diese Quellen dennoch zu nutzen, mussten entsprechende Interpolationen vorgenommen werden, wie zum Beispiel der Vergleich von Systembeschreibungen mit entsprechendem Bildmaterial.

Die Sichtung und Auswertung von Abbildungen gehörte zu den grundlegenden Methoden zur Ermittlung des Cockpitaufbaus. Weiterhin lassen die Anordnungen der Instrumente, Schalter und Hebel Rückschlüsse auf die Bedienung und die Komplexität des Flugzeugs zu. Allerdings sind die Abbildungen historischer Flugzeuge, besonders im

---

Bereich des Cockpits, meist wenig detailreich, so dass sich oft auch nur Vermutungen anstellen lassen.

Artikel aus Fachzeitschriften bilden gute Quellen für neue Technologien und deren Anwendung. Eine der besten Quellen für diese Arbeit ist die britische Fachzeitschrift *Flight*.<sup>47</sup> Die seit 1909 regelmäßig erschienen Ausgaben passten sich vom Inhalt und Umfang dem wachsenden Luftverkehr an. Als „Official Organ of the Royal Aero Club of the United Kingdom“ wurden auch Meldungen zur Lufttüchtigkeit von Komponenten veröffentlicht. Auch über Entwicklungen und Ereignisse in der Luftfahrtgemeinde außerhalb Großbritanniens wird berichtet. Die Zeitschrift richtet sich an Piloten, Konstrukteure und Entwickler von Flugzeugen und Luftfahrtsystemen. Aber auch für diese Quellen gilt, dass sie sich nur partiell mit dem Cockpit von Flugzeugen auseinandersetzen. Es mussten entsprechende Ableitungen aus technischen Beschreibungen, Flug und Erfahrungsberichten getroffen werden. Bei der Vorstellung neuer Technologien wurde die Lesergemeinde vor vollendete Tatsachen gestellt. Es wurden die auf dem Luftfahrtmarkt verfügbaren neuen Technologien oder Instrumentierungen vorgestellt. Diskurse zu diesen Entwicklungen wurden nicht vollständig publiziert. Diese waren teilweise in der Sekundärliteratur zu finden. Ein wesentlicher Vorteil zur Sekundärliteratur jedoch besteht in der direkten Zuordnung der zur Verfügung stehenden Technologien zum jeweiligen Zeitpunkt.

Etwa zeitgleich mit der Einführung der Jettriebwerke und Implementierung von nationalen und internationalen Luftfahrtorganisationen und Behörden wurden Flugunfallberichte zu wichtigen Quellen. Viele Datenbanken, wie zum Beispiel die der amerikanischen Federal Aviation Administration und der deutschen Bundesanstalt für Flugunfalluntersuchung sind öffentlich zugänglich.<sup>48</sup> Diese beinhalten abgeschlossene Unfalluntersuchungen. Die meisten Flugzeugunglücke sind auf menschliches oder technisches Versagen zurück zu führen. Einige hängen aber auch direkt mit der Cockpit- oder der Instrumentengestaltung zusammen. Die Unfallberichte zeichnen sich durch

---

<sup>47</sup> Weitere Beispiele für verwendete Fachzeitschriften: Deutsche Luftwacht, Der Flugleiter, Flugwelt, Air Line Pilot, etc.

<sup>48</sup> Siehe dazu Website: [http://www.nts.gov/\\_layouts/ntsb.aviation/index.aspx](http://www.nts.gov/_layouts/ntsb.aviation/index.aspx) sowie [http://www.bfu-web.de/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/untersuchungsberichte\\_node.html](http://www.bfu-web.de/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/untersuchungsberichte_node.html) (für Details siehe Literaturverzeichnis).

---

fundierte Rechercharbeit der Unfalluntersucher aus und lassen diverse Rückschlüsse auf zukünftige Instrumentengestaltung zu.

Die Datenbanken der nationalen Flugunfalluntersuchungsbehörden reichen unterschiedlich weit in die Vergangenheit zurück. Die Unfallberichte der amerikanischen Federal Aviation Authority, beziehungsweise die des National Transportation Safety Boards, reichen bis 1936 zurück. Andere, wie zum Beispiel die der britischen Civil Aviation Authority, beginnen erst ab 1971 und liegen somit außerhalb des Bearbeitungszeitraums dieser Studie.

Eine weitere wichtige Quelle sind die Bauvorschriften für Flugzeuge. Grundsätzlich wurden Bauvorschriften national ratifiziert. Jedoch wurden auch Standards gegenseitig anerkannt, so dass eine Musterzulassung in anderen Ländern vereinfacht werden konnte. Für diese Arbeit sind besonders die Vorschriften der amerikanischen Luftfahrtbehörde von Bedeutung, da der Luftverkehrsmarkt in den USA auch ein wichtiger Absatzmarkt für europäische Konstruktionen war.<sup>49</sup>

Die Bauvorschriften wurden als Durchführungsbestimmungen zu nationalen Gesetzen veröffentlicht. Die Diskurse, die zu diesen Festlegungen führten, können jedoch nicht an selbiger Stelle gefunden werden. Auch hier lässt die Sekundärliteratur, wenn auch nicht in vollem Umfang, partielle Rückschlüsse zu.

Erfahrungsberichte gehören zu den aussagekräftigsten Quellen in der Luftfahrt. Aber gerade bei diesen Quellen ist es wichtig, zwischen subjektiven und objektiven Aussagen zu unterscheiden. Viele Aussagen aus Erfahrungsberichten, besonders was fliegerische Verfahren oder die Interpretation von Anzeigen im Cockpit betreffen, lassen sich in Simulationen nachstellen und verifizieren. Der Fokus in den Erfahrungsberichten liegt auf fliegerischen Leistungen. Stärken und Schwächen der Instrumentierung, Ergonomie und Ausrüstungen blieben meist unkommentiert.

Das Archiv der Lufthansa in Frankfurt beherbergt nahezu alle Verträge zur Anschaffung der Boeing 737-130. Für diese Arbeit waren besonders die nachträglich verfassten Vertragsänderungen zum Kauf der ersten Boeing 737 Flotte von Bedeutung. Diese beinhalteten neben finanziellen Werten auch detaillierte Angaben über Änderungen

---

<sup>49</sup> Für Federal Aviation Administration Bauvorschriften siehe [http://www.faa.gov/regulations\\_policies/faa\\_regulations/](http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations/).



---

des Flight Decks, insbesondere was Instrumentenanordnungen und Grenzwerte für die automatische Flugsteuerung betrifft. Da die Lufthansa bereits recht früh in die Entwicklung der Boeing 737 involviert war, kam es noch vor der Musterzulassung zu Änderungen im Kaufvertrag, die zeitnah zwischen Lufthansa und Boeing verhandelt wurden.

Den analysierten Change Orders zum Kaufvertrag waren teilweise Begleitdokumenten wie Briefe und Memoranda beigelegt. Aus diesen konnten vereinzelt Argumente seitens der Lufthansa für bestimmte Änderungen entnommen werden. In Einzelfällen konnten Lufthansainterne Diskurse nachvollzogen werden.

Die Auswertung der Lufthansa-Archivunterlagen wurde durch Experteninterviews mit den ehemaligen Boeing 737-130 Piloten Herwig Kennerknecht und Hannes Steffen abgerundet. Diese Zeitzeugen konnten eloquent darstellen, wie das Flugzeugmuster eingesetzt wurde und welche technischen Innovationen, im Vergleich zu anderen Flugzeugmustern der Lufthansaflotte, die Boeing 737 auszeichneten.



---

# Kapitel 1 – Der Weg in die Luft

Der Weg von der Erfindung des motorisierten Flugzeugs bis zu einem serienreifen Kriegsgerät dauerte circa ein Jahrzehnt. In diesem Zeitraum musste nicht nur die Technologie entwickelt werden. Die Bediener des Systems Flugzeug, die Piloten, mussten auch den Umgang mit den Geräten erlernen. In diesem Kapitel wird die Entwicklung vom ersten erfolgreichen Motorflug bis zu Beginn des Ersten Weltkriegs dargestellt. Der Fokus liegt dabei neben den Erfindern und Entwicklern der Fluggeräte ebenso bei den Piloten, die bereit waren, große Risiken einzugehen. Dazu soll die Frage beantwortet werden, welche Geräte und Hilfsmittel den Piloten ihre Aufgabe ermöglichten, einen Flug sicher durchzuführen. Von Interesse ist dabei insbesondere auch, dass neben den Geräten und Hilfsmitteln, ihren Funktionen und Anordnungen im Cockpit schon in der frühen Phase des Motorflugs Verfahren entwickelt wurden, die bis heute noch unverändert eingehalten werden.

Weiterhin wird dargestellt, wie sich der Wissenstransfer aus anderen Verkehrstechnologien, wie zum Beispiel der Schifffahrt oder dem Automobilbau, auf die Flugtechnik auswirkte.

## Entwicklungen und deren Erfinder

Der Traum vom Fliegen ist seit langer Zeit Bestandteil der Menschheit, aber für die Umsetzung von Träumen bedarf es Erfinder, Denker und Visionäre. Von Sagen und Legenden abgesehen, begannen bereits die Chinesen ca. 1232 mit dem Einsatz von Raketen zu militärischen Zwecken. In den darauffolgenden Jahrhunderten entwickelten Roger Bacon, Leonardo da Vinci, Giovanni Battista, John Wilkins und Giovanni Borelli verschiedenste Theorien bzw. führten bereits Flugversuche durch. 1783 gelang

---

es dann den Brüdern Montgolfier den ersten Flug, oder besser Fahrt<sup>50</sup>, mit einem Passagier in einem Heißluftballon durchzuführen.<sup>51</sup>

Aufgrund der Erfahrungen von den ersten Ballonfahrten wurde ein neues Feld der medizinischen Forschung, die Flugmedizin, ins Leben gerufen. Besonderes Interesse galt der Höhenwirkung auf den menschlichen Körper. Bei den Aufstiegen in große Höhen kam es zu vielen Unfällen aufgrund von Hypoxämie<sup>52</sup>, Höhenrausch<sup>53</sup> und Erfrierungen<sup>54</sup>. Trotz dieses „Problemdrucks“ gelang es nur, praxisbezogen den atmosphärischen Aufbau und die Wirkung auf den menschlichen Körper zu erforschen.<sup>55</sup>

Etwa ein Jahrhundert und etliche neue Theorien von Visionären und Erfindern weiter, gelangen die ersten Versuche mit bemannten Gleitflugzeugen. Am 17. Dezember 1903 schaffte Orville Wright in einer Dauer von 12 Sekunden den ersten motorisierten Flug mit einem Fluggerät, das schwerer als Luft war.<sup>56</sup>

Auch die Wrights bauten ihren fliegerischen Erfolg aus, erwarben mehrere Patente und gründeten 1909 eine Firma, die 1929 von einem anderen Pionier, Glenn Curtiss, gekauft wurde und in den folgenden Jahren als Curtiss-Wright Corporation in der Luftfahrt bekannt wurde.<sup>57</sup>

Zwei weitere prominente amerikanische Flugzeugkonstrukteure begannen ihre Karriere noch vor dem Ersten Weltkrieg: William Boeing und Donald Wills Douglas. Im Juli

---

<sup>50</sup> Bei Geräten die auf dem physikalischen Prinzip der Aerostatik beruhen, wie zum Beispiel Ballone oder Zeppeline, spricht man grundsätzlich von „fahren“. Die Herkunft kommt aus der Seefahrt, wo gleiche Begriffe Verwendung finden. Geräte schwerer als Luft, die ihren Auftrieb durch Aerodynamik erzeugen fliegen durch die Luft.

<sup>51</sup> Vgl. Rhoades, *International Aviation*, 2008, S. 15 sowie Crouch, *The Wright Brothers*, 2002, S. 8-11; vgl. Höhler, *Luftfahrtforschung und Luftfahrtmythos: Wissenschaftliche Ballonfahrt in Deutschland 1880-1910*, 2001, S. 22.

<sup>52</sup> Hypoxämie definiert sich als ein erniedrigter Sauerstoffgehalt im arteriellen Blut.

<sup>53</sup> Euphorie gilt als ein Indikator einer frühen Phase der Hypoxie.

<sup>54</sup> Siehe dazu Trimble, *From Airships to Airbus - The History of Civil and Commercial Aviation*, 1995, S. 73-87; vgl. Höhler, *Ballonfahrt in Deutschland*, 2001, S. 226.

<sup>55</sup> Vgl. Coleman & Perrin, *Early Flight in America*, 1999, S. 9; vgl. Deutsche Luftwacht, 1936, S. 264-265; vgl. Trimble, *From Airships to Airbus*, 1995, S. 72-74; Neumann, *Die Luftfahrtmedizin von der Weimarer Republik bis zur frühen Bundesrepublik*, 2007, S. 138-155; Cüppers, *Die geschichtliche Entwicklung der Höhenphysiologie und ihre Bedeutung für die Luftfahrtmedizin bis 1961*, 1994, S. 26ff., 141-145; vgl. Welch, *Van Sickle's Modern Airmanship*, 1995, S. 397ff.; vgl. Robinson, *The Dangerous Sky: A History of Aviation Medicine*, 1973, S. 1-51.

<sup>56</sup> Vgl. Rhoades, *International Aviation*, 2008, S. 15 sowie Crouch, *The Wright Brothers*, 2002, S. 8-11; vgl. Brooks, *Aircraft and their Operation*, 1978, S. 789-793; vgl. Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 84-85.

<sup>57</sup> Vgl. Rhoades, *International Aviation*, 2008, S. 16-17.

---

1916 startete Boeing seine Karriere bei der im Vorjahr gegründeten Firma Pacific Aero Products. Das Unternehmen fing mit der Produktion eines Wasserflugzeugs an und arbeitete auch an einem Flugzeug, das später als Model C bezeichnet wurde. Es bestand die Hoffnung, das Model C in großen Stückzahlen an die US Navy zu verkaufen, da bereits 50 Bestellungen vor dem Ersten Weltkrieg vorlagen. Dieser und ein weiterer Auftrag zur Produktion der Curtiss HS-2L, einem weiteren Wasserflugzeug, brachten das Unternehmen durch den Ersten Weltkrieg. Währenddessen begann Douglas seine Karriere bei der Glen L. Martin Co. als Chefingenieur, wo er den Martin MB-1 Bomber entwarf. Der Martin MB-1 Bomber war der erste in den USA entworfene Bomber, der in Produktion ging.<sup>58</sup>

Auch in Europa wurde intensiv an fliegerischen Erfolgen gearbeitet. So zum Beispiel der Franzose Louis Blériot, dem 1909 mit seiner Blériot XI, einem einmotorigen Mitteldecker, die Kanalüberquerung gelang. Zwei Jahre später wurde dieser Flugzeugtyp von den italienischen Streitkräften in Nordafrika eingesetzt. Ein weiterer europäischer Flugpionier, der Niederländer Anton Herman Gerard Fokker<sup>59</sup>, gründete sein erstes Luftfahrtunternehmen 1910 im Alter von 21 Jahren und baute sein erstes Flugzeug, die Spinne, mit dem er am 16. Mai 1911 seine Pilotenlizenz erwarb. Die Spinne war ein 2-sitziger Tiefdecker mit Zugpropeller. Die Spinne I und Spinne II verunglückten. Die Spinne III wurde an die deutschen Streitkräfte verkauft. Anschließend begab sich Fokker an den Entwurf seines legendären Dreideckers, der durch Manfred von Richthofen, dem sogenannten „Roten Baron“, im Ersten Weltkrieg berühmt wurde.<sup>60</sup>

Die ersten Flugzeughersteller und deren Zulieferer verwendeten mehr praktische Erfahrungen als theoretische Ansätze in den Entwicklungen und den Produkten.<sup>61</sup> Diese praktischen Erfahrungen führten zu einer großen Vielfalt von Lösungen und deren Umsetzung, zum Beispiel in Form unterschiedlicher Flugzeugsteuerungen.

Historiker wie Malcolm Cooper bedauerten deswegen die Intentionen des britischen War Offices, den Theoretikern und wissenschaftlichen Experten, besonders denen der

---

<sup>58</sup> Vgl. Rhoades, *International Aviation*, 2008, S. 17; vgl. *Flight*, 1920, S. 1244.

<sup>59</sup> Auch „Anthony Fokker“ genannt.

<sup>60</sup> Vgl. Rhoades, *International Aviation*, 2008, S. 17; vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 437-439; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 789-793; vgl. Gibbs-Smith, *The Invention of the Aeroplane (1799-1909)*, 1966, S. 179-181, 210.

<sup>61</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 6.

---

Royal Aircraft Factory, große Aufmerksamkeit zu schenken. Ein besonderes Interesse bestand ihrerseits in der Standardisierung und nicht in den teils vielfältigen Ansätzen der Praktiker.<sup>62</sup>

## Die Wrights – Vorbilder der kommenden Flugzeugbauer

Die Wrights können als Vorbilder für die Flugzeugbauer der Inventionsphase bezeichnet werden. Obwohl die Flugzeuge der Wrights nicht über Cockpits im Sinne des heutigen Verständnisses verfügten und ihre Instrumentierungen nur zur Flugauswertung als zur aktiven Steuerung und Überwachung verwendet wurden, sind die Brüder ein gutes und angebrachtes Beispiel für die Eigenschaften, die die Erfinder der ersten Motorflugzeuge besaßen, um ihre Pionierleistungen von 1903 bis 1914 zu vollbringen.

Die Brüder Orville und Wilbur Wright betrieben von 1892 bis 1907 einen Fahrradverkauf und ein Reparaturgeschäft. Bereits 1895 entwarfen und konstruierten sie eigene Fahrräder. Mit dem technischen Verständnis für Leichtbau perfektionierten sie auch die notwendigen Fertigkeiten, die später bei ihrem Flyer Anwendung fanden. Dabei war ihnen klar, dass ein Flugzeug steuerbar sein muss und dass man den entsprechenden Umgang damit, ähnlich wie das Fahrradfahren, erlernen muss.<sup>63</sup>

Deshalb verfolgten die Brüder mit großem Interesse die Zeitungsberichte über die Gleitflugpioniere, ganz besonders die von Otto Lilienthal, der rund 2000 Flüge in 18 unterschiedlichen Flugmodellen absolvierte. Auch sein Buch „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“, das am 05. Dezember 1889 veröffentlicht wurde<sup>64</sup>, war Lektüre der Wrights. Aber auch andere Erfinder und Luftfahrtpioniere wie der amerikanische

---

<sup>62</sup> Ebd. S. 6; vgl. Cooper, *The Birth of Independent Air Power: British Air Policy in the First World War*, 1986, S. 3 ff.

<sup>63</sup> Vgl. Crouch, *The Wright Brothers*, 2002, S. 22-25; vgl. Broelmann, *Kreiseltechnik*, 2002, S. 109-113; vgl. Trischler, *Luftfahrtforschung*, 1992, S. 37; vgl. Hanijski, 1973, S. 535-552; Jakab P., *Visions of a Flying Machine: The Wright Brothers and the Process of Invention*, 1990.

<sup>64</sup> Siehe dazu auch Lilienthal, *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*, 2003; vgl. Waßermann, *Otto Lilienthal - Ein Leben für einen Menschheitstraum*, 1991, S. 13.

---

Eisenbahningenieur Octave Chanute oder der Astrophysiker Samuel Langley gehörten, zusammen mit ihren Gleitflugzeugmodellen und Veröffentlichungen, zu ihren Ideengebern.<sup>65</sup>

Im Kontrast zu ihren Eigenschaften und Sichtweisen als Entwickler, sahen sie das Projekt aber auch als eine finanzielle Investition in die Zukunft. Ihr Ziel war es, die Flugzeuge zu perfektionieren und an den Meistbietenden zu verkaufen. Dabei standen stets Armeen und Marinen besonders im Fokus. Die Schlüsselfiguren der Militärs erkannten die Wichtigkeit der Luftfahrt, und so bauten die Wrights Ende 1905 erste Kontakte zu amerikanischen und französischen Militärbehörden auf. Im Frühjahr 1906 wurde ihre Kontaktliste um Deutschland, Italien, Russland, Österreich und Japan erweitert. David Edgerton beschreibt, dass es für die Briten ein großes Problem war, dass die Wrights dem britischen Militärattaché nicht gestatten wollten, das Fluggerät in Aktion zu sehen, bevor ein entsprechender unterzeichneter Vertrag vorlag. Deshalb wurde im Dezember 1906 der Wright Flyer wieder von den Briten zurückgezogen, und die Vertragsverhandlungen wurden aufgegeben.<sup>66</sup>

In Europa wurde der erste motorisierte Flug von dem Brasilianer Santos-Dumont im Oktober 1906 durchgeführt. Die Gebrüder Wright demonstrierten erst 1908 ihren Flyer in Frankreich, wo sie von starker Konkurrenz beobachtet wurden, denn schon ab 1907 war Frankreich ein industrielles Zentrum für den Flugzeugbau. Die erste Luftfahrtindustrie wurde nämlich in Frankreich etabliert.<sup>67</sup>

In Deutschland hingegen war zunächst kein großes Interesse am motorisierten Flug zu erkennen. Erst ab 1908/09 begannen kleine Firmen mit der Entwicklung von Motorflugzeugen. Ihre Bemühungen konnte man aber eher als Basteln bezeichnen, obwohl die Erfinder von Fluggeräten in vielen Gesellschaftsschichten zu finden waren. Zu ihnen zählten Geschäftsleute, Ingenieure, Wissenschaftler und jene ohne Beruf. Der

---

<sup>65</sup> Vgl. Crouch, *The Wright Brothers*, 2002, S. 26-38; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 63-68, 82-85.

<sup>66</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 2-3.

<sup>67</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 3-4; vgl. Tre Tryckare Cagner & Co., *The Lore of Flight*, 1970, S. 50; vgl. Metz, *Ursprünge der Zukunft - Die Geschichte der Technik in der westlichen Zivilisation*, 2006, S. 279-283; siehe auch Flachowski, *Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat*, 2008, S. 29; vgl. Hundertmark, *Flugplatz Johannisthal - Wiege der deutschen Luftfahrt*, 1991, S. 23-24; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 789-793; vgl. Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 209; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 35-44.

---

Großteil der Entwickler von Flugzeugen waren Ingenieure, die ihre Arbeiten in Kellern, Holzhäusern oder gemieteten Hangars durchführten. Schon ab November 1908 gab es zehn private Projekte zum Bau von Motorflugzeugen. Grundlage dieses privaten Engagements war der technische Rückstand des deutschen Militärs. In Frankreich zum Beispiel war die Entwicklung von Motorflugzeugen wesentlich weiter vorangeschritten.<sup>68</sup>

## Die ersten Instrumentierungen

Der Weg der Entwicklung und sachgerechten Platzierung von Fluginstrumenten war von Individualismus geprägt. Auch ihre physikalischen Voraussetzungen und technischen Machbarkeiten mussten erst erprobt und getestet werden. Dabei werden auch die Anforderungen an den Piloten bei der Handhabung und Wertung der zunehmenden Informationen durch Drehzahlmesser, Barometer, Neigungs- und Geschwindigkeitsmesser bis hin zu möglichen Kommunikationsmitteln berücksichtigt.

Damit ein Flugzeug sich stabil in der Luft bewegen kann, muss es einen bestimmten Flugzustand einhalten, um die Relationen von Auftrieb, Gravitation, Vortrieb und Widerstand im Gleichgewicht zu halten. Beim Flug zu einem bestimmten Ziel, dem sogenannten Navigationsflug, sind zudem die Flugrichtung, Fluggeschwindigkeit und auch die Flughöhe von Bedeutung. Das Flugzeug, das sich in einem flugmechanischen Gleichgewicht befindet, muss diesen Zustand kontrolliert bis zum Ziel einhalten. Die auftretenden Störgrößen wie Wind, Thermik, Niederschlag (wie Hagel, Regen oder Schnee), geografische Hindernisse und wechselnde Lichtverhältnisse sind vom Piloten auszugleichen, oder er muss ihnen ausweichen. Dabei sind grundsätzlich zwei Einflussarten zu unterscheiden. Zum einen muss der Pilot das Flugzeug im flugmechanischen Gleichgewicht halten, zum anderen muss er das gesamte System Flugzeug durch den Raum navigieren, um das geographische Flugziel zu erreichen. Für beide Fälle wurden entsprechende Hilfsmittel und Instrumente entwickelt.

In den ersten Jahren des Fliegens mit motorgetriebenen Geräten schwerer als Luft war das praktische Fliegen selbst eine reine Gefühlssache. Die Augen, Ohren und der

---

<sup>68</sup> Vgl. Morrow, *German Air Power*, 1976, S. 3-4, 17-19, 25; vgl. Kurz, *Das Flugzeug als Waffe: Der Erste Weltkrieg als Experimentierfeld des Luftkrieges*, 1991, S. 39.



---

Tastsinn waren die primären Sinne, mit der das Flugzeug vom Piloten kontrolliert wurde. Das galt sowohl für das Flugzeug, zwecks Einhaltung des korrekten Flugzustandes, als auch für die Navigation. Die Einhaltung des korrekten Flugzustandes war die elementarste und komplexeste Aufgabe für den Piloten, da die Flugzeuge bis 1911 nicht flugmechanisch stabil ausgelegt waren. Das erste flugmechanisch stabile Flugzeug war der vom britischen Flugzeugkonstrukteur Geoffrey de Havilland gebaute Doppeldecker BE2.<sup>69</sup> Der Wright Flyer befand sich an der Grenze zwischen flugmechanisch indifferent mit einem leichten Hang zur Instabilität.<sup>70</sup> Dies hatte zur Folge, dass jede Störung, sei es durch Wind, Böen oder Thermik, durch den Piloten ausgeglichen werden musste. Bei flugmechanisch stabilen Flugzeugen hat das Flugzeug ein eigenes mechanisches Bestreben, in einen stabilen Flugzustand zurück zu kehren. Das Fliegen von instabilen Flugzeugen bedurfte eines besonderen Feingefühls der Piloten, um die Aktionen des Flugzeugs durch entsprechende Reaktionen auszugleichen. Dadurch konnte man die Reflexe und die Reaktionsfähigkeiten der Piloten den von Zirkusartisten gleichsetzen. Lediglich die noch sehr geringe Fluggeschwindigkeit und die damit verbundene Langsamkeit der Flugzeugeigenbewegungen erleichterte den ersten Piloten in instabilen Flugzeugen ihre Arbeit.

Ab 1909, nach Etablierung der stabilen Flugzeuge, waren instabile Flugzeuge nicht mehr gefragt. Auch erleichterte sich damit die Ausbildung der Piloten, da artistengleiches Balancegefühl und Feinmotorigkeit nicht mehr entscheidend waren.<sup>71</sup>

Das Auge schätzte die Flughöhe, die Entfernung zu Hindernissen und das Wetter ab. Das Ohr überwachte das Rundlaufen des Motors und die Fahrtgeräusche, die von Spanndrähten oder anderen Kanten am Flugobjekt hervorgerufen wurden. Vereinfacht wurde diese Art der Überwachung des Flugzustandes und der Navigation dadurch,

---

<sup>69</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 7; zur BE2 Flugzeugserie siehe Bruce, *The Aeroplanes of the Royal Flying Corps (Military Wing)*, 1982 sowie Bruce, *Profile Publications Nr. 133: The B.E.2, 2a & 2b*, 1966.

<sup>70</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 21.

<sup>71</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 173-174.

---

dass sich der Pilot in den Anfangsjahren des motorisierten Fluges in einer „offenen Kabine“<sup>72</sup> befand.<sup>73</sup>

Der Gleichgewichtssinn gab neben den optischen Eindrücken weitere Rückschlüsse auf die Fluglage, wobei aufgrund der Beschleunigungswirkungen, die beim Flug auftreten können, der Gleichgewichtssinn sehr schnell seinen räumlichen Bezug zu den Erdkoordinaten verliert und somit nur in Kombination mit optischen Beobachtungen bewertet werden kann. Hingegen gab der Tastsinn neben der Abschätzung der Fluggeschwindigkeit aufgrund des Winddruckes auch Aufschluss über die intakte Struktur des Flugzeugs, da drohendes Strukturversagen sich häufig durch Vibrationen ankündigte.

Die Wrights verwendeten in ihrem ersten Flyer eine Stoppuhr, ein Anemometer und einen Drehzahlmesser für das Triebwerk. Sie sind aber eher als Flugerprobungsinstrumente statt als Fluginstrumente zu werten, weil sie dazu gedacht waren, vor dem Flug die Motordrehzahl einzustellen sowie die Flugdistanz, Fluggeschwindigkeit und Geschwindigkeit über Grund nach dem Flug anhand des Anemometers und der Stoppuhr zu ermitteln.<sup>74</sup> Die Flugdurchführung und die Steuerung des Flyers erfolgte ausschließlich anhand der Sinne des Piloten.

In einem Flugzeug der Wrights von 1909 war ein kleines Stück Stoff oder eine kleine Schnur angebracht, um ein Schieben während des Kurvenflugs anzuzeigen. Philip Jarrett fand heraus, dass bereits der schottische Erfinder Percy Pilcher 1896 für seine Hängegleiter einen Faden verwendete, um Schiebewinkel anzuzeigen. Somit könnte diese Erfindung das erste Instrument sein, das speziell für die Fliegerei mit Flugzeugen entwickelt worden ist.<sup>75</sup>

Die technische Evolution führte schon bald zu viel leistungsfähigeren Flugzeugen. Fluggeschwindigkeit, Flugleistung, Einsatzdauer und Motorleistungen wuchsen rasch

---

<sup>72</sup> Viele Flugzeugkonstruktionen der Anfangszeit sahen für den Piloten nur eine Sitzgelegenheit inmitten einer Fachwerkkonstruktion vor, von der es möglich war die Steuerungseinrichtungen zu bedienen. Ein Grund dafür lag zweifellos in der Gewichtsreduzierung der ersten Flugapparate.

<sup>73</sup> Vgl. Cohausz, *Cockpits deutscher Flugzeuge*, 2000, S. 8; ebd. S. 36; vgl. Coombs, *The Pilot's Place: Consideration of Cockpits, Then, Now and Tomorrow*, 1957.

<sup>74</sup> Vgl. Smithsonian Institution, *In the Cockpit*, 2007, S. 12-15; Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 19-20; Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 18.

<sup>75</sup> Vgl. Jarrett, *Pioneer Aircraft*, 2003, S. 137-159; Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 19; siehe auch Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 202.

---

an, sodass die menschlichen Sinne bei Weitem nicht mehr ausreichten, sich sicher in den drei Dimensionen des Luftraums zu bewegen. Technische Hilfsmittel für die Flug- und Motorüberwachung waren nun nicht mehr entbehrlich, da auch die Komplexität der Flugzeuge und der Triebwerke sich im gleichen Maße erhöhte. Häufig, besonders in der Anfangsphase, störten den Piloten diese Hilfsmittel und wurden oft als „überflüssiger Ballast“ angesehen.<sup>76</sup> Erst später lernten die Piloten die Vorzüge der Instrumente als Sicherheitsgewinn zu schätzen.

Die Hilfsmittel zur Flugüberwachung waren Anfangs nicht speziell für die Fliegerei entworfene und gebaute Geräte, denn erst ab etwa 1911 konnte die Industrie für die Luftfahrt optimierte Geräte anbieten. Bis dahin fanden zum Teil mit Geräten aus anderen Gebieten der Technik wie zum Beispiel aus dem Schiffs-, Maschinen-, Lokomotiven- und Automobilbau sowie der Meteorologie Verwendung. Diese, zum Teil zweckentfremdeten Geräte wurden für den geplanten Einsatzzweck modifiziert. Der Technologietransfer begann schon mit den ersten Erfindungen und betraf nicht nur die Instrumentenkunde; so wurden zum Beispiel Spanndrähte zur Befestigung aus dem Bootsbau übernommen. Ein wesentlicher Aspekt der Entwicklung von brauchbaren Flugzeuginstrumenten war die Verkleinerung sowie die Gewichtsreduzierung. Doch bis dies erreicht war, behalf man sich mit anderen vorhandenen Mitteln.<sup>77</sup>

Grundsätzlich dienten die ersten Instrumente im Flugzeug zur Leistungseinstellung und Triebwerksüberwachung. Zu den ersten Standardinstrumenten gehörten Drehzahlmesser. Da die ersten Triebwerke nahe am Leistungsmaximum operierten, dienten Drehzahlmesser bis zum Ersten Weltkrieg lediglich der Überprüfung des Triebwerkslaufs vor dem Start. Außerdem vermieden es die Piloten während des Fluges Leistungsänderungen vorzunehmen, da die frühen Triebwerke nicht zuverlässig waren und ständige Leistungsänderungen die Ausfallrate erhöhte. Erst ein gleichmäßig rundlaufender Motor, fast frei von Vibrationen, sorgte für mehr Sicherheit beim Flug; wobei die grundsätzlichen Sicherheitsvorkehrungen nach heutigen Maßstäben eher als sehr gering zu bezeichnen sind. Viele Flugzeuge verunglückten durch Strömungsabrisse

---

<sup>76</sup> Vgl. Cohausz, Cockpits deutscher Flugzeuge, 2000, S. 36-37; vgl. Welch, Modern Airmanship, 1995, S. 234ff.; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 50-54.

<sup>77</sup> Vgl. Cohausz, Cockpits deutscher Flugzeuge, 2000, S. 36; vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 69-70; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 53-54; zum Technologietransfer siehe zum Beispiel auch Oldenziel & Hård, Consumers, tinkers, rebels, 2013, S. 68-69 sowie 296-307.

---

oder Strukturversagen. Sie konnten durch die Anfangs instabilen flugmechanischen Eigenschaften der Flugzeuge leicht induziert werden. Dabei starben viele Pioniere, und nur wenige, wie zum Beispiel der britische Flugpionier und Konstrukteur Geoffrey de Havilland, schafften es, sich aus den Trümmern von zerbrochenem Holz und Kabelgewirr zu befreien. Die Möglichkeit, diese rudimentären Cockpits mit einigen Schnittverletzungen und Kratzern zu verlassen, waren jedoch stets gegeben.<sup>78</sup>

Nachdem es den ersten Piloten und Erfindern gelungen war, auch größere Flugstrecken zu bewältigen und die Flugplatzumgebung zu verlassen, navigierten die Piloten unter zu Hilfenahme von Karte und Kompass. Anfangs wurden zum Beispiel Boots- oder Taschenkompassse verwendet. Aufgrund der fehlenden Kompensierung waren sie aber nur unvollkommene Hilfsmittel, da ihre Präzision stark eingeschränkt war.<sup>79</sup> Zum einen wurden sie durch die vielen Metallteile stark abgelenkt, zum anderen wurden Effekte wie Inklination durch Konstruktionen herkömmlicher Kompassse kaum berücksichtigt und ausgeglichen.

Auch kardanisch aufgehängte und kompensierte Flüssigkeitskompassse fanden Verwendung. Diese wurden meist beim Pilotensitz oder in der unteren Tragfläche fest eingebaut. Der strukturelle Aufbau des Flugzeugs beeinflusste den jeweiligen Einbauort, denn der gewählte Ort musste möglichst weit weg vom Anlassmagnet und anderen größeren Metallteilen sein, um die Deviation zu minimieren. Abweichungen von bis zu 40° waren hierbei möglich. Aus diesem Grund musste mit Korrekturtabellen, den Deviationstabellen, im Flug gearbeitet werden.<sup>80</sup> Um die Drift des Flugzeugs aufgrund der Windeinwirkung zu kompensieren, entwickelten Erfinder wie der Ungar Alexander Gross „Anti-Drift“ Kompassse.<sup>81</sup>

In den Anfangsjahren wurden handelsübliche Straßen und Landkarten verwendet. Die Problematik für die Aviatik bestand darin, dass diese Karten oft nicht die Bedingungen der Flächen-, Winkel- und Längentreue aufwiesen, wie das bei heute verwendeten Luftfahrtkarten, die auf der lambertschen Schnittkegelprojektion beruhen, der Fall ist.

---

<sup>78</sup> Vgl. Cohausz, Cockpits deutscher Flugzeuge, 2000, S. 36; Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 20; vgl. Gibbs-Smith, The Rebirth of European Aviation 1902-1908, 1974, S. 166-168.

<sup>79</sup> Vgl. Kracheel, Flugführungssysteme, 1993, S. 42-43; vgl. Conway, 2006, S. 14; vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 204; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 54-55.

<sup>80</sup> Vgl. Cohausz, Cockpits deutscher Flugzeuge, 2000, S. 36; vgl. Flight, 1911, S. 78; vgl. Flight, 1918, S. 565-566.

<sup>81</sup> Vgl. Artikel aus Zeitschrift Flight, 1913, S. 1016; vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 204.

---

In der Seefahrt wurden damals Karten mit Mercatorprojektion verwendet, die aufgrund ihrer Zylinderprojektion die Winkeltreue aufwiesen.<sup>82</sup> In der Pionierzeit, wo die geflogenen Flugstrecken noch recht gering waren, reichten die damals handelsüblichen Karten für die Sichtnavigation wohl aus, da davon auszugehen ist, dass die Piloten primär markanten geographischen Merkmalen folgten.<sup>83</sup> Auch waren die Kompassse noch zu unpräzise, um das Potential der Koppelnavigation voll ausschöpfen zu können. Zu den ersten, speziell für die Luftfahrt hergestellten Karten gehörten die der Firma Sperry Gyroscopes Company Ltd. Neben den Entwicklungen im Bereich der Kreiseltechnik, stellte das Unternehmen ergänzend zu ihren Kreiselgeräten auch Luftfahrtkarten her. Diese Karten unterschieden sich von handelsüblichen Landkarten dadurch, dass für den Piloten irrelevante Angaben weggelassen wurden. Die Karten verfügten über Kennzeichnungen von möglichen Flug- und Landeplätzen sowie Kompassrosen zur Meridianbestimmung und Festlegung von Deklinationslinien.<sup>84</sup> Auch wurden Positionen von Telefonapparaten eingetragen, sodass im Fall einer Außenlandung eine schnelle Erreichbarkeit möglich war.<sup>85</sup>

Die älteste Methode zur Messung der Flughöhe ist die barometrische Höhenmessung. Schon bei den ersten Ballonfahrten wurde das Barometer mit einer in Metern oder Fuß geeichten Skala zur Höhenmessung verwendet. In der Pionierzeit wurden diese Geräte auch für Flugzeuge verwendet, allerdings war der Nutzen in den ersten fünf Jahren stark eingeschränkt, da die Flughöhen noch zu gering waren.<sup>86</sup> Das Messprinzip der Höhenmessung beruht darauf, dass der Luftdruck bei zunehmender Höhe über dem Meeresniveau abnimmt. Die Einstellung des Barometers erfolgte entsprechend der jeweiligen Flugplatzhöhe am Boden vor dem Start. Auch der Wettereinfluss wurde dadurch für die kurzen Flugstrecken ausreichend mit berücksichtigt.<sup>87</sup> So verwundert es nicht, dass trotz vieler Mängel und Ungenauigkeiten diese Methode bis heute in der Luftfahrt noch ihre Anwendung findet. Eine Ungenauigkeit dabei ist, dass der Luftdruck außer von der Flughöhe auch noch von aktuellen atmosphärischen Bedingungen wie

---

<sup>82</sup> Vgl. Flight, 1911, S. 78.

<sup>83</sup> Vgl. Wagner, Luftverkehr, 1987, S. 165-166.

<sup>84</sup> Im Kontext der Luftfahrt werden Deklinationslinien auch als Ortsmissweisung, magnetic variation oder Variation bezeichnet. Siehe dazu auch Nelson, Hurwitz, & Knapp, Magnetism of the Earth, 1962, S. 5.

<sup>85</sup> Vgl. Flight, 1917, S. 928.

<sup>86</sup> Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 21; vgl. Anderson, Navigational Equipment, 1978, S. 841-842; Welch, Modern Airmanship, 1995, S. 234ff.

<sup>87</sup> Vgl. Kracheel, Flugführungssysteme, 1993, S. 23.

---

Wetter oder Druckänderungen, zum Beispiel aufgrund von Luftbewegungen (Wind, Thermik), abhängig ist.

Um weitere Störfaktoren zu minimieren, wurden zum Beispiel die ersten Aneroid-Höhenmesser oder auch Höhenschreiber mit Nulleinstellung meist an Federn oder Gummischnüren am Spannturm über dem Rumpf aufgehängt.<sup>88</sup> Diese Anordnung diente dazu, die auftretenden Vibrationen, die hauptsächlich durch das Triebwerk hervorgerufen wurden, zu dämpfen.

Die Fluggeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit des Flugzeugs gegenüber der umgebenden Luft. In der Luftfahrt wird diese Fluggeschwindigkeit als Fahrt bezeichnet.<sup>89</sup> Der Begriff Fahrt stammt aus der Seefahrt, wo sich die Fahrt als die Geschwindigkeit gegenüber dem umgebenden Wasser definiert. Die Fahrt ist für das Flugzeug von fundamentaler Bedeutung, da von ihr der Auftrieb und das Steuerverhalten in direkter Abhängigkeit stehen. Die Einhaltung einer Mindestfahrt ist für die Erhaltung eines sicheren Flugzustandes von besonderer Bedeutung. Ebenso durfte die Höchstgeschwindigkeit nicht überschritten werden, da sonst ein Strukturversagen aufgrund von mechanischen Belastungen drohte. In den Anfangsjahren wurde wohl nicht unbegründet der Spruch „Fahrt ist das halbe Leben“ geprägt.<sup>90</sup> Die Notwendigkeit für eine Fahrtanzeige im Flug war von so großem Interesse, dass 1910 die Zeitschrift *Flight* einen Preis von 5 £ für die Entwicklung des besten Fahrtmessers auslobte.<sup>91</sup> Besonders bei Landemanövern ist vom Piloten die Fahrt stets zu beachten, um die Stabilität des Flugzeugs zu gewährleisten. Bei den ersten Flugzeugen waren aufgrund der schwachen Motorleistung die Mindestgeschwindigkeit sowie die maximale Reisegeschwindigkeit annähernd gleich. Dies führte häufig zu Strömungsabrissen (stall). Strömungsabriss als Folge der Überschreitung der flugmechanischen und aerodynamischen Grenzen sind besonders in niedrigen Flughöhen sehr gefährlich. Häufig enden sie in schweren Strukturschäden mit entsprechenden Folgen für die Piloten, da in Bodennähe ein kontrolliertes Abfangen nahezu ausgeschlossen ist.

---

<sup>88</sup> Vgl. Cohausz, *Cockpits deutscher Flugzeuge*, 2000, S. 41; vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 202.

<sup>89</sup> Siehe dazu auch *Flight*, 1913, S. 744-747.

<sup>90</sup> Siehe auch Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 17; vgl. Langewiesche, *Stick and Rudder: An Explanation of the Art of Flying*, 1944, S. 3; ebd. S. 57.

<sup>91</sup> Vgl. *Flight*, 1910, S. 1072; vgl. *Tre Tryckare Cagner & Co., The Lore of Flight*, 1970, S. 122.

---

Zur Vermeidung solcher Schädigungen wurde seit 1907 bei den Wrights eine Art Schalenkreuzfahrtmesseranzeige eingesetzt. Der Flugschüler musste dabei den Zeiger des Windgeschwindigkeitsmessers zwischen zwei roten Markierungen halten, um das Flugzeug nicht mit einem gefährlichen Anstellwinkel zu betreiben.<sup>92</sup>

Ein weiteres Indiz für die Fluggeschwindigkeit waren die Strömungsgeräusche, die von Spanndrähten oder von anderen Kanten hervorgerufen wurden. Die Lautstärke dieser Strömungsgeräusche war abhängig von der Fluggeschwindigkeit und konnte vom erfahrenen Piloten interpretiert werden. Um sich aber bei der Geschwindigkeitsmessung nicht nur auf das Gehör verlassen zu müssen, wurden Stauscheiben als Fahrtmesser zur Indikation der Fluggeschwindigkeit vor 1914 besonders aufgrund zahlreicher Unfälle verwendet. Daher nutzte ein vorsichtiger Luftfahrer neben Barometer und Drehzahlmesser auch zusätzlich den Stauscheibenfahrtmesser bei seinem Standardinventar.<sup>93</sup>

Die Stauscheiben, welche ab 1914 eingesetzt wurden, bestanden aus einem Pendel mit einer entsprechenden Federfesselung. Anhand des Pendelausschlags konnte man auf einer Skala die Fluggeschwindigkeit als Funktion des Staudrucks ablesen.<sup>94</sup> Der sichere Geschwindigkeitsbereich wurde, analog der Schalenkreuzfahrtmesseranzeige der Wrights, oft farblich markiert. Da die Bauart nicht vom Flugzeugmuster abhängig war, ergab sich eine vielseitige Einsetzbarkeit.

Als später präzisere Differenzdruckfahrtmesser eingesetzt wurden, wurden Stauscheibenfahrtmesser noch viele Jahre als Reserve verwendet. Fahrtmesser mit Differenzdruckmessung, welche Pitot-Rohre oder Venturidüsen als Sensoren nutzten, wurden schon ab circa 1910 entwickelt und eingesetzt. Das Pitot-Rohr ist ein Rohr mit einer Druckabnahme vorne in Flugrichtung, das zur Messung des Staudrucks dient, sowie weiteren seitlichen Bohrungen, parallel zur Flugrichtung, um den statischen Druck zu entnehmen. Staudruck und statischer Druck werden mechanisch subtrahiert. Die Differenz des Gesamtdrucks und des statischen Drucks ist ein Maß für die Fluggeschwin-

---

<sup>92</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 20.

<sup>93</sup> Vgl. Langewiesche, *Stick and Rudder*, 1944, S. 58-60; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 32-33.

<sup>94</sup> Vgl. Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 17; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 20; vgl. Thurston, *The Measurement of Air Speed*, 1914, S. 498; vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 202.

---

digkeit. Die Venturidüse hingegen besteht aus einem glattwandigen Rohrstück mit einer Verengung des Querschnitts, beispielsweise durch zwei gegeneinander gerichtete Konen, die an der Stelle ihres geringsten Durchmessers vereint sind. An dieser Stelle ist seitlich ein Abnehmerrohr platziert. Am Abnehmerrohr wird ein der Fluggeschwindigkeit entsprechender Unterdruck entnommen, der vom statischen Druck der umgebenden Luft mechanisch subtrahiert wird. Die resultierende Druckdifferenz ist ebenso ein Maß für die Fluggeschwindigkeit.<sup>95</sup>

Die ersten Arten der Differenzdruckfahrmesser waren Manometer, welche die Differenz von Staudruck und statischem Druck in einer Glasröhre als Flüssigkeitsstand anzeigten. Kurze Zeit später wurden diese Anzeigen durch Membrandosenmanometer mit Zeigerskala ersetzt. Auch Anemometer dienten zur Ermittlung der Fahrt. Diese wurden häufig an den Flügelstreben angebracht,<sup>96</sup> denn generell durften Stauscheibenfahrmesser sowie Anemometer nicht im Propellerwirkungsbereich angebracht werden, da die Anzeigen aufgrund turbulenter Strömungen stark schwanken konnten und somit nicht verlässlich genug waren.

Ein weiteres Instrument zur Kontrolle der ausreichend anliegenden Luftströmung sind die Neigungsmesser. Sie gehörten zu den ersten Instrumenten, die speziell für den Flugzeugbau entwickelt wurden. Der Neigungsmesser zeigt die Neigung des Flugzeugs gegenüber dem Horizont an. Die ersten Neigungsmesser bestanden aus einer mit farbiger Flüssigkeit gefüllten Glaskonstruktion. Hierbei war die Anzeige, die aufgrund der Masse der Flüssigkeit von Gravitations- und Fliehkräften beeinflusst wird, nicht besonders präzise. Auch wurden Neigungsmesser dazu verwendet, dem Piloten Informationen über den Rollwinkel zu geben.<sup>97</sup>

---

<sup>95</sup> Siehe hierzu auch Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 18; vgl. Thurston, 1914, S. 521-522 sowie Thurston, *The Measurement of Air Speed*, 1914, S. 498; siehe dazu auch Flight, 1913, S. 744-747; vgl. Darwin, 1913, S. 599-600; vgl. Anderson, *Navigational Equipment*, 1978, S. 841-842; vgl. Liebing, *Flugsicherheit oder die Chance zu überleben*, 1968, S. 28.

<sup>96</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 32-33; vgl. Darwin, 1913, S. 599-600.

<sup>97</sup> Vgl. Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 26-27; Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 21; vgl. Flight, 1913, S. 744-747; vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 202.



---

Neben Glasrohren mit Flüssigkeiten wurden auch Pendel zur Neigungsmessung verwendet. Diese unterlagen aber, ebenso wie die Flüssigkeiten, stark den Beschleunigungseinflüssen des fliegenden Flugzeugs.<sup>98</sup> Ein vollständiger Ersatz für Pendel und Flüssigkeiten wurde erst mit der Einführung des Kreisels gefunden.

In der fliegerischen Praxis wurde bald ein spezieller Neigungsmesser gewünscht und damit eine rege Tätigkeit von Erfindern ausgelöst, die jedoch kaum über eine fliegerische Praxis verfügten. Erst mit zunehmender Flugerfahrung wurde zwischen relativer Neigung, die sich durch die resultierenden Beschleunigungen ergibt, und der absoluten Neigung zur Horizontalebene unterschieden. Im Fall der relativen Neigung konnten auch Pendel verwendet werden. Allerdings erforderten die späteren „Riesenflugzeuge“<sup>99</sup> aufgrund ihrer relativ schwachen Struktur eine andere Art des Fluges und entsprechend neuartige Geräte zur Überwachung im Kurvenflug. Denn bei diesen Flugzeugen wurde nicht scheinlotrecht gekurvt, sondern der Kurvenflug erfolgte in horizontaler Richtung schiebend. Für den Bau solcher Neigungsmesser wurden die Firmen Goerz, Anschütz und die Pfadfinderkompaß & Flugzeugzubehör GmbH in Berlin-Johannisthal angesprochen. Schnell kristallisierte sich aber heraus, dass nur die Firma Anschütz über die notwendigen Kenntnisse der Kreiseltechnologie verfügte, um den hohen Anforderungen gerecht zu werden. Die bei Anschütz gefertigten Neigungsmesser auf Kreiselbasis basierten auf erprobten Komponenten aus der Schifffahrt. Nach Meinung der Piloten wurden diese aber in einer geschickteren Anordnung zusammengesetzt.<sup>100</sup>

Bei der Umgestaltung des Neigungsmessers zum Fliegerhorizont waren die Entwickler mit Flugerfahrung, wie zum Beispiel die Ingenieure Franz Drexler und Johann Boykow, von Vorteil, denn Entwicklungen, die rein auf theoretischem Wissen basierten, waren oft nicht in der Praxis umsetzbar. Der deutsche Ingenieur Maximilian Schuler unterschätzte zum Beispiel die Beschleunigungskräfte, die auf den Piloten im Kurvenflug einwirkten, denn diese können größer sein als die Gravitation der Erde. Weiterhin

---

<sup>98</sup> Vgl. Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 26-28; vgl. Welch, *Modern Airmanship*, 1995, S. 424ff.

<sup>99</sup> Zu den damaligen Riesenflugzeugen gehörten z.B. die Siemens-Schuckert R-Typen, die von den Zeppelin-Werken gebaute R.XIVa / R.71, die von der Gothaer Waggonfabrik gebaute Gotha G.IV und G.V usw.

<sup>100</sup> Vgl. Broelmann, *Kreiseltechnik*, 2002, S. 301; vgl. Flight, 1911, S. 941; vgl. Wagenführ, *Handbuch der Flugzeugkunde – Riesenflugzeuge*, 1927, S. 388-409.

---

musste er feststellen, dass der Kompass im Kurvenflug wegen seiner Schwingungen nicht exakt abzulesen war. Aus diesem Grund begann Schuler mit der Entwicklung eines Instrumentes, das die Drehrichtung in einer Kurve anzeigt. Das Ergebnis war der Wendezeiger, der anzeigt, ob man sich in einer Rechts- oder Linkskurve befindet. Die zur Ermittlung des Scheinlotes wichtige Libelle oder Pendel nahm Schuler jedoch nicht in sein Patent auf.<sup>101</sup> Der Wendezeiger mit integrierter Libelle findet noch heute in modernen analogen Cockpits Anwendung. Auch bei der späteren Entwicklung des Instrumentenflugs ist der Wendezeiger eines der zentralen Instrumente.

Für den Piloten ist es unverzichtbar, während des Fluges ständig über einen genauen Kenntnisstand des verfügbaren Kraftstoffes zu verfügen. Die zur Verfügung stehende Kraftstoffmenge diente häufig als Entscheidungsgrundlage für eine Sicherheitslandung wenn die geplante Flugroute, zum Beispiel durch das Umfliegen eines Gewitters, während des Fluges geändert wurde.

Um den aktuellen Kraftstoffvorrat beim Flug ablesen zu können, wurden häufig Standgläser oder Schwimmer verwendet. Standgläser sind Vorratsmesser nach dem Prinzip einer korrespondierenden Röhre. Diese erwiesen sich aber aufgrund der einwirkenden Beschleunigungskräfte als zu ungenau und zu empfindlich. Zudem mussten sie im Sichtbereich des Piloten angebracht werden, was wiederum zu weiteren Problemen, wie zum Beispiel komplexe Konstruktionen, führen konnte. Ein weiteres Instrument zur Navigation war die Taschen- oder Armbanduhr des Piloten. Häufig erwies sich dieses Instrument aber als zu ungenau, da aufgrund der Vibrationen des Motors diese Uhren oft beeinflusst wurden.<sup>102</sup>

Uhren fanden in den Anfangsjahren hauptsächlich Verwendung bei der Koppelnavigation. Später wurden sie auch für den Blindflug ein unverzichtbares Navigationsmittel. Mit einer präzisen Zeitmessung ist es zum Beispiel möglich, die Geschwindigkeit über Grund, sowie unter Zuhilfenahme eines Horizontkreisels die Drehgeschwindigkeit im Kurvenflug sehr genau zu ermitteln.

---

<sup>101</sup> Vgl. Broelmann, *Kreiseltechnik*, 2002, S. 303; vgl. Schuler, *Die geschichtliche Entwicklung des Kreiselkompasses in Deutschland*, 1960, S. 19-20; vgl. Welch, *Modern Airmanship*, 1995, S. 424ff.

<sup>102</sup> Siehe Cohausz, *Cockpits deutscher Flugzeuge*, 2000, S. 36.

---

Die ersten motorisierten Flugzeuge wurden hauptsächlich als ein- und zweiseitige Flugzeuge gebaut. Dabei änderte sich die Sitzanordnung von nebeneinander zu hintereinander, was durch die Verschlinkung des Rumpfes zu einer widerstandsärmeren Aerodynamik führte und somit zu besseren Flugleistungen. Die Verständigungsmöglichkeiten zwischen dem Piloten und seinem Begleiter, ob Flugschüler oder Passagier, musste sich den geänderten Bauformen entsprechend anpassen. Um die Verständigung zwischen dem Piloten und dem Passagier sicherzustellen, besonders bei den Flugzeugen mit Tandem Sitzanordnung, wurden Spiegel, Sprach- und Hörrohre verwendet.<sup>103</sup> Später kamen dann elektrische und elektronische Kommunikationsmittel zum Einsatz, die eine Kommunikation mit der gesamten Flugbesatzung zuließen.

## Die ersten Cockpits

Die ersten Fluginstrumente, die Steuerung und der Pilot wurden an einem Ort im Flugzeug miteinander vereint – dem Cockpit. Im folgenden Abschnitt werden die Entwicklungen der Steuerung sowie das Layout des Cockpits skizziert. Zur korrekten Bedienung eines Flugzeugs ist es immanant wichtig, dass der Pilot eine stetig gute Übersicht über die Überwachungs- und Kontrollinstrumente des Flugzeugs besitzt. Daher wird im Nachfolgenden die Entwicklung der Anordnung und der Anzeigen von Flugzeuginstrumenten, die einen Teil des Betriebsumfeldes des Piloten bilden, bis 1914 erläutert. Ein weiterer Fokus liegt auf dem wichtigsten Bestandteil der frühen Flugzeugcockpits – dem menschlichen Piloten.

### *Anordnung und Anzeigen von Flugzeuginstrumenten*

Eines der ersten Flugzeuge mit integriertem Instrumentenbrett war bei der erstmaligen Vorstellung der Blériot Experimental 2 (BE2), dem Vorgänger der legendären BE2c, auf der Olympia Luftfahrt Ausstellung in London 1912 zu sehen. Ein Drehzahlmesser, Fahrtmesser, Stoppuhr und Höhenmesser waren in einem Aluminiumgehäuse untergebracht. Dieses Kombinationsinstrument mit der Bezeichnung „WD Mk. IV instrument

---

<sup>103</sup> Vgl. Cohausz, Cockpits deutscher Flugzeuge, 2000, S. 37.

board“ wurde von dem Londoner Instrumentenbauunternehmen Elliott Brothers (Elliott Bros) produziert.<sup>104</sup>

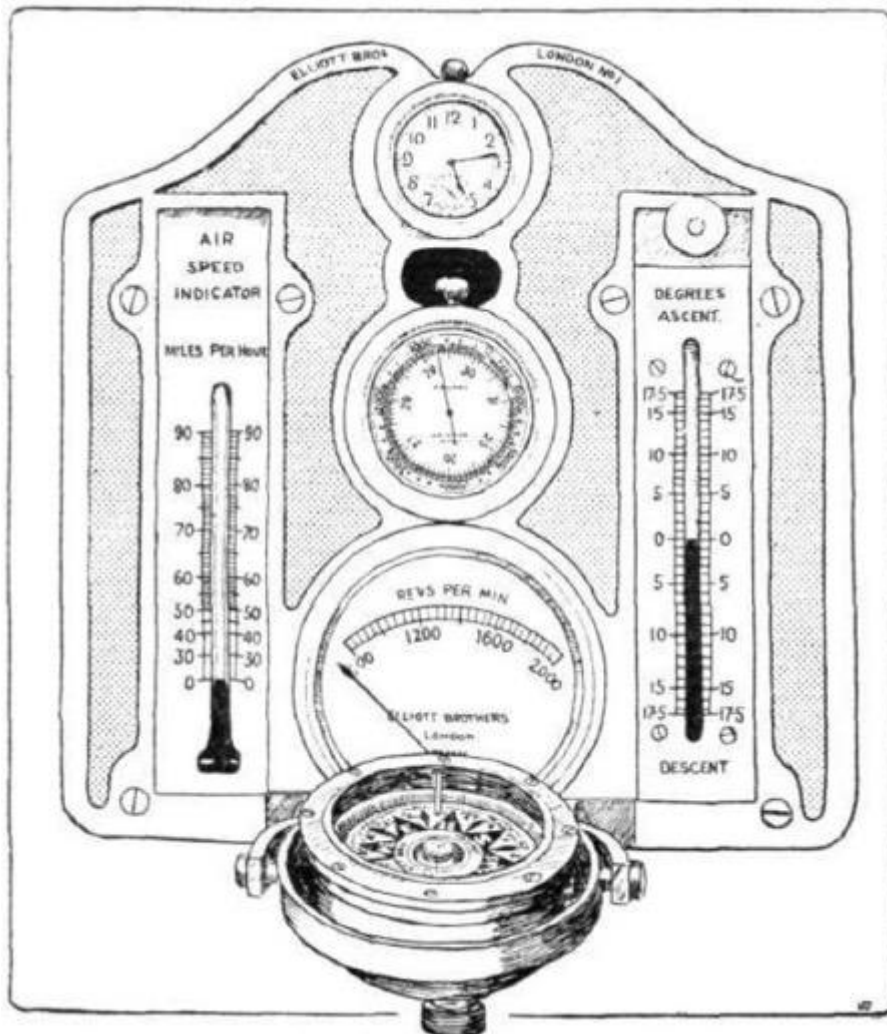


Abbildung 1: Elliott Instrument Board (Quelle: Flight, 14. September 1912, S. 840)

Bis 1912 basierte der Entwurf von Flugzeuginstrumentierungen allein auf empirischem Wissen. Die Entwickler wurden teils durch die Piloten beeinflusst, die Anzeigen und zusätzlichen Hilfsmittel so anzubringen und zu gestalten, dass den Piloten die Entscheidungsfindung während des Fluges vereinfacht wurde. Weiterhin ermöglichten auch zusätzliche Instrumente und somit auch entsprechende Daten, den Entwicklern Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit ihres Fluggerätes zu ziehen.<sup>105</sup>

<sup>104</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 32-33; vgl. *Flight*, 1912, S. 840.

<sup>105</sup> Vgl. Dailey, *The Triumph of Instrument Flight: A retrospective in the Century of U.S. Aviation*, 2004, S. 13.

---

Im April 1912 wurde in Berlin die „Wissenschaftliche Gesellschaft für Flugtechnik“ (WGF) gegründet. Die Versammlung wählte die Professoren Ludwig Prandtl und August von Parseval neben Henry Theodor von Böttinger zu Vorsitzenden. Im Programm wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Forschungen auf allen Gebieten der Luftfahrt von der Gesellschaft gefördert werden sollten,<sup>106</sup> denn bis zu dieser Zeit wurden existierende naturwissenschaftliche Instrumente adaptiert. Dazu gehörten das Aneroid-Barometer als Höhenmesser oder der Stofffaden zur Visualisierung des Schiebewinkels. Selbst 10 Jahre nach den Gebrüder Wright wurde der Flugzeuginstrumentierung eine immer noch geringe Bedeutung für die Flugdurchführung zugemessen. Gründe dafür waren Entwicklungsschwerpunkte wie Aerodynamik, Struktur, Flugsteuerung und Zuverlässigkeit der damals zur Verfügung stehenden Triebwerke. Zudem war, wie geschildert, die Differenz zwischen Startgeschwindigkeit und Reisegeschwindigkeit im Fluge sehr gering. Selbst bei fliegerischen Wettbewerben, wie etwa die große Veranstaltung in Reims 1909, gewann derjenige Teilnehmer, dem es gelang, den Parcours ohne Triebwerksausfall oder Strukturversagen zu bewältigen. Die meisten Flüge fanden nur bei schönem Wetter mit leichtem Wind unterhalb der Wolken statt. Diese Bedingungen zusammen mit einer ständigen Bodensicht und guter horizontaler Sicht gestatteten es dem Piloten, sein empfindliches und zum Teil fragiles Gerät noch „nach Gefühl“ zu kontrollieren.<sup>107</sup>

Die ersten Instrumentierungen und Anzeigen, die dem Piloten das Fliegen des Flugzeugs erleichtern sollten, waren nicht zentral angeordnet. Die Vorgehensweise der Entwickler und Konstrukteure prägte meist ein empirisches Vorgehen. Ebenso gehörte die Dokumentation der Entwicklungen nicht zu ihren bevorzugten Aufgaben. Bauvorschriften oder Richtlinien gab es in den Anfangsjahren noch nicht. So wurden für die unterschiedlichen Instrumente geeignete Befestigungspunkte gesucht. Einige Instrumente mussten außerhalb der Antriebswirkung des Propellers liegen, andere direkt am Triebwerk angebracht werden. Häufig wurden die Instrumente an Streben, Stahlrohren, Spanndrähten oder Verkleidungen befestigt.<sup>108</sup>

---

<sup>106</sup> Vgl. Schmitt & Schwipps, 20 Kapitel Frühe Luftfahrt 1990, S. 189.

<sup>107</sup> Vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 152-171; vgl. Gibbs-Smith, *The Invention of the Aeroplane (1799-1909)*, 1966, S. 213-219.

<sup>108</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Cohausz, *Cockpits deutscher Flugzeuge*, 2000, S. 37.

---

Die Folge war, dass die Instrumente an unterschiedlichen Orten und in unterschiedlichen Entfernungen zum Piloten angebracht waren. Zur Ablesung musste der Pilot seinen Kopf drehen und unter Umständen die Körperhaltung verändern, und seine Augen mussten sich auf die unterschiedlichen Entfernungen entsprechend fokussieren.

Diese nicht standardisierte Anordnung machte den Umstieg auf andere Flugzeugmuster entsprechend schwierig, da der Pilot sich mit den Instrumentenanordnungen und eventuell auch den unterschiedlichen Anzeigegrößen erst vertraut machen musste. Zudem waren neben den nicht vorhandenen Bauvorschriften auch Betriebshandbücher oder Flughandbücher noch sehr selten.

Bei schlechten Sichtverhältnissen und in der Dämmerung erhöhten sich die Schwierigkeiten sprunghaft, da selbst Beleuchtungen im Cockpit nicht zur Standardausrüstung gehörten. Da im Grundsatz weder die Anordnung noch die Instrumente selbst standardisiert waren, unterschieden sich nicht nur die Anzeigen in sich, sondern sie waren auch in den meisten Fällen für eine Ablesung bei schlechten Lichtverhältnissen nicht geeignet. So wurden zum Beispiel weiße Ziffernblätter mit schwarzen Zahlen verwendet, die meist unübersichtliche Skalen, unterschiedliche Maßeinheiten, überflüssige Beschriftungen und uneinheitliche Anzeigerichtungen, meist gegen den Uhrzeigersinn, aufwiesen.

Ab circa 1912 standen dann die ersten Instrumentenbretter zur Verfügung, auf denen Instrumente zusammengefasst waren. Bis zum Ersten Weltkrieg kam es zu dem zu einer ersten Standardisierung von verschiedenen Anzeigen. Zudem verschwanden zunehmend die nicht für die Anzeige benötigten Beschriftungen. Man begrenzte sich auf die wesentlichen Informationen wie zum Beispiel „Höhe – km“ oder „Fahrt – km/h“.<sup>109</sup>

In der Luftfahrt setzten sich für Fluginstrumente drei prinzipielle Anzeigemethoden durch. Die gebräuchlichste Anzeigemethode ist die auf einer runden Skala. Rundinstrumente fanden in der Technik bei vielen Anzeigen Verwendung, und somit war auch die Interpretation der Anzeige für die Piloten nicht besonders schwierig. Ein zweiter Skalentyp war die lineare Skala. Das Ablese- und Interpretationsverfahren war analog zu der Rundskala. Ein Nachteil bestand bei größeren Skalen darin, dass der Zeiger

---

<sup>109</sup> Forderungen nach Standardisierungen wurden in Deutschland ab 1913 gestellt. Einzelne Systeme wie Propeller und Motoren unterlagen bereits Standards. Siehe dazu Morrow, German Air Power, 1976, S. 76-77.

---

auf dem Ziffernblatt gesucht werden musste, wenn nicht klar war, in welchen Anzeigebereich sich dieser befinden musste. Die dritte Methode ist die digitale Anzeige eines bestimmten Wertes. Der Vorteil dieser Methode bestand darin, dass die Ablesung nicht von Zeigerschwankungen oder Parallaxe-Fehler beeinflusst werden konnte. Der Nachteil als Flugüberwachungs- oder Triebwerksanzeige ist aber, dass Tendenzen nicht erkennbar sind. Man muss die angezeigten Werte immer interpretieren und in ein entsprechendes Verhältnis setzen.<sup>110</sup>

## *Die Steuerung*

Das Gleichgewicht ist die Quelle des sicheren Fliegens. Um ein Gerät schwerer als Luft in einer gleichförmigen und ausbalancierten Bewegung zu halten, das den notwendigen und gleichmäßigen aerodynamischen Auftrieb zur Folge hat, benötigt man entsprechende Steuerungsmechanismen.<sup>111</sup> Zur Steuerung der Flugzeuge verwendete man Steuerräder, wie man sie bereits schon im Automobilbau kannte. Diese machten den Umgang mit großen Steuerkräften etwas einfacher. Die hohen Steuerdrücke resultierten unter anderem aus der Tatsache, dass die Quersteuerung durch die physikalische Verwindung der Tragflächenenden erfolgte. Querruder zur Steuerung um die Längsachse wurden erst später entwickelt.<sup>112</sup>

Bei der Steuerung hatten die verschiedenen Flugpioniere unterschiedliche Konzepte. Die Vorlage der heutzutage üblichen Flugzeugsteuerungen entwickelten Louis Blériot 1909 sowie Louis Breguet 1911.<sup>113</sup> In der ersten Dekade der Fliegerei entwickelte sich die Steuerung der Flugzeuge als eine Kombination aus Händen und Füßen, wobei die Hände für die Steuerung des Quer- und Höhenruders verwendet wurden, die Füße für

---

<sup>110</sup> Vgl. Pallet, *Aircraft Instruments and Integrated Systems*, 1992, S. 1-8.

<sup>111</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 169; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 244-246.

<sup>112</sup> Vgl. Cohausz, *Cockpits deutscher Flugzeuge*, 2000, S. 36; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 14-19; vgl. Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 133-135, 227-230; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 177-184.

<sup>113</sup> Siehe dazu Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 21-23; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 176-177.

---

die Steuerung des Seitenruders.<sup>114</sup> Es wurden auch Steuerungsmechanismen ausprobiert, welche auf die Zuhilfenahme der FüÙe verzichteten. Diese Mechanismen setzten eine kombinierte Schiebe-Roll-Steuerung voraus. Zum Beispiel verwendeten die Gebrüder Wright in ihren Flugzeugen bis 1912 keine separate Seitenrudersteuerung. Sie benutzten stattdessen zwei separate Hebel, einen für die Höhensteuerung und einen für die Rollsteuerung.<sup>115</sup>

Durch kombinierte Steuerungen von Richtung und Querlage sind Kurskorrekturen teilweise stark eingeschränkt. Eine einfache Korrektur einer zum Beispiel hängenden Tragfläche konnte nur ausgeführt werden, wenn gleichzeitig auch der Steuerkurs geändert wurde. Deshalb setzten sich kombinierte Quer-Roll-Steuerungen nicht durch. Ebenso die Aufteilung der Steuerungen in verschiedene Hebel, wie am Beispiel der Wrights, führte in der Vergangenheit häufig zu Problemen, nicht zuletzt durch Verwechslungen. Ein Flugschüler Wilbur Wrights bezeichnete diese Art der Flugsteuerung als eine „unnatürliche“ Art. Ein weiterer seiner Flugschüler, der bereits Erfahrungen auf einem rudimentären Flugsimulator gesammelt hatte, empfand es als sehr problematisch, die richtigen Ausschläge für angemessene Steuerbewegungen zu finden. Die Wrights entwickelten daraufhin in den Folgejahren weitere unterschiedliche Steuerungsmechanismen. Bei vielen von ihnen wurden jedoch die Zuordnung von Vor- und Rückbewegungen der Steuerhebel zu Rechts- und Linksbewegungen des Flugzeugs entsprechend heutiger Standards als unnatürlich empfunden.<sup>116</sup>

Dass der Steuerknüppel vor 1914 nicht, wie heute üblich, Höhen- und Quersteuerung miteinander verband, lag auch daran, dass die Entwickler und Konstrukteure dies als eine Funktionsüberfrachtung empfanden. Zum einen sah man darin eine Belastung für den Piloten und zum anderen wuchs die technische Komplexität. Man bevorzugte deshalb eine Trennung.<sup>117</sup>

---

<sup>114</sup> Quer- und Höhenruder dienen zur Einleitung einer Drehbewegung um die Längs- bzw. Querachse. Das Seitenruder leitet eine Drehbewegung um die Hochachse des Flugzeugs ein.

<sup>115</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 14; siehe dazu auch Zeitschrift *Flight*, 1909, S. 9-10; vgl. Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 133-135; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 176-177; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 247-250.

<sup>116</sup> Ebd. S. 15; siehe dazu auch Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 200; siehe dazu Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 18; vgl. Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 227-230.

<sup>117</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 201.



---

Trotz dieser ständigen inkrementellen technischen Innovationen bestand weiterhin die Notwendigkeit, die frontale Anströmfläche (Strömungswiderstand) aus aerodynamischen Gründen möglichst gering zu halten. Daher kam, im Gegensatz zu den Schiffen und Lokomotiven, eine stehende Position des Piloten nicht in Frage, und so bot sich nicht nur aus technischen Gesichtspunkten eine sitzende oder hockende Position an.<sup>118</sup>

Obwohl die Gebrüder Wright den gesteuerten motorisierten Flug praktisch demonstrierten, wurde ihre elementare Form der Flugsteuerung nicht zum internationalen Standard, sondern es wurden in den Jahren zwischen 1903 und 1914 weitere unterschiedliche Arten der Primärsteuerung ausprobiert. Man könnte sagen, dass fast so viele unterschiedliche Steuerungen, bestehend aus Steuersäulen, Rädern und Hebeln, erprobt wurden, wie es Luftfahrtpioniere gab.<sup>119</sup> Bei allen wurde der rechten Hand des Piloten jedoch eine größere Gewichtung bei der Steuerung zuteil.

Der französische Flugzeugtyp Antoinette von 1909 verwendete zur Steuerung ein Rad an jeder Seite des Piloten. Die Achsen der Steuerräder standen im rechten Winkel zur Flugrichtung. Das linke Rad diente zur Rollsteuerung und das rechte Rad für die Höhenkontrolle. Eine Drehung im Uhrzeigersinn entsprach einem Steuerausschlag nach links bzw. aufwärts. Die Steuerung im Gesamten war für Anfänger aufgrund ihrer Komplexität nicht besonders gut geeignet.<sup>120</sup>

Handley Pages Eindecker Type D versuchte eine andere Art der Steuerung. Diese bestand aus einer einzigen Steuersäule mit Steuerrad. Eine vor-zurück Bewegung der Steuersäule beeinflusste das Höhenruder. Das Kippen der gesamten Säule zur Seite bewirkte die Rollsteuerung und das Steuerrad auf der Steuersäule war für die Seitenrudersteuerung. Sein Doppeldecker hingegen verwendete eine Steuersäule, deren Vor- und Rückbewegung das Höhenruder ansteuerte. Das darauf montierte Steuerrad war mit den Querrudern verbunden.<sup>121</sup>

---

<sup>118</sup> Vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101.

<sup>119</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 24; vgl. Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 227-230; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 247-250.

<sup>120</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 16-17; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101; siehe auch *Flight*, 1910, S. 930-931.

<sup>121</sup> S. *Flight*, 1913, S. 1296-1299.

---

Einen weichenstellenden Einfluss auf das Cockpitdesign hatte Louis Blériot. Er entwarf und baute ein Flugzeug mit Zugpropeller und einem Steuerungssystem, das sich fundamental von dem der Wright Brüder unterschied. Blériots Patent von 1908 mit der Nummer 2588 beschreibt einen Steuerhebel, der in ein kardanisches Gelenk mündet. So war es möglich die Steuerflächen entsprechend zu bewegen, wobei mit einer rechts-links Bewegung eine Rollbewegung um die Längsachse und mit einer vor-zurück Bewegung eine Nickbewegung eingeleitet wurde.<sup>122</sup> Zusätzlich verfügte das Blériot Monoplane über eine Seitenrudersteuerung. Den ersten Piloten könnte die Steuerbewegung des Seitenruders verdreht vorgekommen sein, da dieses umgekehrt zu einem Fahrrad gesteuert wurde. Verstärkt wurde dieser Eindruck noch dadurch, dass man neben dem Fahrradlenker ähnliche Hebel als Steuerungsmechanismen benutzte. Coombs bietet zwei mögliche Erklärungen für diese Anordnung an:

*„one, that the rudder is akin to that of a boat, in effect having the tiller wires running forward to the helmsman where they are operated by the pilot's feet in the same sense as the hand movements of a coxswain; or two, that one of the early types of aircraft, designers preferred to keep the rudder control linkage in tension when operating, so that the system pulled rather than pushed, thereby compensating for any airframe flexure.“<sup>123</sup>*

Natürlich konnten auch die Steuerseile gekreuzt werden, um ein besseres natürliches Steuerverhalten darstellen zu können. Zudem gab es auch schon um 1910 Beispiele, wie bei der Antoinette, bei der die Seitenrudersteuerung genau so bedient wurde wie ein Fahrradlenker.

Das Blériot Monoplane wurde bis zum Ersten Weltkrieg in verschiedenen Flugschulen eingesetzt. Ihre Steuerung, heute als herkömmliche bezeichnet, wurde von verschiedenen Flugzeugentwicklern übernommen. Bis zum Beginn des Ersten Weltkrieges hatte sich dann diese Form der Steuerung, bestehend aus Steuerknüppel und Ruderpedalen, als Standard durchgesetzt. Blériot wurde bei der Motorensteuerung seines Monoplanes, welche am Steuerknüppel angebracht war, wohl von der damals gängigen Praxis im Automobilbau inspiriert. Das oben auf seinen Steuerknüppel befindliche

---

<sup>122</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 24; vgl. Flight, 1909, S. 453-456; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 247-250.

<sup>123</sup> Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 24.

---

kleine Lenkrad hatte keine Steuerungsfunktion. Es diente lediglich zur besseren Handhabung, da alle Steuerflächen durch reine Muskelkraft bewegt wurden.<sup>124</sup>

Blériots Landsmann Louis Charles Breguet entwickelte eine abgewandelte Steuerung. Er benutze ein Steuerrad für die Quersteuerung anstelle einer Seitwärtsbewegung des Steuerknüppels. Seine Steuerung enthielt keine zusätzliche Bedienung für das Seitenruder, denn dieses war automatisch mit der Quersteuerung gekoppelt. Als später die Seitensteuerung wieder entkoppelt und so unabhängig bedient werden konnte, wurde die Steuersäule mit Lenkrad und Ruderpedalen zur Standardsteuerung bei großen Flugzeugen. Die Steuerung per Steuerknüppel, häufig auch als Stick bezeichnet, setzte sich in den folgenden Jahren bei kleinen Flugzeugen sowie bei Kampfflugzeugen als Standard durch. Diese beiden Standardsteuerungen entsprechen somit auch den natürlichen Steuerungsrichtungen, denn die Betätigungsrichtung der Steuerung entsprach einer Reaktion des Flugzeugs in die gleiche Richtung. Geistige Transformationen von einer Vor- / Rückwärtsbewegung in eine Rechts- / Linksbewegung mussten nicht mehr vorgenommen werden.

Die unterschiedlichen Steuerungen lassen sich auch mit ergonomischen Argumenten begründen. Kleine Flugzeuge, die geringer Ruderkräfte bedürfen, lassen sich komfortabel mit einem Stick steuern. Große Flugzeuge hingegen lassen sich einfacher durch eine Steuersäule bedienen, da man durch eine zweite Hand und größere Hebelarme entsprechende Kräfte aufbringen kann. Diese Argumente hatten jedoch nur so lange Bestand, bis zur Flugzeugsteuerung auch hydraulische Kraftverstärker verwendet wurden.

Als ein Zwischenfazit lässt sich festhalten, dass im ersten Jahrzehnt der motorisierten Fliegerei nahezu jeder Innovator seine eigenen persönlichen Vorstellungen und Ideen hatte, wie die Flugzeugsteuerung aussehen sollte und wie diese bedient werden musste.<sup>125</sup> Auch wurden von einigen Erfindern und Piloten, wie zum Beispiel George Miller Dyott, Geräte zur Messung und Aufzeichnung der Steuerbewegungen entwickelt und gebaut, um die Steuermechanismen zu optimieren.<sup>126</sup> Zudem gab es weiterhin

---

<sup>124</sup> Siehe Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 24-25.

<sup>125</sup> Die Steuerung konfiguriert auch umgekehrt den Bediener. Siehe dazu auch Oudshoorns & Pinch, *How Users Matter*, 2003, S. 7-11 sowie Zachmann, *Technik, Konsum und Geschlecht – Nutzer/innen als Akteur/innen in Technisierungsprozessen*, 2008, S. 75 und 78ff.

<sup>126</sup> Vgl. Spooner, 1913, S. 454-456.

---

viele Ideen und Vorschläge über die Gestaltung und Auslegung des Flugzeughecks, im besonderen des Leitwerks. Aus all diesen Überlegungen setzen sich allmählich erste Standards für die Flugzeugsteuerung nach den Prinzipien von Blériot und Brequet durch.

Zudem lässt sich eine grundlegende Differenz in der technischen Kultur zwischen Europa und USA feststellen. Während europäische Piloten die Steuerung als ein Mittel zum Aus- und Geraderichten des Flugzeugs sahen, nutzten US-amerikanische Piloten die Flugsteuerung als ein Mittel zum Manövrieren des empfindlichen Mensch-Maschine-Systems. In dieser transatlantischen Differenz manifestieren sich zwei grundsätzlich verschiedene Haltungen zum Steuern. Im ersten Fall ging es um Wiederherstellung der Stabilität nach dem Einfluss von Störgrößen wie Böen und Thermik, im zweiten Fall ging es um die Einnahme willkürlicher, vom Piloten vorgegebenen Fluglagen und -bewegungen.<sup>127</sup>

Freilich waren die Berichte über Flugsteuerungen in den Anfangsjahren sehr unzuverlässig hinsichtlich ihrer Beschreibung.<sup>128</sup> Die Journalisten versuchten die Flugphysik ihren Lesern zu erklären, verfügten jedoch nicht über die Fähigkeit, die komplexen Zusammenhänge zu verstehen.<sup>129</sup> Zudem fehlte eine gemeinsame Terminologie für die Beschreibung der Steuerungskomponenten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Flugzeugsteuerung war die Möglichkeit der Steuerung mit nur einer Hand. Auch musste es bei verschiedenen Flugzeugen möglich sein, die Hände kurzzeitig vollständig von der Steuerung zu nehmen, da zum Beispiel die Zündeneinstellung während des Fluges nachgeregelt werden musste oder bei den Flugzeugen im Ersten Weltkrieg das Maschinengewehr nachzuladen war.<sup>130</sup>

---

<sup>127</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 171-172, S. 174.

<sup>128</sup> Siehe dazu auch die Zeitschrift *Flight*, 1909, S. 73.

<sup>129</sup> Zur Problematik der Beschreibung von Cockpits siehe auch Rieger, *Technology and Culture*, 2005, S. 30ff.; vgl. Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 114-115.

<sup>130</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 13.

---

Aus der Fülle technischer Möglichkeiten setzten sich die Systeme durch, die auf natürlichen Bewegungen beruhten und eine erwartete Steuerbewegung zur Folge hatten.<sup>131</sup> Dabei entspricht zum Beispiel die Rechts- / Linksbewegung der Primärsteuerung einer Rollbewegung um die Längsachse des Flugzeugs. Die Bewegung ist unabhängig von dem Eingabegerät, sei es ein Stick, ein Steuerhorn oder eine Steuersäule.

### *Das Betriebsumfeld des Piloten*

Für den Ort des Piloten im Flugzeug werden verschiedene Begriffe verwendet. Cockpit und Flight Deck oder Flight Station sind die gebräuchlichsten, denn eine generelle Festlegung der Begriffe hat noch nicht stattgefunden. Häufig wird für einsitzige Entwürfe der Begriff Cockpit verwendet; wo eine Multi Crew eingesetzt wird, gilt der Begriff Flight Deck. Unabhängig von der Bezeichnung ist das Cockpit oder das Flight Deck der Teil des Flugzeugs, wo die Piloten ihren Arbeitsplatz haben. Im Cockpit erfolgt die Steuerung des Flugzeugs sowie die Überwachung und Kontrolle der technischen Prozesse und Systeme sowie des Flugwegs.<sup>132</sup>

In den Anfangsjahren bestand die Flugbesatzung nur aus dem Piloten. Mit der Steigerung der technischen Komplexität der Flugzeuge und des Flugeinsatzes kamen ein zweiter Pilot und später weitere Personen wie Flugingenieur, Funker oder Navigator hinzu.<sup>133</sup>

Es macht Sinn, an dieser Stelle kurz auf die Kleidung der Piloten einzugehen, denn ein wichtiges Charakteristikum in der technischen Evolution des Cockpits war auch die stetige Weiterentwicklung des Arbeitsumfeldes der Piloten. Im Wesentlichen bestand die Kleidung der Piloten aus mit Pelz gefütterten Fliegeranzügen, die in einigen Ausführungen elektrisch beheizt werden konnten, sowie aus Helm und Brille. Das heutige Arbeitsumfeld Cockpit kann im Gegensatz zu den Pionierzeiten als „hemdsärmelig“ bezeichnet werden, da die Flugdecks der heutigen Verkehrsflugzeuge zum Beispiel grundsätzlich voll klimatisiert sind.

---

<sup>131</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 132.

<sup>132</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 26-30; vgl. Giesa, *Die Bewertung der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen*, 2003, S. 40-75; vgl. Coombs, *Das Cockpit*, 1993, S. 50.

<sup>133</sup> Vgl. Chichester, *A Square Deal for the Navigator*, 1939, S. 201-202.

---

Die Möglichkeit des Piloten, von seinem Sitz im Cockpit aus in alle Richtungen schauen zu können, war eine Besonderheit der Pionierflugzeuge. Bei der Weiterentwicklung der Flugzeuge wurde diese Möglichkeit immer mehr eingeschränkt.<sup>134</sup> In den ersten zehn Jahren der Fliegerei hatten die Piloten stets die Möglichkeit, ihr großes Blickfeld, horizontal sowie vertikal, ausnutzen zu können. In dieser Phase war das menschliche Auge noch das primäre Kontrollinstrument des Piloten. Er kontrollierte die Fluglage und navigierte anhand des Horizontes durch die Bildung einer geistigen Referenzlinie und durch Bodenmerkmale. Die Bodenmerkmale wie Eisenbahnlinien, Städte, Flüsse usw. konnten anhand einer Karte referenziert und somit entsprechende Kurskorrekturen ausgeführt werden. Für Gebiete ohne entsprechende Merkmale wie zum Beispiel das Meer wendete man das aus der Nautik übernommene Koppelnavigationsverfahren an. In dieser Phase war es für die Piloten vollkommen ausgeschlossen, einen Platz in einem geschlossenen Cockpit einzunehmen, da mit signifikanter Einschränkung der Flug- und Bodensicht zu rechnen war. Noch drei Jahrzehnte nach dem Flug der Gebrüder Wright 1903 gab es noch viele Piloten, die es sich nur schwer vorstellen konnten, den Kopf nicht oberhalb des Flugzeugrumpfes zu haben. Als Mindestmaß für den Schutz des Piloten wurde die kleine Windschutzscheibe betrachtet, die bei den ersten Flugzeugen, bei denen der Pilot seinen Sitz vollständig im Rumpf des Flugzeugs hatte, eingeführt wurde. Besonders die Militärflugzeuge profitierten von dieser kleinen Windschutzscheibe, auf der es möglich war Markierungen, zum Beispiel als Visier, zu zeichnen. Eine vollständige Kapselung des einsitzigen Cockpits wurde erst zum Standard, nachdem die Betriebshöhen der Flugzeuge 20.000 Fuß überschritten hatten. In diesen Höhen ist zusätzlicher Sauerstoff für den Piloten eine Notwendigkeit. Eine vollständig geschlossene Kabinenhaube war auch seitens der Fertigung ein Problem, da diese häufig aus Acrylglas oder Glas bestand. Die entsprechende abgerundete Formgebung war in der technischen Fertigung in jener Zeit sehr schwierig. Erst in den späten 1930er Jahren war man technisch in der Lage, entsprechende Hauben zu fertigen.

---

<sup>134</sup> Grund hierfür war unter anderem die zunehmende Größe der Flugzeuge, die aufgrund ihrer Bauform nur ein begrenztes Sichtfeld für die Piloten ermöglichten.

---

## Die Piloten

Bevor die einzelnen Entwicklungsschritte zum heutigen modernen Flugdeck (Flight Deck) dargestellt werden, ist es angebracht, auf den menschlichen Piloten einzugehen. Der Pilot ist die wesentliche Konstante, die bereits bei den ersten Flügen der Brüder Wright sowie in den heutigen modernen Cockpits stets vorhanden ist.

Die technische Entwicklung und die Geschichte der Luftfahrt ist geprägt von der speziellen Beziehung, die sich zwischen Mensch und Maschine entwickelt hat. Der Pilot musste mit der Technik verschmelzen und bildete so einen kybernetischen Organismus, einen hybriden aus Mensch und Maschine. Die amerikanische Philosophin und Biologin Donna Haraway bezeichnet ein solches System 1995 als Cyborg.<sup>135</sup> Der Cyborg-Begriff war allerdings keine Erfindung Haraways. Der Kybernetiker Norbert Wiener verwendete den Begriff in den 1940er Jahren erstmals zur Beschreibung eines Flugabwehrsystems. Wiener betrachtete den Piloten und das Flugzeug als eine verwobene Mensch-Maschine-Einheit.<sup>136</sup>

Menschen flogen in die Luft, allein angewiesen auf ihre Sinne. Dabei spielte der Gleichgewichtssinn eine besondere Rolle. Dieser war wichtig, um die Fluglage entsprechend zu kontrollieren und Umwelteinflüsse auszugleichen, mit dem Ziel eine definierte Flugrichtung einzuhalten. Die darauffolgende Geschichte der Luftfahrt, vor allem die des Cockpits, wird durch verschiedene Meilensteine der technologischen Evolution im Zusammenhang mit der Entwicklung der Instrumente und Ausrüstungen bestimmt, die es dem Piloten erlauben, das Flugzeug bei allen Flugbedingungen zu kontrollieren.<sup>137</sup>

Die ersten Flugzeuge sowie die meisten, die seither entwickelt und gebaut wurden, waren symmetrisch angeordnet und darauf ausgelegt, dem Piloten eine symmetrische Freiheit für die Kontrolle des Flugzeugs über die drei Achsen zu erlauben.<sup>138</sup> In der

---

<sup>135</sup> Vgl. Haraway, Ein Manifest für Cyborgs: Feminismus im Streit mit den Technowissenschaften, 1995, S. 33-72.

<sup>136</sup> Vgl. Galison, Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik, 2001, S. 433-485; vgl. Heßler, Kulturgeschichte der Technik, 2012, S. 34-35, 144ff.; vgl. Giesa, Mensch-Maschine-Systeme, 2003, S. 40-75; vgl. Abbott, Human Factors Engineering and Flight Deck Design, 2001, Kap. 9; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 51; vgl. Liebing, Flugsicherheit, 1968, S. 22ff.

<sup>137</sup> Vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 19; vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 151; vgl. Sperry Gyroskope Company Limited, 1956, S. 3.

<sup>138</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 12-22.

---

Praxis gab es viele Beispiele in der Aerodynamik, der Mechanik und bei den menschlichen Eigenschaften ein Flugzeug zu kontrollieren, zumal speziell in der Steuerung der Quer- und der Hochachse bevorzugte Richtungen genutzt wurden.<sup>139</sup>

In den Anfängen der Fliegerei waren zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen im Bezug auf die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine von besonderer Bedeutung. Eine Gruppe betrachtete den Menschen nicht als integralen Bestandteil der Maschine. Ihre Vorstellung bestand darin, das Flugzeug wie ein geflügeltes Pferd zu kontrollieren. Der Luftfahrthistoriker Charles Gibbs-Smith bezeichnet die Menschen im Cockpit mit der Betrachtungsweise der Fliegerei so wie Otto Lilienthal, Percy Pilcher und die Wright Brüder als „Flieger“. Für sie war wichtig, dass der Pilot die ständige Kontrolle über das Flugzeug haben musste. Die Wrights verglichen das Fliegen wie das Fahren mit einem Fahrrad, bei dem sich ständig die Hände am Lenker befinden.<sup>140</sup> Auch realisierten die Wrights, dass eine Möglichkeit der anhaltenden Kontrolle des Flugzeugs geschaffen werden musste. Diese Erkenntnis resultierte bei ihrem Wright Flyer in den Canard zur Höhensteuerung und der Möglichkeit der Tragflächenverwindung zur Quersteuerung.

Die zweite Gruppe, wie Samuel Langley und Hiram Maxim bezeichnet Gibbs-Smith als „Chauffeurs“, da sie die Vorstellung eines Schiffes besaßen, das zufällig auch nach oben und unten „fahren“ konnte.<sup>141</sup> Wichtig bei allen Innovationen war jedoch, dass Flugzeuge klare Steuerungsmethoden besitzen mussten. Ähnlich wie bei Schiffsbrücken sollte ein Hebel für die Richtungssteuerung und einer für die Höhensteuerung vorhanden sein.

Das Cockpit, oder auch das Flugdeck, ist die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Diese Schnittstelle muss mit der menschlichen Hand zurechtkommen. Der Großteil der Piloten, sowie der Rest der Bevölkerung sind Rechtshänder. Das wohl signifikanteste sich aus dieser Tatsache ergebende Beispiel, das Cockpitdesign und die Manövereigenschaften des Flugzeugs beeinflussen, ist das „Rechte Hand am Steuer – Linke Hand am Schub“-Arrangement bei einmotorigen Flugzeug-Cockpits,

---

<sup>139</sup> Siehe dazu auch den Abschnitt „Steuerungen“.

<sup>140</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 58, 85-90 und Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 12-13.

<sup>141</sup> Vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 206.



---

auch wenn es in den ersten zehn Jahren nach 1903 Beispiele für „Linke Hand am Steuer – Rechte Hand am Schub“ gegeben hat. Ein Beispiel für dieses Cockpitarrangement war Blériot's 1909 „Channel Crossover“.<sup>142</sup>

Von Beginn der Fliegerei an wurde versucht, die Flugzeuge so flugmechanisch stabil wie möglich zu bauen, denn Flugzeuge sollten in der Lage sein, auch ohne Steuereingaben den eingeschlagenen Kurs zu halten. Der Nachteil einer natürlichen Flugstabilität besteht im relativ großen Kraftaufwand bei zu fliegenden Manövern, da zahlreiche entgegengesetzte Kräfte wirken, die dann wieder ein Argument für eine instabile Auslegung des Flugzeugs sind. Aus diesem fundamentalen Konzept entwickelte sich die lange Tradition, dass sich die Hände und Füße des Piloten an der Flugsteuerung befinden. Das war zumindest für den überwiegenden Zeitraum der Flugzeugentwicklung das dominante kulturelle Muster.<sup>143</sup>

Neben dem Unterseeboot war das Flugzeug das einzige Verkehrsmittel, das sich in einer dreidimensionalen Umwelt bewegen konnte. Zu den drei Dimensionen in der Bewegungsfreiheit kam noch die entsprechend hohe Geschwindigkeit hinzu, mit der sich das Flugzeug bewegt. Hohe Geschwindigkeiten erfordern ein entsprechend gutes Reaktionsvermögen des Piloten, sodass das Überleben des Piloten sowie das seiner Fluggäste von der Erfahrung, Übung und Aufmerksamkeit abhing, mit der er das Flugzeug steuerte. Schon zu Beginn der Luftfahrt prägte sich der Leitsatz aus, der Pilot dürfe besonders bei längeren Flügen nicht in Unaufmerksamkeit verfallen oder sich ablenken lassen.

Die Piloten selbst wurden aus den unterschiedlichsten Schichten rekrutiert. In den Anfangsjahren waren die Piloten, wie bereits erwähnt, meist gleichzeitig die Erfinder und Konstrukteure der Flugzeuge. Später wurden auch Piloten ausgebildet, die das Fliegen als Freizeitabenteuer betrachteten. Doch als das Flugzeug in den Fokus der Militärs geriet, wurden viele Offiziere zu Piloten ausgebildet, und deshalb gab es in Deutschland zum Beispiel wenig Privatpiloten vor dem Ersten Weltkrieg. Fast alle ausgebildeten Piloten mussten neben einer sekundären Ausbildung auch wehrfähig sein,

---

<sup>142</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 19-21; vgl. *Flight*, 1909, S. 453-456; vgl. Morrow, *German Air Power*, 1976, S. 29; vgl. Gibbs-Smith, *The Invention of the Aeroplane (1799-1909)*, 1966, S. 210.

<sup>143</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 21.

---

wenn sie nicht bereits Reservisten waren. Die Auswahl der Flugschüler und die Flugausbildung wurden in Deutschland vollständig von den Flugzeugherstellerfirmen durchgeführt, obwohl die Ausbildung auch auf militärischen Flugzeugen erfolgte.<sup>144</sup>

Im Ersten Weltkrieg wurden Aufklärungsflüge mit einer Dauer von zwei bis drei Stunden in einer Flughöhe von 20.000 Fuß durchgeführt. Für diese Flüge standen kein zusätzlicher Atemsauerstoff und keine Heizung zur Verfügung. Die Einsätze in dieser ermüdenden und nahezu lebensfeindlichen Umgebung führten dazu, dass die Piloten teilweise nach der Landung nicht in der Verfassung waren, einen vollständigen Bericht über ihren Einsatz zu machen. Nach dem Krieg endete diese Art der Einsätze weitestgehend. Dieser Verzicht wirkte sich positiv auf das Leistungsvermögen der Piloten aus. Aber trotzdem stagnierte die Weiterentwicklung der Flugzeugcockpits, obwohl die Piloten an vielen Entwicklungs- und Entwurfsfragen beteiligt waren und ihre Erfahrungen viele Anregungen für Verbesserungen gaben. So wurden zur Erleichterung der Piloten beheizbare Fliegeranzüge und Sauerstoffmasken eingeführt, um das Leben in 15.000 Fuß oder darüber besser zu ertragen.<sup>145</sup>

## Anfänglicher Luftverkehr

Es gibt verschiedene Gründe dafür, warum sich die Cockpits so entwickelt haben, wie wir sie heute kennen. Die Piloten sitzen nebeneinander, der Kommandant auf der linken Seite. Beide Piloten haben vollen Zugriff auf die Primär- und Sekundärsteuerung.

Einige Gründe sind traditioneller Natur, wie zum Beispiel die Übernahme von Sitzpositionen von anderen Mobilitätsmaschinen, andere haben technische Hintergründe. Es gibt aber auch gesellschaftliche Begründungen oder Transfers aus anderen Verkehrsbereichen, wie zum Beispiel der Schifffahrt oder den Straßenverkehrsregeln, die durch Übernahme von Regularien auch Einfluss auf die Luftfahrt hatten. Zu den allgemeinen Verkehrsregeln zählt im gewissen Sinne auch die Kommunikation, da deren Faktoren auch heute noch, zwecks Durchführung eines sicheren Flugverkehrs, miteinander gekoppelt sind.

---

<sup>144</sup> Vgl. Morrow, German Air Power, 1976, S. 62-63.

<sup>145</sup> Vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 21-22.

---

## *Rechts oder Links?*

Die Geburtsstunde in der Luftfahrt fand in einer Welt der Rechtshänder statt. Bräuche, Gewohnheiten und Artefakte wurden primär für die Menschen entwickelt, welche die rechte Hand bevorzugten. Anfangs des 20. Jahrhunderts waren circa 80 Prozent der Menschen Rechtshänder, 10 Prozent beidhändig veranlagt, und die übrigen 10 Prozent der Menschen bevorzugten die linke Hand, speziell zum Schreiben. Die ersten Piloten verwendeten nicht viel Zeit auf die Frage, ob ihre Flugzeuge für Rechts- oder Linkshänder ausgelegt waren. Ihre Gedanken galten mehr technischen Problemen als der Ergonomie. Die Aufzeichnungen über die frühen Flugzeuge lassen aber den Schluss zu, dass die rechte Hand die dominierende war, und die Position der Bedienungseinrichtungen im Flugzeug von ihr weitestgehend festgelegt wurden.<sup>146</sup>

Die Bevorzugung der rechten Hand durch die Mehrheit der Menschen wird somit die Entwickler und die ersten Piloten beeinflusst haben. Dies lässt sich aber nicht belegen. Nach Ende der ersten Dekade der Fliegerei mit Flugzeugen konnte man feststellen, dass die Steuerungen und Bedienungen für die, meist sensitivere, rechte Hand ausgelegt war. Die späteren zweisitzigen Flugzeuge der Wrights besaßen zwischen den Sitzen die gemeinsame kombinierte Steuerung für die Quer- und Seitenlage. Der Hebel für die Höhensteuerung befand sich an den Außenseiten der Pilotensitze in Kniehöhe. Der Pilot auf dem linken Sitz musste dadurch die Hände umgekehrt einsetzen wie der Pilot auf dem rechten Sitz. Walter Brookins zum Beispiel war absichtlich als linkshändiger Pilot geschult, sodass er den zweisitzigen Wright Flyer vom rechten Sitz aus fliegen konnte. Im linken Sitz wurden Flugschüler postiert, die dann entsprechend mit der rechten Hand die kombinierte Quer- und Seitensteuerung bedienten. Jahre später schrieb Orville Wright über die Ausbildung von „linkshändigen“ Piloten, dass sie nicht in der Lage waren, die Flyer mit der rechten Hand zu steuern. Orville Wright selbst testete als rechtshändiger Pilot seine Fähigkeiten, den Flyer mit der linken Hand zu fliegen. Nach seiner eigenen Aussage war das der wildeste Flug seines Lebens. 1911 installierten die Wrights eine doppelte Rechtshänder-Steuerung in einen Flyer, sodass die Flugschüler dann auch von rechtshändigen Piloten unterrichtet werden konnten.

---

<sup>146</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 22-23 sowie Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101.

---

Die Wrights, aber auch ihre Nachfolger, ob Piloten oder Designer, wurden wissentlich oder unbewusst von ihrer Umgebung, den Menschen und den Artefakten, beeinflusst.

## *Verkehrsregeln*

In den ersten zehn Jahren nach 1903 war der Luftverkehr noch sehr gering. Ein Zusammenstoß von zwei Flugzeugen in der Luft, entfernt von einem Flugplatz, war sehr unwahrscheinlich. Im Flugplatzbereich kam es aber gelegentlich zu einer signifikanten Anzahl von startenden, rollenden und landenden Flugzeugen. In der Ausgabe der Zeitschrift „The Aeroplane“ vom 27. Juni 1912 betont der Verfasser eines Artikels, dass vor allem im Flugplatzbereich auf Disziplin geachtet werden soll, damit Kollisionen vermieden werden. Unter dem Artikel „Need for control of (sic) aerodromes“ wurde folgende Beobachtung nach dem Zusammenstoß zweier militärischer Breguet Flugzeuge gemacht:

*„At practically all aerodromes there have been a number of minor accidents that might easily have been fatal but for sheer luck, and might never have been anywhere near accidents if there had been strict rules for conduct on the aerodromes, which could be enforced by a responsible official. One hears complaints, for example, that certain machines have a trick of swerving to the left, with the result that when they leave their sheds they run down the left side of the aerodrome, so going in the wrong direction of the course and meeting machines that are flying in the opposite direction.“<sup>147</sup>*

Der Kommentar über den „Course“ suggeriert, dass der Linksverkehr, entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn, als normal akzeptiert wurde. Die Herkunft der Linksplatzrunde erlaubt wie viele Dinge in der Luftfahrt, die Frage danach, was zuerst war. Auf der einen Seite zum Beispiel war bei den ersten Flugzeugen der Wrights die Pilotenposition auf der linken Seite, der Motor rechts. Dadurch war die Sicht nach links besser, da das Höhenruder<sup>148</sup> ebenso die Sicht nach rechts vorne beeinflusste. Somit scheint

---

<sup>147</sup> Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 24.

<sup>148</sup> Der Flyer war nach der Canard – Bauweise konstruiert. Das Höhenruder war entsprechend vorne angebracht. Diese Bauart wird auch als Entenflügler bezeichnet.

---

es möglich, dass die Wrights unbewusst durch die Bauweise der Flugzeuge die Platzrundenrichtung festgelegt haben.

Weiterhin ist es denkbar, dass der Platzrundenverkehr in gleicher Richtung verlaufen sollte wie die Rennen bei den Olympischen Spielen. Diese Rennen fanden immer gegen den Uhrzeigersinn statt. Ebenso waren Pferderennstrecken, Schlittschuhbahnen und Fahrradrennbahnen für Rennen entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn ausgelegt. Die großen Ausnahmen allerdings waren Formel 1-Rennbahnen und die Hälfte der englischen Pferderennbahnen. In den USA waren zu Zeiten der Wrights alle Rennbahnen gegen den Uhrzeigersinn angelegt.<sup>149</sup>

Bei seinem Studium der Wright Brüder und deren Flugzeuge stellte Gibbs-Smith fest, dass von 15 Fotografien 12 suggerieren, dass links die bevorzugte Richtung war. Auch die erste Kurve die von den Wrights geflogen wurde, war eine Linkskurve. Als Farman im Januar 1908 seinen ersten Parcours umflog, flog er gegen den Uhrzeigersinn. Immer wenn Organisatoren für Luftfahrtereignisse Flugstrecken oder Parcours organisierten, planten sie als Richtung links ein.

Das Jahr 1909 war für die Entwicklung einer wettbewerbsfähigen Luftfahrt durch das umfliegen von geschlossenen Parcours sehr bedeutsam. In diesem „annus mirabilis“ der europäischen Luftfahrt fanden mehrere große Wettbewerbe in Reims, Brescia, Monte Carlo, Blackpool und Doncaster statt. Am Jahresanfang veröffentlichte die Commission Aérienne Mixte<sup>150</sup> in Frankreich ein Regelwerk für Wettbewerbsflüge. Diese wiesen keine Richtung aus, in der die Parcours umrundet werden sollten. Die Kommission schlug aber vor, dass sich Flugzeuge, ebenso wie Schiffe, jeweils auf der linken Seite positionieren sollen. Zudem sollten sich die Flugzeuge auf der rechten Seite des geplanten Flugweges entlang von Navigationspunkten auf dem Boden bewegen. Somit befindet sich zum Beispiel bei einem Flug entlang eines Flusses der Fluss auf der linken Seite des Piloten. Entgegenkommende Flugzeuge passieren sich ebenfalls auf der linken Seite.<sup>151</sup>

---

<sup>149</sup> Vgl. hierzu und zum Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 24-27.

<sup>150</sup> Die Commission Aérienne Mixte (C.A.M.) war eine französische Organisation ähnlich dem Aero Club nur in staatlicher Hand. Siehe dazu *Flight*, 22. Januar 1910, S. 50.

<sup>151</sup> Vgl. hierzu und zum Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 24-27; vgl. *Flight, Rules of the Air*, 1910, S. 241; vgl. Gibbs-Smith, *The Invention of the Aeroplane (1799-1909)*, 1966, S. 213-219; vgl. *Flight, The French Law of the Air*, 1911, S. 1043; Dieses Verfahren wird noch heute international bei Flügen nach Sichtflugregeln (VFR) angewendet.

---

1910 veröffentlichte der französische Aero Club unter anderem die Regeln, dass alle Flugzeuge Gebäude nicht unter einer Mindesthöhe von 50 Metern überfliegen dürfen. Alle Überholmanöver durch Flugzeuge müssen auf der rechten Seite durchgeführt werden. Zudem müssen Flugzeuge den Luftschiffen ausweichen. Möglicherweise reflektierten diese Regeln die Verkehrsregel für die Seefahrt. Zudem ist die Regel, „Dampf“ weicht dem „Segel“ aus, implementiert, da Flugzeuge wesentlich manövrierfähiger sind als Luftschiffe.

Nach diversen Unfällen, wobei unter anderem die Royal Air Force Offiziere Dubois und Peignan in Douai tödlich verunglückten, wurden in England immer mehr Stimmen nach einheitlichen Luftverkehrsregeln lauter. Gefordert wurden internationale Vorgaben ähnlich der Seefahrt. Neben einheitlichen Verkehrsregeln sollte auch die Ausstattung, wie zum Beispiel die Beleuchtung am Flugzeug, international geregelt werden.<sup>152</sup>

Diese frühen Ideen zur Regelung des Luftverkehrs führten unter anderem später zur Linksplatzrundenregelung und zur Vorschrift, dass der Pilot auf der linken Seite des Cockpits seinen Platz hat. Die britischen Flugzeugbauer übernahmen die Entscheidung, den Piloten auf der linken Seite zu platzieren, erst zehn Jahre nach dem Ersten Weltkrieg. Die Marinetradition, die Steuerbordseite der Backbordseite zu bevorzugen, führte dazu, dass bei den britischen schweren Bombern im Ersten Weltkrieg der Pilot auf der rechten Seite der Flugzeugmittellinie seinen Platz hatte.<sup>153</sup>

### *Kommunikation über Distanzen*

Die erste Form der drahtlosen elektronischen Kommunikation war die der Funksender und Funkempfänger. Es gibt verschiedene Spezifikationen der drahtlosen Telekommunikation. Eine technisch einfache Form ist die Funktelegraphie, bei der ein monotonisches Signal unterbrochen wird, um ein Signal im Morse-Code zu übermitteln.<sup>154</sup> Weiterhin wurden zur Übermittlung von Sprache oder technischen Signalen Systeme entwickelt, die Amplituden- und Frequenzmodulation verwenden.

---

<sup>152</sup> Vgl. einen Kommentar aus der Zeitschrift *Flight*, 1912, S. 578.

<sup>153</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 26-27.

<sup>154</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 32.

---

Der motorisierte Flug mit Flugzeugen ging zeitgleich einher mit der Entwicklung der drahtlosen Kommunikation. Die Erweiterung der Flugnavigation sowie die Entwicklung von Flugzeugen für den militärischen Einsatz standen in enger Beziehung zum Entwicklungsstand der drahtlosen Kommunikation. Der entfernt vom Flugplatz operierende Aufklärungsfieger benötigt zum Beispiel ständigen Funkkontakt zu einer Bodenstation, die dessen Aufklärungsbericht erwartete. Bereits 1907 untersuchte die britische Armee Möglichkeiten für eine Kommunikation vom Boden zum Flugzeug. Im folgenden Jahr wurde ein Funksender in einem Fesselballon getestet und ein Morsesignal übermittelt.<sup>155</sup> Auch in Deutschland, Frankreich und Belgien führte das Militär entsprechend erfolgreiche Experimente mit drahtloser Kommunikation durch, und in Gräfelfing bei München gründete Max Dieckmann später die Drahtlostelegraphische und Luftpfelektrische Versuchsanstalt, in der die experimentelle Forschung zur elektrischen Kommunikations- und Luftfahrttechnik verschmolzen.<sup>156</sup>

Für viele Jahre war die Übermittlung von Morsesignalen wichtig für die Navigation und später auch für Landungen bei schlechter Sicht. Es wurden für navigatorische Zwecke zunächst nur die beiden Buchstaben A und N als Morsesignal übermittelt.<sup>157</sup> Die später entwickelte Fähigkeit, die Audiofrequenzen entsprechend zu modulieren, führte dann zum Sprechfunkverkehr.<sup>158</sup>

Die ersten Instrumente für die Sprachkommunikation vom Flugzeug zum Boden hatten beinahe ähnliche Dimensionen wie die stationären Funkgeräte. Die Bauformen, wie zum Beispiel die der Geräte, mit denen Maurice Farman 1911 experimentierte, waren voluminös und mit Gewichten von bis zu 40 kg auch sehr schwer.<sup>159</sup> Gleiches galt auch für die zugehörigen Antennen.

Die einfachste Bauform einer Antenne ist ein bloßes Kabel. Anfangs wurden Schleppantennen verwendet, die für den Start und die Landung eingezogen werden mussten. Idealerweise sollte die Länge der Antenne ungefähr der zu übertragenden Wellenlänge oder deren ganzzahligem Vielfachen entsprechen.<sup>160</sup> Da anfänglich sehr

---

<sup>155</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 27.

<sup>156</sup> Siehe dazu *Flight*, 1909, S. 5; Trischler, *Luftfahrtforschung*, 1992, S. 226-228.

<sup>157</sup> Zur Beschreibung des Verfahrens siehe Kapitel 3 „Streckennavigation ohne Sicht – Die Funkpeilung“.

<sup>158</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 32; ebd. S. 47-49; vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 76.

<sup>159</sup> Vgl. Artikel aus der Zeitschrift *Flight*, 1911, S. 119.

<sup>160</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 33.

---

niedrige Frequenzen verwendet wurden, waren die Antennen entsprechend lang und schwer.

1912 sendete der britische Royal Navy Commander Charles Rumney Samson einer Flotte von Zerstörern aus einer Entfernung von 10 Meilen Informationen aus einer BE 2. Ebenso wie die britische Armee hielt die britische Marine das Potential der drahtlosen Übertragung von Informationen durch Flugzeuge für notwendig. Das britisch-deutsche Flottenwettrüsten trieb auch die Entwicklung von Cockpitinstrumentierungen und Anzeigen voran. Vorreiter in diesem Bereich waren unter anderem Guglielmo Marconi in Italien und Großbritannien sowie Christian Hülsmeier in Deutschland.<sup>161</sup>

Bei den ersten Experimenten mit Funkverkehr zu Flugzeugen um 1912 wurde festgestellt, dass das Flugzeug im Gegensatz zu einem Ballon eigene Störstellen mitführte. Es traten größere Interferenzen auf, die unter anderem durch die Magnetzündung der Kolbenentriebe hervorgerufen wurden. Die Lösung, die Störung zu beseitigen bestand darin, die störenden Kabel durch metallische Zusatzisolierungen abzuschirmen.<sup>162</sup>

## Gesellschaft und Forschung

In den Anfangsjahren vermeldeten die Tageszeitungen und Fachzeitschriften in rascher Folge neu aufgestellte Rekorde und Erfindungen. Schnell wuchs das öffentliche Interesse an den wagemutigen Pionieren der Lüfte sowie an ihrem abenteuerlich anmutenden Fluggerät. In den Jahren ab 1909 pilgerten teilweise 100.000 und mehr Zuschauer zu den Flugshows. Einerseits wurden diese Massen angetrieben von einem Interesse an neuer Technologie, andererseits auch häufig vom makabren Interesse, einen Unfall zu sehen. Ein trauriger Rekordmonat war der Dezember 1910, indem acht Flugzeuge verunglückten und zehn Menschen zu Tode kamen.<sup>163</sup> Nachfolgend wird die Bedeutung der Luftfahrt in der damaligen Gesellschaft skizziert.

---

<sup>161</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 27-28; vgl. Spooner, *Aircraft and Wireless*, 1914, S. 79-80.

<sup>162</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 34.

<sup>163</sup> Vgl. Dierikx, *Clipping the Clouds*, 2008, S. 4; vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 11-12; vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 433-434; vgl. Rieger, *Technology and Culture*, 2005, S. 20-21, 51; Wohl,



---

Wesentlich für die Organisation der öffentlichen Wirkung waren die Vereinigungen der Flugzeugnutzer. So entstand 1905 in Paris die Fédération Aéronautique Internationale<sup>164</sup>, die Wettbewerbe organisierte und die errungenen Flugrekorde auflistete.

Die Piloten wurden oft als heroische Helden betrachtet, da sie es geschafft hatten, das Element Luft zu zähmen. Doch diese Sicht der Gesellschaft war nicht immer so. Anfangs wurden nur die Misserfolge journalistisch vermittelt und öffentlich bewertet. Als dann von tatsächlichen gelungenen Flugversuchen berichtet wurde, auch von enthusiastischen Augenzeugen, stieg das Interesse an waghalsigen Erfindern und Piloten. Zu ihnen gehörte der Brasilianer Santos-Dumont, der das motorisierte Fliegen nach Europa brachte.<sup>165</sup>

So konnten die Flieger anfangs in zwei Gruppen aufgeteilt werden. Einerseits waren da die Wohlhabenden, die das Fliegen als nervenkitzelnden und herausfordernden Sport betrieben, andererseits gab es die Arbeiter mit einer „mechanischen Ader“, die davon träumten ihr Glück mit Preisgeldern oder Vorführungen zu machen.<sup>166</sup>

Ein Interesse der Gesellschaft beförderte die anhaltende Jagd nach Rekorden. So stellte zum Beispiel Wilbur Wright einen neuen Streckenrekord während des Michelin Cups am 18. Dezember 1908 auf. Er umflog einen dreieckigen Parcours von 2,2 km exakt 45 mal, was einer äquivalenten Strecke von 99 km entspricht. Für diese Leistung benötigte er 1 Stunde 53 Minuten und 59 Sekunden. Nach den Regeln des Michelin Cups kam noch eine An- und Abflugstrecke zum Parcours hinzu, welche jeweils 400 m betrug. Somit betrug die gesamte Distanz 99,8 km mit einer Gesamtflugzeit von 1 Stunde 54 Minuten und 57 Sekunden. In Deutschland gelang es zur gleichen Zeit dem Ingenieur Hans Grade, Flüge mit Distanzen von 100 m bis 400 m durchzuführen. Dabei betrug die Flughöhe 1 m bei Geschwindigkeiten zwischen 30 – 40 km/h.<sup>167</sup>

---

A Passion for Wings: Aviation and the Western Imagination, 1908-1918, 1996; vgl. Hundertmark, Flugplatz Johannisthal, 1991, S. 28.

<sup>164</sup> Vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 59; vgl. Gibbs-Smith, The Rebirth of European Aviation 1902-1908, 1974, S. 173.

<sup>165</sup> Vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 50-51; vgl. Rieger, Technology and Culture, 2005, S. 116-118, 125.

<sup>166</sup> Vgl. Grant, Fliegen. Die Geschichte der Luftfahrt, 2003, S. 52.

<sup>167</sup> Siehe Flight, 1909; siehe zu Rekorden und Flugleistungen auch Morrow, German Air Power, 1976, S. 29-30.

---

Neben dem gesellschaftlichen Interesse an Unterhaltung wurden ab 1910 auch Flugzeuge für den Frachttransport eingesetzt. Aber aufgrund der noch sehr geringen Nutzlastkapazitäten verhalf der Frachttransport dem Flugzeug nicht zum kommerziellen Durchbruch. Auch der Passagierverkehr<sup>168</sup> war noch sehr gering. Das Flugzeug machte aber durch die Möglichkeit, Transporte durchzuführen auf sein Leistungsspektrum aufmerksam, und ab 1911 wurden in Deutschland, Frankreich, Großbritannien und in den Vereinigten Staaten schon Luftpostlinien eingeführt. Die ersten Strecken waren aufgrund der Flugleistungen noch nicht besonders lang. Teilweise betrug die Distanzen nur 20 – 40 km, wie zum Beispiel bei der Postfluglinie London – Windsor Castle.<sup>169</sup>

Der Drang zu stetig verbesserten Flugzeugen wurde unter anderem auch von Geschäftsleuten gefördert. So schrieb zum Beispiel William Randolph Hearst ein Preisgeld in Höhe von \$50.000 für den Piloten aus, dem es gelang, die Vereinigten Staaten innerhalb von 30 Tagen von Küste zu Küste zu durchfliegen. Auch er sah in der Fliegerei mit Flugzeugen ein entsprechendes wirtschaftliches Potential. Die fliegerischen Wettbewerbe machten den Mobilitätssportarten wie Automobil- oder Sportbootrennen ihren gesellschaftlichen Vorrang streitig. Fluggeräte wurden nicht mehr als Objekte zur Vorführung im Sinne von Jahrmarktsvergnügen und gefährlicher Schaustellerei interpretiert, sondern als individuelle Sportgeräte.<sup>170</sup> Und auch in Europa wurden für die Finanzierung von fliegerischen Wettbewerben recht hohe Beträge als Preisgelder eingesetzt. So gaben zum Beispiel britische Zeitungs- und Zeitschriftenverlage 1914 circa 24.000 £ für Preisgelder aus.<sup>171</sup>

Mit der zunehmenden Militarisierung des Flugsports in Deutschland spaltete sich die Fliegerei auf. Von der sportorientierten Fliegerei grenzte sich eine im militärischen Sinne zweckgebundene Fliegerei ab. Trotzdem waren die Wettbewerbe ein wichtiger Faktor, denn sie führten die Teilnehmer an militärische Anforderungen, besonders Auf-

---

<sup>168</sup> Dabei handelte es sich nicht um den gewerblichen Transport von Passagieren auf ausgewiesenen Fluglinien. Im Kontext des aufgeführten Zeitrahmens handelt es sich im Wesentlichen um Rundflüge. Auch waren die Flugleistungen für den Transport von einem Passagier über eine größere Distanz noch nicht vorhanden.

<sup>169</sup> Vgl. Rhoades, *International Aviation*, 2008, S. 25.

<sup>170</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 52-53.

<sup>171</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 13.

---

klärungsflüge, heran. Dabei wurden von den Veranstaltern unter anderem die Zuverlässigkeit der Motoren, die Wetterunabhängigkeit und die Flugleistungen mit zwei Personen gefordert und prämiert.<sup>172</sup>

Otto Lilienthals Werk „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ diente vielen Vorreitern als Lehr- und Nachschlagewerk.<sup>173</sup> Dem Beispiel Lilienthals, seine Arbeiten, Erkenntnisse und Überlegungen zu dokumentieren, folgten nicht viele Erfinder. Den Ingenieuren und Luftfahrtpionieren boten die Theorien über Auftrieb, Widerstand und der klassischen Hydrodynamik recht wenig. Deshalb entwickelten sich parallel und weitgehend unabhängig von der theoretischen Forschung die Tradition einer praxisorientierten Forschung.<sup>174</sup> Erst ab 1907 / 1908 entstand in Europa eine Welle des theoretischen flugtechnischen Wissensdurstes.

Angeregt durch die spektakulären Flugshows des Jahres 1908 gab es in Großbritannien und Frankreich ein verstärktes Interesse an Flugzeugen, und es wuchs die potentielle militärische Bedeutung des Flugzeugs. Der britische Kriegsminister Richard Haldane erkannte, dass die Wissenschaft einen wesentlichen Beitrag zum Fortschritt in der Theorie und Praxis des Fluges beitragen konnte, und kurz nach dem ersten Motorflug in Großbritannien wurde am 30. April 1909 das „Advisory Committee for Aeronautics“ gegründet. Der Aufbau der Luftfahrtforschung geschah in enger Zusammenarbeit von Staat und Wissenschaft. In Frankreich hingegen war der treibende Motor, neben der Wissenschaft, vor allem die Wirtschaft.<sup>175</sup>

In Deutschland erkannte man erst später die Notwendigkeit der Luftfahrtforschung. Auf Grund des gesellschaftlichen Drucks der Luftfahrtgemeinde in Deutschland wurde 1912 die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) gegründet.<sup>176</sup> Der politische und gesellschaftliche Druck durch die deutsche Luftfahrtgemeinde wurde wohl auch durch die Beispiele Großbritannien und Frankreich angeregt. In diesen beiden Ländern hatte man die Bedeutung von Forschungs- und Versuchseinrichtungen für die Flugtechnik klar erkannt.

---

<sup>172</sup> Vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 106-107.

<sup>173</sup> Zu den Studenten der Werke Otto Lilienthals gehörten auch die Brüder Wright.

<sup>174</sup> Vgl. Trischler, Luftfahrtforschung, 1992, S. 51.

<sup>175</sup> Vgl. Trischler, Luftfahrtforschung, 1992, S. 70-71; vgl. Dierikx, Clipping the Clouds, 2008, S. 3-5.

<sup>176</sup> Vgl. Flachowski, Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat, 2008, S. 25; vgl. Trischler, Luftfahrtforschung, 1992, S. 68; ebd. S. 74-75.

---

## Automatische Flugsteuerungen

Bereits bei den Wrights verlangte die Einhaltung der korrekten Fluglage und Geschwindigkeit die volle Konzentration und Aufmerksamkeit des Piloten. Daher bestand schon früh das Verlangen, den Piloten bei der Steuerung des Flugzeugs zu unterstützen. Wilbur Wright selbst war der Meinung, dass man die Einhaltung der Balance des Flugzeugs ebenso erlernen muss wie das Fahrradfahren. Zudem könne man froh sein, wenn man die Lehrzeit ohne schweren Unfall absolviert.<sup>177</sup> Die Meinung Wilbur Wrights erscheint sehr plausibel, da die Flugzeuge in den Anfangsjahren nicht flugmechanisch stabil ausgelegt waren.<sup>178</sup> Der Pilot war neben der Steuerung des Flugzeugs auch mit der Regelung der Fluglage beschäftigt. Ein „Loslassen“ der Steuerung war zu dieser Zeit nicht denkbar und führte folglich zu einem unkontrollierten Flugzustand.

Mit den Fortschritten bei der Steuerung von Flugzeugen verband sich der Wunsch die Einhaltung von korrekten Fluglagen und Geschwindigkeiten zu automatisieren um dem Piloten Entlastung bei seiner verantwortungsvollen Tätigkeit zu bieten. Die folgenden Abschnitte zeigen die Entwicklung der Steuerungsautomaten von einfachen mechanischen Hebelkonstruktionen bis hin zu den Kreiseln auf. Es wird dabei die Frage beantwortet, warum Kreisel als Sensoren für Fluglage- und Navigationsinstrumente allen bisherigen technischen Lösungen überlegen waren.

Die Entwicklung der automatischen Steuerungen wurde auf unterschiedliche Sensoren gestützt. Diese waren das Pendel, die Windfahnen und die Kreisel. Aber auch andere Technologien wie die so genannten Fühlflächen standen in der Diskussion. Fühlflächen waren am Flugzeug angebrachte Flächen die durch Luftdruck entsprechende Relais schalten sollten. Grundlage für Pendel und Windfahnen als Sensoren für die Flugregelung war die Voraussetzung, dass das Flugzeug flugmechanisch stabil ausgelegt war, wie es aber bereits seit 1909 üblich war.

Während in Deutschland das Interesse an einer automatischen Flugregelung groß war, zeigten die französischen Konstrukteure demgegenüber eine große Abneigung. Sie sahen in einer solchen Technik Nachteile durch eine Gewichtserhöhung sowie eine Fehlerquelle, die bei auftretenden Komplikationen eine erhöhte Betriebsunsicherheit

---

<sup>177</sup> Vgl. Conrad, 1910 sowie Kracheel, Flugführungssysteme, 1993, S. 9.

<sup>178</sup> Vgl. Lanchester, The Wright and Voisin Types of Flying Machine, 1909, S. 26.

---

bot.<sup>179</sup> Die Franzosen zogen die bewährte Methode der flugmechanischen Stabilisierung durch eine entsprechende aerodynamische und mechanische Grundauslegung vor.

### *Sensoren als Grundlage der automatischen Flugsteuerung*

Der Ingenieur Franz Drexler war der erste Entwickler von Autopiloten<sup>180</sup> in Deutschland. Angeregt durch den 1910 erschienenen Artikel der Zeitschrift „Der Motorwagen“, in dem von Robert Conrad auf das Thema Flugmaschinenunfälle und Stabilisierungsautomaten eingegangen wurde, sowie durch eigene Überlegungen stellte Drexler 1912 die Erfordernisse und wesentlichen Merkmale von automatischen Flugsteuerungen zusammen. Er legte ein Hauptaugenmerk auf die Betriebssicherheit, aber auch ergonomische und ökonomische Parameter sollten in Betracht gezogen werden. Im Bezug auf die Bedienbarkeit und Anordnung im Cockpit musste der Apparat vom Piloten aus bedienbar sein und die Flugsteuerung durch den Piloten nicht beeinträchtigen oder behindern. Der Pilot muss im Stande sein, direkt Steuereingaben durchzuführen, ohne den Automaten zuvor abzuschalten oder andere Eingaben durchführen zu müssen.

Als Drexler die Haupterfordernisse verfasste, waren die Flugzeuge noch reine Leichtbaukonstruktionen, sodass es ebenso eine seiner Forderungen war, dass der Automat im Verhältnis zum Flugzeug nicht zu voluminös oder zu schwer sein durfte.<sup>181</sup> Daraus ist abzuleiten, dass Drexler auch wirtschaftliche Lösungen forderte, die sich für die Serienproduktion eigneten. Mit seinen zehn Regeln beeinflusste er die Entwicklungen der automatischen Flugsteuerungen und Autopiloten nachhaltig. Im Kern haben sich die Anforderungen bis heute nicht verändert und finden sich in den jeweiligen Bauvorschriften für automatische Flugsteuerungen der FAA und EASA<sup>182</sup> wieder.

Franz Drexler und viele weitere Entwickler benutzten für ihre Stabilisierungshilfen Pendel als Sensoren. Als Besonderheit seines Konzeptes kann benannt werden, dass er

---

<sup>179</sup> Vgl. Conrad, 1910.

<sup>180</sup> Als „Autopiloten“ wurden Flugregler auf Basis von Gyroskopen bezeichnet. Siehe dazu Risukhin, Controlling Pilot Error: Automation, 2001, S. 6.

<sup>181</sup> Vgl. Kracheel, Flugführungssysteme, 1993, S. 9-11

<sup>182</sup> FAA – Federal Aviation Administration (US Luftfahrtbehörde), EASA – European Aviation Safety Administration (Europäische Luftfahrtbehörde).

---

stehende Pendel (inverse Pendel) verwendete. Grundsätzlich wirkten diese Pendel auf hydraulische, pneumatische oder elektrische Servoeinrichtungen. Jedoch stellten sich alle Stabilisierungseinrichtungen mit Pendel als Sensor letztendlich als unbrauchbar heraus. Als einzige Ausnahme erreichten Pendel zur Querstabilisierung im Geradeausflug eine Verbesserung.<sup>183</sup>

Auch Windfahnen wurden schon früh in der Praxis zur Flugstabilisierung eingesetzt. Dabei wurde der Sensor auf unterschiedliche Weise genutzt. Zum einen als Staudruckmesser wie etwa bei dem Entwurf von August von Parseval, bei dem die Stauplatte direkt auf das Höhenruder wirkte. Andere, wie zum Beispiel Wilhelm Hasse und vor allem Louis Constantin, nutzten die Eigenschaft von Windfahnen sich immer in Anströmrichtung auszurichten, als Sensor für ihre Entwürfe von Stabilisierungseinrichtungen. Windfahnen als Sensoren für automatische Steuerungen setzten sich aber im Flugzeugbau nicht durch. Jedoch findet man Windfahnen noch heute als Sensor für die Anzeige des Anströmwinkels an modernen Verkehrsflugzeugen.

Hiram Maxim entwickelte eine Vertikalsteuerung auf Grundlage einer Aneroiddose. Als Sensor diente die sich ausdehnende Membran, die durch eine entsprechende Mechanik die Höhensteuerung beeinflusste. Maxims Patent für diese Höhenstabilisierung, das aber bald verfiel, erlaubte neben der Einstellung von vorgewählten Steig- und Sinkgeschwindigkeiten auch die Regelung des Geradeausflugs.<sup>184</sup>

Der Sensor, der sich in vielen Instrumenten besonders in der Lageanzeige durchsetzte, war der Kreisel. Schon in den Jahren von 1891 bis 1898 beschäftigte sich Maxim auch mit der Stabilisierung von Flugzeugen durch Kreisel, denn er und Sperry sahen nur in der automatischen Steuerung eine Entwicklungsmöglichkeit des Flugzeugs. Auch Drexler wandte sich ab 1912, nach negativen Erfahrungen mit Pendeln als Stabilisator in einem Blériot-Eindecker, dem Kreisel als Sensor zu und erprobte ihn. Drexlers Entwürfe zur Regelungstechnik stammten aus dem Wasserturbinenbau, privat aber be-

---

<sup>183</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 11-13.

<sup>184</sup> Vgl. Brewer, 1910, S. 300-302; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 61-63; vgl. Gibbs-Smith, *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*, 1960, S. 206.

---

schäftigte er sich über Jahre mit der Flugzeugstabilisierung. 1913 stellte er einen Prototyp vor und appellierte an die Flugzeugindustrie, mit einer automatischen Flugsteuerung dem Flugzeug ein eigenes Empfinden zu geben.<sup>185</sup>

### *Elmer Sperry – Pionier in der Flugzeugkreiselentwicklung*

Der Erfinderunternehmer Elmer Sperry begann seine Pionierarbeit in der Kreiseltechnik mit Schiffskreiseln, die zur Stabilisierung von Schiffen dienen sollten. Dabei wirkten diese Kreisel passiv auf die Schiffsbewegungen. Bei seiner Suche nach einer Verwendung für seine „schweren Kreisel“ kam er auch zur Luftfahrt. Hier machte aber die große Masse der passiven Kreisel alle guten Flugeigenschaften zunichte.<sup>186</sup> Zu dieser Erkenntnis kam auch Stanley Beach, der 1907 mit der Weiterentwicklung des Blériot-Eindeckers für den amerikanischen Markt begann. Um ihn für einen unkomplizierten Gebrauch einzurichten, sollte das Stabilitätsproblem gelöst werden und die intelligente Kreiseltechnik entsprechende Verwendung finden.<sup>187</sup>

Sperry dehnt seine Recherche über Kreiselobjekte auch auf den europäischen Kontinent aus. Ihm war klar, dass er sich als Nachbesserer vorhandener Technik auf dem Patentsektor nur über einen nachweisbaren Erfindungsfortschritt behaupten konnte. Sperrys Unternehmen besaß im Gegensatz zu Erfindern wie Hermann Anschütz-Kaempfe, der als Außenseiter zur Technik kam, die primäre Intention eines professionellen Erfinderunternehmens. Sperrys Kreisel sollte nicht mehr passiv, wie zum Beispiel beim Kreisel des Ingenieurs Otto Schlick, sondern aktiv über einen Motor auf das Fahrzeug einwirken. Der Schiffskreisel diente für Sperry als Meilenstein für die technische Entwicklung bei seinen Arbeiten am künstlichen Horizont und der entsprechenden Flugzeugstabilisierung.

Ihren ersten Autopiloten demonstrierten die Sperrys 1912.<sup>188</sup> Aber als sehr erfolgreich im Bau von Flugzeugstabilisierungen stellten sich Elmer und Lawrence Sperry dann

---

<sup>185</sup> Vgl. Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 13-17; vgl. Broelmann, *Kreiseltechnik*, 2002, S. 300.

<sup>186</sup> Vgl. Broelmann, *Kreiseltechnik*, 2002, S. 272-273; vgl. Hughes, *Elmer Sperry*, 1971, S. 103ff.

<sup>187</sup> Vgl. hierzu und zum Folgenden Broelmann, *Kreiseltechnik*, 2002, S. 271-273, 280 sowie vgl. Hughes, *Elmer Sperry*, 1971, S. 120-122, 173-200.

<sup>188</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 219; vgl. Hughes, *Elmer Sperry*, 1971, S. 173-200.

---

erst ab 1914 dar. Mit einer eindrucksvollen Vorführung gewannen sie den vom französischen Aero Club ausgesetzten Preis für die Sicherheit von Flugzeugen von 400.000 Francs.<sup>189</sup> Bei dieser Vorführung flog Elmer Sperrys Sohn Lawrence einen Curtiss C-2 Doppeldecker. Während er sichtbar die Hände von der Flugsteuerung nahm, bewegte sich sein Mechaniker, Emil Cachin, zwischen den Tragflächen, wobei das Flugzeug seinen Kurs nicht änderte.

Dieser Anfang einer Art Autopilot setzte vor der Verwendung einen wichtigen Umstand voraus: Das Flugzeug musste sich in der richtigen Fluglage auf dem korrekten Kurs befinden. In der Praxis bedeutete dies, dass der Pilot das Flugzeug unter guten Wetterbedingungen starten musste und das Flugzeug in der Reiseflugkonfiguration auf den geplanten Kurs einsteuerte. Anschließend konnte er den Autopiloten einschalten, und das Flugzeug wurde auf den eingestellten Flugweg entsprechend geregelt. Für die Landung galt dann auch wieder, dass der Pilot den Anflug unter Sichtflugbedingungen durchführen konnte.<sup>190</sup> Dadurch konnte sich der Pilot während des Reiseflugs primär auf die Navigation und die Triebwerksüberwachung konzentrieren. Der Steuerkurs musste dennoch regelmäßig von Hand korrigiert werden, um zum Beispiel den Versatz durch Wind auszugleichen. Auch brauchte der Pilot die notwendigen Steuerdrücke nicht permanent durch Muskelkraft aufbringen. Daher war der Autopilot, obwohl er damals nur über einen sehr begrenzten Funktionsumfang verfügte, der Regelung des Geradeausflugs, eine große Entlastung für den Piloten.

### *Entwicklungen von Kreiselinstrumenten in Deutschland*

Nach vielen Versuchen mit Pendeln und Windfahnen stellten sich elektrische Kreisel als die zuverlässigste Methode für eine automatische Flugsteuerung heraus. In Deutschland waren mehrere Personen, Institute und Firmen mit der Entwicklung sowie der theoretischen Erforschung von Kreiselinstrumenten und Kreiseln als Sensor für Steuerungen beschäftigt, wie zum Beispiel die bereits mehrfach erwähnte Firma Anschütz und der Ingenieur Franz Drexler.

---

<sup>189</sup> Vgl. Kracheel, *Flugführungssysteme*, 1993, S. 13-17; vgl. *Flight*, 1914, S. 712; vgl. *Scientific American*, 1914, S. 108-109; vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 32; vgl. Anderson, *Navigational Equipment*, 1978, S. 842-843.

<sup>190</sup> Vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 58; vgl. Wilson, *Die Entwicklung der Avionik*, 1993, S. 12ff.



---

Als Flugzeugführer ausgebildet, wurde es dem Ingenieur Franz Drexler durch das bayrische Kriegsministerium ermöglicht, seine Arbeiten an der Flugsteuerung fortzusetzen. Zunächst wandte er sich für die Kreiselsteuerung an die Firma Melms & Pfenniger in München. Diese hatten bereits Erfahrungen mit der Verwendung von Kreiseln als Luftturbine erworben. Bei Versuchen im November 1915 stellte sich aber solch ein nicht gekapselter Kreisel als unbrauchbar heraus. Somit wurde deutlich, dass nunmehr ein elektrischer Kreisel notwendig war.<sup>191</sup>

Drexler blieb nun nur noch die Möglichkeit, das Wissen und die Erfahrungen der Firma Anschütz in Anspruch zu nehmen, um an den dort erreichten technischen Stand anzuschließen.

Die von Drexler angestrebte Zusammenarbeit mit der Firma Anschütz war vermutlich nicht auf eine längere Kooperation ausgelegt. Sie war eine Folge der unklaren Konstellation des Militärs und der Hersteller, da die schnell anwachsenden Luftstreitkräfte sich kaum in etablierte Organisationsstrukturen einordnen ließen und daher zur Selbsthilfe griffen. Drexler spielte geschickt mit dieser Desorganisation und trat je nach Situation als privater Entwickler, als Anwender oder als Käufer innerhalb der Truppe auf. Den Kontakt zu Anschütz stellte er auf offiziellem Wege über die Prüfanstalt der Fliegertruppen her, die die Fortführung seiner Versuche übernommen hatte. Diese ad hoc initiierten Zweckgemeinschaften erwiesen sich jedoch als Arbeitsbasis für ungeeignet. Die Tatsache, dass Drexler seine Steuerung lange vorbereitet hatte und mit fliegerischer Erfahrung einbrachte, während Anschütz die Neigungsanzeige und den Kreisel als ihre eigene Entwicklung betrachtete, waren konfliktgeladene Ausgangsbedingungen. Drexler versuchte die inhaltliche Beteiligung von Anschütz zu umgehen und stattdessen den direkten Zugang zu der für ihn wesentlichen Komponente zu erhalten.

Der „Anschützkreisel“ war eine Standardeinheit, die unter kriegsbedingten Zeitdruck der Fertigung des Dreikreiselkompasses entnommen wurde. Der Dreikreiselkompass diente als Stützkreisel zur Stabilisierung für den U-Bootkreisel. Dieser hatte inzwischen den Charakter einer universell verwendbaren Kreiselkomponente angenommen. Da das zur Herstellung dieser Komponente erforderliche Wissen keineswegs jedermann zur Verfügung stand, hatte sich bei der Firma Anschütz im Laufe der Jahre eine große Wissensmenge gesammelt, die durch technische Zeichnungen oder Daten allein nicht

---

<sup>191</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Broelmann, Kreiseltechnik, 2002, S. 304-309.

---

vermittelbar war. Das Unternehmen wollte dieses Wissen auch nicht einfach aus der Hand geben und schob Drexlers Absichten einen Riegel vor.<sup>192</sup>

Nach vergeblichen Versuchen mit der Firma Anschütz doch noch überein zu kommen, wechselte Drexler schließlich 1916 zu den Fliegertruppen zurück. Dort wurde er als Laborleiter der Fliegerkreisel-Versuchsabteilung eingesetzt und betrieb den Aufbau eigenständiger Fertigungseinrichtungen. Er erreichte, dass Kreiselmechaniker der Firma Anschütz, welche zum Militärdienst eingezogen wurden, für seine Fertigung freigestellt wurden. Im September 1917 schloss er mit der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) einen Vertrag über Kreiselapparate in Flugzeugen. Dieser Vertrag wurde zwar von der Firma Anschütz angefochten, jedoch trat die MAN ihre Rechte an eine von Drexler neu gegründete Firma „Kreiselbau – GmbH“ ab, die als Zusammenschluss mehrerer Unternehmen im Juli 1918 ihren Betrieb aufnahm.

Neben seinen Erfahrungen bei der Firma Anschütz konnte Drexler auch den begabten Erfinder Henry Lachmann gewinnen. Im Krieg wurde Lachmann in die „Elektrische Fernsteuerung und Kreiselapparate“ – Versuchsabteilung in Döberitz bei Berlin abkommandiert. Dort avancierte er 1917 zum Chefkonstrukteur und brachte bei den meisten Entwicklungen von Kreiselapparaten sein Wissen ein, das er auch in theoretischen Arbeiten niederlegte. Anders als man bei Anschütz vermutete, war Drexler nicht der alleinige Urheber des „Steuerzeigers“. Drexlers Steuerzeiger war eine ähnliche, aus diesem Grund auch umstrittene Variante des patentierten Wendezeigers von Anschütz. Nach Meinung vieler Piloten war Drexlers Apparat allerdings „naturgemäßer“ angeordnet als der Anschütz-Fliegerhorizont.

Die Entwicklung der Kreiselkompassse entsprang überwiegend privater und ziviler Initiative. Die etablierte Wissenschaft wurde in diesen Bereichen erst spät herangezogen. Bei Kriegsbeginn trat sogar noch eine rückläufige Entwicklung ein, da die fähigen Fachkräfte an die Front eingezogen wurden. Selbst von der Firma Anschütz, welche wesentlich für das Militär tätig war, wurden Mitarbeiter eingezogen. Dabei wurde wenig nach der Qualifikation der Rekruten gefragt, denn erst im zweiten Kriegsjahr wurde die ingenieurwissenschaftliche Forschung an den Hochschulen verstärkt für militärische Fragestellungen eingesetzt. Initiativen hierzu gingen nicht vom Militär, sondern von

---

<sup>192</sup> Siehe Bericht von Max Schuler, 1960, zur geschichtlichen Entwicklung des Kreiselkompasses in Deutschland.

---

Zivilisten aus, die den technologischen Rückstand in der deutschen Rüstung bemerkt hatten.<sup>193</sup>

Im zweiten Kriegsjahr wurden ingenieurwissenschaftliche Forschungen verstärkt in den militärischen Fokus gerückt. Die Initiativen gingen aber wiederum nicht vom Militär, sondern von Zivilisten aus, die den deutschen Rückstand in der deutschen Rüstung bemerkt hatten. Mitte des Jahres 1916 wurden Gespräche zur Einrichtung der „Kaiser Wilhelm Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft“ (KWKW) geführt. Die Stiftung bestand aus drei naturwissenschaftlichen und drei technischen Fachausschüssen. Die zu bearbeiteten Themen wurden von Heer und Marine über das Kriegsministerium an die jeweiligen Fachausschüsse geleitet. Der Anschützsche Fliegerhorizont wurde in der KWKW bearbeitet, denn die Fliegertruppe war bestrebt, sich von Anschütz unabhängig zu machen. Die KWKW arbeitete während des Krieges an der Theorie eines eigenen Fliegerhorizonts. Entsprechende Daten wurden über den deutschen Physiker Richard Grammel, der durch Ludwig Prandtl vermittelt wurde, von Anschütz an die KWKW geleitet. Die geringe theoretische Basis der Fliegerei bedeutete zunächst eine Aufwertung der funktionierenden Praxis, an der sich wiederum eine nun stärker geförderte Theorie zu messen hatte. Viele Theorien konnten das Erfahrungswissen der Piloten nur pauschal bestätigen. Dabei fand die Theorie in der Geräteentwicklung eine anwendungsbezogene Verwendung. Die virtuose Beherrschung des Flugzeugs durch den Piloten musste in gleicher Weise einer adäquaten Theorie folgen, sofern sie Beachtung finden sollte.<sup>194</sup>

## Vom Parcours zum Streckenflug

Die ersten Flüge oder Flugversuche mit Motorflugzeugen in den Anfangsjahren entsprachen mehr dem umgangssprachlichen Hüpfen. Anfangs war der vorgesehene Flugweg, der bestenfalls nur einige hundert Meter betrug, geländemäßig genau geplant. Das Fliegen von Kurven wurde zunächst vermieden. Die Flugzeugsteuerung

---

<sup>193</sup> Vgl. Rasch *Wissenschaft und Militär: Die Kaiser Wilhelm Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft*, 1991, S. 73; vgl. Trischler, *Luftfahrtforschung*, 1992, S. 90.

<sup>194</sup> Vgl. Rasch, *Wissenschaft und Militär*, 1991, S. 75; vgl. Broelmann, *Kreiselschiff*, 2002, S. 309; vgl. Flachowski, *Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat*, 2008, S. 40-44; zum Verhältnis von theoretischer Forschung und praktischer Anwendung siehe auch Eckert, *Fluid Dynamics*, 2005 sowie Staudenmaier, *Technology's Storytellers*, 1985.

---

diente einzig dazu, Böen und aerodynamische Unebenheiten zu korrigieren. Erst Jahre nach dem ersten Wright-Flug hatte sich die Technik des Flugzeugs verbessert. Grundlage dieser Verbesserungen waren die Erfahrungen die von den Pionieren gemacht wurden. Auch die Bauform der Flugzeuge hatte sich von dem „Canard – Pusher“-Flugzeugentwurf der Wrights zu der bis heute üblichen Zugpropeller Bauweise, wie sie von Blériot verwendet wurde, geändert. Durch die verbesserte Technik, der Aerodynamik und der Triebwerksleistungen wurden die Flugzeuge aerodynamisch stabiler und weniger<sup>195</sup>, und ihre Reichweite und Flughöhe nahmen zu. Aus den anfänglichen „Hüpfen“ wurden kurze Streckenflüge, die das Flugzeug wieder zum Startpunkt zurückführen konnten. Der Einsatz des Flugzeugs als Verkehrsmittel wurde anfangs dadurch gehemmt, dass die Flugzeuge nicht schneller, sondern eher langsamer als Autos oder Züge waren.<sup>196</sup> Die Erfinder verglichen ihre Konstruktionen und Leistungsfähigkeiten wie bereits beschrieben häufig in Wettkämpfen, die tausende flugzeugbegeisterte Zuschauer anlockten. Die Wettkämpfe wurden oft in Form eines zu umrundenden Parcours in geringen Höhen ausgetragen, wobei der Pilot, dem es gelang, sein Fluggerät ohne Strukturschaden ins Ziel zu bringen, sich meist schon als Sieger auszeichnete.

Blériots Überquerung des Ärmelkanals demonstrierte, dass mit Flugzeugen auch größere Strecken zu überwinden waren, und durch das zunehmende Interesse der Militärs am Flugzeug wurden entsprechende Investoren gefunden, um die Technik und die Fluggeräte weiter zu entwickeln.<sup>197</sup>

Jedoch wurden die Piloten durch die steigende Reichweite mit einem weiteren Problem belastet. Zu der ständigen Kontrolle des Flugzeugs kam nun auch noch die Navigation hinzu. Luftfahrtkarten, die entsprechend für ihren Gebrauch Längen-, Flächen- und Winkeltreue aufwiesen, gab es noch nicht. Daher mussten übliche Land- und Straßenkarten als Referenz verwendet werden. Diese wurden dann später so ausgelegt, dass geographische Merkmale wie Wälder, Seen, Flüsse, Eisenbahnlinien usw. gut zu erkennen waren und so eine Orientierung zuließen. Eine Punkt zu Punkt-Navigation, basierend auf einer Koppelnavigation mit Karte und Kompass, war nicht Standard und

---

<sup>195</sup> Die Stabilität um die Querachse (Nickachse bzw. Nickstabilität) wurde erhöht. Gleichzeitig wurde durch die Einführung und Verbesserung von Querrudern die Wendigkeit um die Längsachse (Rollwendigkeit) erhöht.

<sup>196</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 53-54.

<sup>197</sup> Vgl. Dierikx, *Clipping the Clouds*, 2008, S. 4; vgl. Gibbs-Smith, *The Invention of the Aeroplane (1799-1909)*, 1966, S. 210.

---

musste erst einmal von Luftfahrern erlernt werden. Ebenso mussten die Piloten Kompassdrehfehler beim Höhenwechsel oder im Kurvenflug beachten. Bei langsam bewegenden Luftverkehrsmitteln wie zum Beispiel Zeppelinien kommen diese Phänomene kaum zum Tragen und müssen in der Praxis weniger berücksichtigt werden.

Die Luftfahrtgemeinde forderte schon sehr bald, nachdem Überlandflüge durchführbar geworden waren, entsprechende Geräte zur horizontalen Stabilisierung des Flugzeugs, um den Navigator während des Fluges zu entlasten. Eine kombinierte Lösung mit Kreisel und Kompass war dabei der Favorit der Piloten.<sup>198</sup>

Die erste Verwendung des Flugzeugs als Nutzgerät fand dann im Ersten Weltkrieg, vornehmlich als Aufklärungsflugzeug, statt. Bis dahin wurden Flugzeuge im gewerblichen Verkehr nicht nennenswert eingesetzt.

---

<sup>198</sup> Vgl. Brewer, *Future Aeronautical Inventions*, 1910, S. 300-302.



---

# Kapitel 2 – Der Erste Weltkrieg

Nach der erfolgreichen Arbeit der Erfinder, Entwickler, Konstrukteure und Piloten, ein motorisiertes Fluggerät schwerer als Luft in die Höhe zu bringen, kam das Flugzeug im Ersten Weltkrieg zu seinem ersten „nutzbringenden Einsatz“. Die unterschiedlichen Ideen hinsichtlich der Form und der Bauweise von Flugzeugen wurde nun aufgrund der anstehenden Massenproduktionsfähigkeit standardisiert umgesetzt.<sup>199</sup> Zusätzlich erhoben die Militärs für den Kriegseinsatz besondere Anforderungen an die Bedienbarkeit der Flugzeuge. Auch musste das Fliegen für Anfänger leicht erlernbar und deshalb musterabhängige Eigenschaften, wie zum Beispiel die Cockpitinstrumentierung, weitestgehend gleich sein. Zusätzlich sollte dies die Umschulung auf andere Flugzeugmuster erleichtern.

Nachfolgend wird erläutert, wie sich das Flugzeug selbst, besonders das Cockpit, die Instrumente sowie die sich daraus ergebenden Verfahren entwickelten, um einen Kriegseinsatz zu ermöglichen. Weiterhin wird darauf eingegangen, wie es zu der Standardbauform der Leichtflugzeuge kam, die wir im heutigen Sport- und Ultraleichtflugzeugbau kennen.

## Das Flugzeug als Kriegsgerät

Die italienische Luftwaffe hat bereits 1911 in Libyen und die US Marine 1914 in Vera Cruz den Nutzen des Flugzeugs als Kriegsgerät erkannt, obwohl der Einsatzbereich noch sehr beschränkt war. In den vier Jahren des Ersten Weltkrieges nahmen die Entwicklungen der Flugzeuge und im gleichen Kontext der Flugzeugcockpits fast expo-

---

<sup>199</sup> Vgl. Edgerton, England and the Aeroplane, 1991, S. 6.

---

nentiell zu. Nie zuvor wurden Flugzeuge in solch großen Mengen entwickelt und produziert. Dabei wirkten sich die gesammelten Erfahrungen von tausenden von Piloten auf die technischen Entwicklungen stimulierend aus.<sup>200</sup>

In der Eröffnungsphase des Ersten Weltkrieges wurden hauptsächlich Flugzeugbauformen nach dem Blériot-Traktor-Typ oder dem Farman-Pusher-Typ verwendet. Ihre Cockpits waren dürftig ausgestattet. Das galt für die Steuerung, die Instrumente und für den Schutz des Piloten. Noch 1914 war der Pilot vollständig abhängig von dem, was er visuell erfassen, und dem, was er an Vibrationen fühlen konnte. Bei uneingeschränkter Sicht und ohne Ablenkungen, wie zum Beispiel einem laufenden Propeller oder dichten Seilverstreben, konnte der Pilot fast seine volle Aufmerksamkeit der Aufklärung über feindlichem Gebiet oder der Absuche des Luftraums nach feindlichen Flugzeugen widmen.<sup>201</sup>

Für die Einsatzreife während des Ersten Weltkrieges mussten die Flugzeugentwickler besonders die Gewichtsverteilung der Flugzeuge beachten. Am Beispiel der Sopwith Tabloid, dessen maximales Startgewicht etwas weniger als 545 kg betrug, verblieben 30 Prozent der Masse auf die Struktur, 38 Prozent auf das Triebwerk und 15 Prozent auf den Treibstoff. Die übrigen 17 Prozent (93 kg) wurden für den Piloten und die Ausrüstung verwendet. Aus diesem Grund war die Cockpitausstattung so leicht wie möglich, und dementsprechend wurde auch häufig auf Instrumentierungen verzichtet. Erschwerend kam hinzu, dass sich die Piloten gegen Kälte schützen mussten. Somit war eine schwere Lederkombi unerlässlich – die wiederum die Nutzlast reduzierte.<sup>202</sup>

Obwohl ein militärisches Interesse an Flugzeugen bereits sehr früh bestand, limitierten die erreichten Flugleistungen bis circa 1909 die sicheren und sinnvollen Einsatzmöglichkeiten. Daher fanden sie zunächst ihre primäre Einsatzzuordnung in der taktischen Aufklärung. Diese verlangte zunächst keine besonders hohe Nutzlast oder Bewaffnung. Auch die eingeschränkte Wendigkeit lag für diesen Einsatzzweck noch in tole-

---

<sup>200</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 29 und 46; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 793-796; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 172-179.

<sup>201</sup> Siehe auch Tre Tryckare Cagner & Co., *The Lore of Flight*, 1970, S. 52; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 172-179.

<sup>202</sup> Bei Flughöhen um 10.000 ft beträgt die Temperatur der Standardatmosphäre (+15°C bei NN) bereits -4,8°C.



---

rierbaren Bereichen. Später wurden sie als Bomber eingesetzt, wobei die Bomben anfangs von Hand abgeworfen wurden. Zusätzlich wurden die Flugzeuge mit Maschinengewehren ausgerüstet und so zur tödlichen Waffe. Die dafür erforderlichen Visiereinrichtungen erforderten weitere Veränderungen beim Cockpitentwurf.

Dem Luftkrieg als neue Dimension der Militärtechnik stand die deutsche Armeeführung weitgehend unvorbereitet gegenüber. Umso größer war das Bestreben, die drastische Unterlegenheit gegenüber den alliierten Luftstreitkräften so rasch wie möglich auszugleichen. Angeregt durch den Erfolg Igor Sikorskys, ein viermotoriges Großflugzeug zu entwickeln und zu bauen, wurde in Deutschland von Helmuth Hirth, Gustav Klein und Karl Maybach ein Flugzeug konzipiert, das im Stande sein sollte, den Atlantik zu überqueren. Graf Zeppelin und Claudius Dornier hatten ebenfalls Wege zur Verwirklichung von Großflugzeugen diskutiert. Zeppelin war daher bereits schon im September 1914 in der Lage, mit dem Bau von mehrmotorigen Flugzeugen zu beginnen, die eine Nutzlast von 1000 kg über eine Distanz von 600 km transportieren konnten. Allerdings änderte sich kriegsbedingt innerhalb von kurzer Zeit der Charakter der deutschen Luftfahrt und neue Flugzeugmuster wurden entwickelt. Im Fokus standen Jagdflugzeuge zur Bekämpfung von anderen Flugzeugen und Aufklärungsflugzeuge zur Artillerieaufklärung an der Front.<sup>203</sup>

Bei der Entwicklung vom Aufklärer über den Bomber zum Abfangjäger stellte sich heraus, dass es für Flugzeuge, die als Aufklärer oder Bomber eingesetzt wurden, von Vorteil war, wenn sie flugmechanisch stabil ausgelegt waren. Dies erleichterte dem Piloten die Steuerung, da er nicht kontinuierlich Korrekturen vornehmen musste. Für den Einsatz als Jagd- beziehungsweise Abfangflugzeug war die stabile flugmechanische Auslegung von Nachteil, da instabile Flugzeuge wesentlich wendiger waren. Zum Beispiel waren die Fokker-Flugzeuge, die 1915 bei der deutschen Luftwaffe eingesetzt wurden, im Vergleich zur BE2c relativ instabil. Viele BE2c wurden aufgrund dieser Tatsache von den Fokker-Flugzeugen abgeschossen.<sup>204</sup>

---

<sup>203</sup> Vgl. Trischler, Luftfahrtforschung, 1992, S. 90-92; siehe auch Morrow, German Air Power, 1976, S. 115-116; vgl. Brooks, Aircraft Operation, 1978, S. 793-796.

<sup>204</sup> Vgl. Edgerton, England and the Aeroplane, 1991, S. 8; vgl. Gibbs-Smith, The Rebirth of European Aviation 1902-1908, 1974, S. 166-168.

---

So erhöhte sich die Anzahl der Flugzeuge sprunghaft aufgrund ihres militärischen Einsatzes, und aus den wenigen Pionierflugzeugen wurde eine Massenproduktion. England besaß 1914 weniger Flugzeuge als die meisten anderen europäischen Länder. 113 englische Flugzeuge standen 120 französischen, 232 deutschen, 226 russischen und 36 österreichisch-ungarischen Flugzeugen gegenüber. Deshalb unterzeichnete die englische Armee im Juni 1914 Verträge für den Kauf von weiteren 120 Flugzeugen. Allerdings wurden nur 24 von ihnen in einer entsprechenden Fabrik gebaut. Die anderen wurden von privaten Herstellern entwickelt und hergestellt. 25 von ihnen waren private Entwicklungen, 81 entsprachen industriellem Design, und 16 waren französische Entwürfe. Der Krieg führte somit zum Aufbau einer sehr großen englischen Luftfahrtindustrie, die ihre Effektivität während des Krieges sogar noch beschleunigen musste. Der monatliche Output stieg zu Kriegsbeginn von 10 Flugzeuge pro Monat auf 1229 Flugzeuge pro Monat 1917 und steigerte sich auf 2688 Flugzeuge pro Monat im Jahre 1918.<sup>205</sup>

Aufgrund der Massenproduktion von Flugzeugen mussten auch entsprechend Piloten ausgebildet werden. Die Fliegerei blieb nicht weiter Pionieren vorbehalten, sondern wurde einer breiteren gesellschaftlichen Front zugänglich. Dies erforderte die Standardisierung der Steuerungen und Cockpits. Das britische War Office zum Beispiel legte auf Standardisierung besonders großen Wert.

Auch für die Piloten änderten sich die Aufgaben und die Anforderungen. Lag vor dem Krieg die Fokussierung auf einer sicheren Flugdurchführung, wurde während des Krieges von ihnen in erster Linie verlangt, ihre Mission zu erfüllen. Dazu zählten hauptsächlich Aufklärungseinsätze. Durch die gesteigerten Flugleistungen waren die Flugzeuge nun im Stande, Höhen bis zu 6000 m zu erreichen. Die sinnvolle Flughöhe für Aufklärungsflüge war mindestens 1000 m über Grund, da die Reichweite der Flugabwehrgeschütze circa 800 m betrug. Dies führte bei den Piloten oft zum Orientierungsverlust, da sich die Erde in einer ungewohnten Dimension darstellte, weil zum Beispiel die Berge und Hügel nicht mehr als geografische Erhebungen sichtbar waren, aber

---

<sup>205</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 6-15.

---

gerade zusammen mit Flüssen, Eisenbahnlinien und Seen als primäre Navigationsmarkierungen dienten.<sup>206</sup> Auch kann davon ausgegangen werden, dass Sauerstoffmangelerscheinungen die Desorientierung unterstützten.

## Forschung während des Krieges

In Deutschland war das Verhältnis zwischen Militär, Luftfahrtindustrie und Luftfahrtforschung vor dem Ersten Weltkrieg eine vergleichsweise gut funktionierende Symbiose. Die Militärs benötigten die Luftfahrtindustrie und die Forschung um in Besitz eines funktionierenden Aufklärungsflugzeugs zu kommen. Eine Vielzahl der Luftfahrtunternehmen war gegründet worden, in der Hoffnung staatliche Aufträge zu bekommen. Die Möglichkeit der Firmen, auf Forschungsergebnisse zugreifen zu können, erhöhte ihre Überlebenschance am umkämpften Markt. Aber auch die Forschung war von der Förderung durch den Staat und der Wirtschaft abhängig. Der dominierende Partner in dieser Dreiecksbeziehung war das Militär, denn es bestimmte die Richtung und Geschwindigkeit der Forschung durch eine entsprechende Vergabe von Mitteln.<sup>207</sup>

Durch den erzwungenen Wechsel der Kriegsstrategie von einem mobilen zu einem Stellungskrieg kamen die Motoren-, Fahr- und Flugzeughersteller mit der Produktion des Nachschubs nicht nach. Die industriellen Entwickler wie Junkers oder Dornier arbeiteten verstärkt an technischen Innovationen wie die F13, die jedoch erst nach dem Ersten Weltkrieg verwirklicht wurde, anstatt den Ausstoß an technisch wenig anspruchsvollen Flugzeugen auf das Höchstmögliche zu steigern. Doch diese Vorgehensweise der Industriellen war durch die staatliche Abnahmegarantie geschützt.<sup>208</sup>

Die Rüstungsanstrengungen hingen in zweifacher Weise von den Forschungseinrichtungen ab. Zum einen erforderte die Standardisierung der Flugzeugtypen eine Infrastruktur an Einrichtungen der Musterprüfung, Normierung und Instandhaltung. Zum anderen war der Bau einer völlig neuen Generation von Flugzeugen nur durch den

---

<sup>206</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 158-160, 181, 201.

<sup>207</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Trischler, *Luftfahrtforschung*, 1992, S. 89-94.

<sup>208</sup> Vgl. Homze, *Arming the Luftwaffe - The Reich Air Ministry and the German Aircraft Industry 1919-1939*, 1976, S. 10-11.

---

Rückgriff auf wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse möglich, und Prüfungs-, Versuch- und Forschungskapazitäten waren in den Unternehmen kaum vorhanden.

Die Forschungsarbeiten im Ersten Weltkrieg fokussierten sich auf das Flugzeug als Ganzes. Durch den militärischen Einsatz stand jetzt nicht mehr nur eine gute Aerodynamik, Flugmechanik und Steuerbarkeit an erster Stelle, sondern wie schon erwähnt mussten die Flugzeuge vorrangig ihre Missionen erfüllen - sei es in der Aufklärung oder im direkten Kampfeinsatz. Um eine entsprechende Überlegenheit gegenüber dem Feind aufweisen zu können, musste ein technologischer Vorsprung erzielt werden. Daher wurden intensive Forschungsanstrengungen unternommen.

## Mindestausrüstung und Regularien

Der vorwiegend militärische Einsatz der Flugzeuge führte dazu, dass Vereinheitlichungen und Regularien zur Instrumentierung und Cockpitgestaltung, sowohl wegen der Serienfertigung als auch wegen des stetigen Wechsels der Piloten, notwendig wurden.

Die britische Admiralität war eine der ersten Organisationen, die eine Mindestausrüstungsliste für Flugzeuginstrumentierungen veröffentlichte. Vor dem Ersten Weltkrieg bestand diese Liste aus Uhr, Längsneigungsmesser, Schiebewinkelanzeige, Fahrmesser und elektrischer Drehzahlmesser. Ab 1917 wurde die Liste mit der des US Signal Corps abgeglichen. Danach umfasste diese Liste Höhenmesser, Fahrtmesser, Magnetkompass, Luft- und Öldruckanzeige, Treibstoffmengenanzeiger, Kühlwasser-temperaturanzeiger, Drehzahlmesser und Uhr. Bezeichnenderweise wichen die beiden Listen, deren Veröffentlichungszeitraum nur vier Jahre auseinander lag, in der Benennung des Höhenmessers von einander ab.<sup>209</sup> Die Ursache war, dass in den ersten zehn Jahren der Fliegerei mit Flugzeugen der Höhenmesser im Gegensatz zu heute noch kein primäres Instrument zur Flugkontrolle war.

Der Magnetkompass, der bei der Marine Anwendung fand, wurde für den Gebrauch im Flugzeug modifiziert und eingesetzt. Hier befand er sich jedoch in einer vollkommen anderen Umgebung, denn die Marinekompass waren nicht für schnelle Kursänderungen ausgelegt.

---

<sup>209</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 33-34.

---

Im Verlauf des Ersten Weltkrieges hatten sich die Erfahrungen von Mensch und Maschine potenziert. Eine Vielzahl von Flugzeugen wurde gebaut, Piloten, Instandhaltungspersonal und Flugzeugbauer wurden ausgebildet. Die „neue Technologie“, wie man nun das Flugzeug bezeichnen konnte, hatte sich bereits seit über 15 Jahren bewährt. In dieser Phase wurden Instrumente speziell für die Luftfahrt angefertigt oder entsprechend von anderen Transportbereichen modifiziert und eingesetzt. Der Krieg forderte eine schnellere Entwicklung von praktisch zu handhabenden Instrumenten. Bislang hatte die Wissenschaft ihre Anwendung auf die Lösung von Problemen konzentriert. Aber aufgrund des Mangels an geeigneten Materialien und Baustoffen kam es häufig zu Verzögerungen in der Einführung der Produktion von solchen Standardinstrumenten. Nun standen auch Rohrfedermechanismen für Druckanzeigen, Gewebe- oder Metallmembranmechanismen für Höhen- und Fahrtmesser sowie elektrische Fernanzeigen für Drehzahlmesser zur Verfügung.

Die Wolken waren für die Piloten nicht wie für den Seemann mit eingezeichneten Riften in Seekarten vergleichbar. Einmal in eine Wolke eingeflogen, verloren die Piloten den Bezug zum Horizont, sodass Korrekturen der Fluglage teilweise zu extremen Auswirkungen führten. Die Entwicklung von Flugzeuginstrumenten, die es dem Piloten ermöglichten, die Fluglage ohne Sicht konstant zu halten und richtig beurteilen zu können, sollte die Luftfahrtindustrie die nächsten beiden Jahrzehnte beschäftigen.

## Die Linksplatzrunde als Standard

Im Ersten Weltkrieg festigten sich die soziotechnischen und -kulturellen Muster der rechts-links-Orientierung. Dazu zählte unter anderem die Linksplatzrunde, das Betreten des Cockpits von der linken Seite, sowie Leistungshebel links des Piloten, sofern es sich um ein einsitziges Cockpit oder eine Tandemanordnung handelte.<sup>210</sup> Neben den kulturell eingeübten Standards gab es auch immer Ausnahmen, bei denen partiell die rechte Seite bevorzugt wurde. So war zum Beispiel der Platz des Piloten bei mehrmotorigen Flugzeugen in Großbritannien auf der rechten Seite. In Deutschland war er links. Eine Erklärung für die britische Ausnahme könnte die Tatsache sein, dass der

---

<sup>210</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 29.

---

Royal Navy Air Service, als erste britische Luftfahrtorganisation, mehrmotorige Flugzeuge spezifizierte und betrieb. Nach Marinetradition hat die Steuerbordseite Vorrang gegenüber Personen oder Positionen auf der Backbordseite. Eine weitere Ursache könnte sein, dass bis 1925 in den meisten Ländern die Automobile für die Steuerung mit der rechten Hand ausgelegt waren. Doch in Deutschland wurde ein umgekehrtes Arrangement getroffen. Der Pilot wurde auf der linken Seite platziert. Der zweimotorige Bomber Gotha V ist dafür ein Beispiel. In einem Punkt stimmten die Arrangements der Deutschen und der Briten überein. Die Triebwerksleistungshebel waren an der entgegengesetzten Seite zum Durchgang nach vorne, sodass nicht versehentlich die Leistungshebel verstellt werden konnten, wenn ein Besatzungsmitglied den vorderen Gefechtsstand einnahm. In Bezug zu den verschiedenen mehrmotorigen Flugzeugtypen war die deutsche Anordnung die gewohnte, mit der rechten Hand an der Flugsteuerung und der linken Hand an den Leistungshebeln. Bei den britischen Flugzeugen war es genau umgekehrt. Diese technische Konfiguration blieb bis 1930 bei allen größeren Flugzeugen der Royal Air Force sowie den zivilen Flugzeugen konstant.<sup>211</sup>

Danach aber entwickelte sich der zivile Flugzeugbau so, dass immer Platz für zwei Piloten vorgesehen wurde. Diese teilten sich zur Triebwerkssteuerung den mittleren Bereich des Cockpits. Die neue Aufteilung veränderte viele Gewohnheiten der Piloten. So musste der Pilot, je nach Sitzplatz, die Triebwerkseinstellungen sowie die Steuerung mit der jeweils ungewohnten Hand durchführen. Diese Anordnung hatte aber auch mehrere Vorteile. Zum einen brauchten aus Sicht der Konstrukteure die Triebwerkssteuerungen nur einmal installiert werden, zum anderen war die Stellung der Leistungshebel für beide Piloten leicht einzusehen. Deshalb setzte sich auf Dauer diese Anordnung international im Bau von zivilen und militärischen Flugzeugen mit nebeneinandersitzenden Piloten durch.

Erklärungen für die Festlegung der Linksplatzrunde als Teil des Landemanövers sind neben den bereits erwähnten traditionellen und Gewohnheitsaspekten auch in der Auslegung des Cockpits zu finden, zumal noch die verbreitete Bevorzugung der rechten Hand durch die meisten Piloten hinzu kam.<sup>212</sup> Sie flogen die Flugzeuge mit der

---

<sup>211</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 47-50; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 22-27.

<sup>212</sup> Siehe dazu Kapitel 1: „Rechts oder Links?“.

---

rechten Hand am Steuer und der linken Hand am Leistungshebel. Bei dieser Bedienung war es komfortabler, sich nach links zu lehnen, sodass die rechte Hand an der Steuerung die Bewegungen des Arms nicht hemmen oder versperren konnte.

Sofern die Piloten nebeneinander sitzen, kann der Pilot auf der linken Seite, der grundsätzlich die Stellung des Kommandanten einnimmt, den Flugplatz während des gesamten Anflugs beobachten. Dies erlaubt es, den Anflug besser einzuteilen und rechtzeitig den Flugweg anzupassen.

Gegen Ende des Ersten Weltkriegs wurde in England ein Bericht des Civil Aerial Transport Committee veröffentlicht, der sich in den Artikeln 6 bis 14<sup>213</sup> auch mit den Luftverkehrsregeln befasst. Bezüglich der Richtungsangaben verhalten sich die Artikel aber neutral. Es wird zum Beispiel angegeben, wer welcher Art von Luftfahrzeug auszuweichen hat, nicht aber, ob nach rechts oder links.

## Die Kommunikation zum Boden

Gerade im militärischen Einsatz war die Kommunikation zum Boden für Flugzeuge von besonderer Bedeutung. Die Armee, die über die Stellungen und Manöver des Feindes informiert ist, ist stets im Vorteil. Aber auch in der heutigen Luftfahrt ist die Kommunikation ein tragender Pfeiler des nationalen und internationalen Luftverkehrs. Nachfolgend wird dargestellt, welchen rasanten Sprung in der Entwicklung der Kommunikationsmöglichkeiten die militärischen Herausforderungen mit sich brachten.

Eine adäquate Kommunikation zum Boden war umso wichtiger, als die Flugzeuge während des Ersten Weltkrieges schwerpunktmäßig in der Aufklärung eingesetzt wurden. Allerdings konnte der Einsatz in Flugzeugen erst ernsthaft geplant werden, nachdem der Hörempfang dank des Kristall-Detektors von Braun ab 1909/10 dem Versuchsstadium entwachsen war. In Deutschland führten Firmen wie Telefunken und Dr. Huth Versuche mit Freiballonstationen durch. Dabei konnten Reichweiten von bis zu 56 km erzielt werden. Anfang 1912 wurde eine solche Station in einem Albatros Doppeldecker eingebaut, und es wurden entsprechende Versuche mit einer Schleppan-

---

<sup>213</sup> Vgl. Flight, 1918, S. 1465-1471.

---

tenne durchgeführt. Für den militärischen Nutzen wurden die Versuche nach dem Absturz eines Versuchsflugzeugs 1912 abgebrochen, da die Funk-Telegrafie-Geräte für Armeeflugzeuge noch nicht geeignet waren. Die Firmen Telefunken und Dr. Huth führten aber auf eigene Rechnung weitere Versuche durch. Ihre Geräte kamen unter anderem 1918 im AEG Bomber G105 zum Einsatz.<sup>214</sup> Auch die Firma Lorenz führte entsprechende Versuche durch. Allerdings versuchte man bei Lorenz den Hörempfang durch einen Sichtempfang mittels eines Saiten-Galvanometers mit Projektionsscheibe zu ersetzen. Dadurch sollte der Einfluss der Motorengeräusche als Störfaktor für den Piloten eliminiert werden. Mit diesem 42 kg schweren Gerät konnten 1913 Reichweiten von bis zu 65 km erzielt werden. Dennoch konnte sich der Sichtempfang nicht durchsetzen. Aufgrund der kurzen Antennen mussten die ersten Sender mit relativ großen Frequenzen zwischen 120 kHz und 2000 kHz arbeiten. Die Erzeugung der dafür notwendigen Leistung war technologisch noch sehr schwierig. Die Empfänger überstrichen gegenüber den Sendern einen größeren Bereich. Da aber der Kristalldetektor aufgrund der Vibrationen eines laufenden Flugmotors meist nicht funktionierte, fanden diese nur am Boden eine sinnvolle Verwendung. Gelöst wurde dieses Problem erst später durch den Karborunddetektor mit Vorspannungsquelle.<sup>215</sup>

Bis 1914 wurden Flugversuche mit bis zu 6 m hohen verspannten Antennen durchgeführt. In der Mobilmachungsphase folgten dann Versuche mit Schleppantennen, weil die langen Maste die Flugeigenschaften maßgeblich beeinflussten.

Obwohl die Wichtigkeit der Funktelegrafie von verschiedenen Persönlichkeiten erkannt wurde, war bei Kriegsbeginn noch kein deutsches Flugzeug mit einem Funktelegrafiegerät ausgerüstet. Die schleppende Entwicklung in den Jahren 1912 bis 1914 erklärt sich dadurch, dass Innovationen nur durch private Initiativen vorangetrieben wurden. Nach Kriegsbeginn erwies sich die Verständigung mit den Aufklärungsflugzeugen als so zentral, dass im Februar 1915 neue Versuche aufgenommen wurden. Um den Beobachtern an Bord der Flugzeuge das Erlernen von Morsekenntnissen zu ersparen, wurden automatische Zeichengeber entwickelt. Diese wurden nach Einführung des Bordempfängers wieder überflüssig, da hierzu Morsekenntnisse unbedingt erforderlich waren. Bei einseitigem Sendebetrieb wurden die Meldungen im Flugzeug

---

<sup>214</sup> Vgl. Flight, 1918, S. 640-645.

<sup>215</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Trenkle, Bordfunkgeräte, 1986, S. 15-22.



---

blind abgesetzt. Zur Verifizierung mussten die Flugzeuge anschließend umkehren und anhand von Sichtsignalen am Boden den Empfang bestätigen lassen. Im August 1915 wurde dann erstmals in Deutschland Sprechfunk-Wechselverkehr von Bord zu Bord mit Hilfe eines Karborunddetektor-Empfängers durchgeführt. Einen Monat zuvor gelang die Bord-Boden Verbindung mit einer Reichweite von bis zu 30 km.

Ab 1916 entstand dann die Forderung, Funktelegrafiegeräte auch in einsitzigen Kampfflugzeugen einzubauen. Die Problematik bestand in den beengten Platzverhältnissen und in der Limitierung der Nutzlast durch die bis zu 40 kg schweren Geräte.

Während der Weiterentwicklung von Funktelegrafiegeräten und -verfahren wurde parallel am Ersatz der Funktelegrafie durch Funktelefonie gearbeitet. Funktelefonieveruche erwiesen sich aber bis 1918 noch als unzuverlässig. Eine Reihe von Fragen und Problemen, wie zum Beispiel die Modulation des Senders durch ein Mikrofon im Antennenkreis, konnten bis zum Kriegsende nicht mehr befriedigend gelöst werden.

Auch bei den britischen Flugzeugen war 1918 die Ausstattung der Cockpits mit Funkausrüstung ein wichtiger Fortschritt. Die Funkkommunikation bei den britischen und französischen Luftstreitkräften war ebenfalls zunächst auf Aufklärungs- und Artilleriemarkierungsflugzeugen begrenzt. 1918 war diese Technik noch nicht voll entwickelt, aber man konnte sie schon in Kampfflugzeugen einsetzen.

Das Royal Flying Corps begann 1916 mit der Entwicklung der Funkkommunikation. Dabei stellte sich durch Experimente heraus, dass für die Piloten aufgrund der schwachen Signalstärke geschlossene Helme notwendig gewesen wären. Erschwerend kam hinzu, dass die verhältnismäßig niedrigen Frequenzen recht lange Schleppantennen erforderten, und viele Piloten vergaßen, die Antennen vor der Landung wieder einzuziehen. So blieben zahlreiche Antennen an Bäumen, Häusern und Gärten im Umfeld der Flugplätze hängen.<sup>216</sup>

---

<sup>216</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 51.

---

## Instrumentenentwicklung während des Ersten Weltkriegs

Die Instrumentierungen der Flugzeuge veränderten sich im Wesentlichen in der Anzahl und in der Verfügbarkeit. Vor dem Krieg gab es Flugzeuge, die mehr als zwei Instrumente im Cockpit hatten. Während des Krieges gab es Flugzeuge, die mehr als 6 Instrumente besaßen. Die wesentlichen Instrumente waren Fahrtmesser, Höhenmesser, Flüssigkeitsneigungsmesser, Kompass, Kraftstoffdruckmesser sowie eine Anzeige für die Ölpumpe.<sup>217</sup>

Unterschiede bestanden in der Maßeinheit der Instrumentierungsanzeigen. Das Royal Flying Corps verwendete für die Geschwindigkeit die Einheit mph (Meilen pro Stunde), das Royal Navy Air Service bzw. die Royal Air Force verwendete kts (Knoten). Französische und deutsche Flugzeuge nutzten in km/h geeichte Fahrt- und Höhenmesser in Meter.

Die noch geringe Anzahl an Instrumentierungen lassen den Schluss zu, dass auch noch zu Kriegszeiten die Kontrolle und Navigation des Flugzeugs primär durch das Gefühl des Piloten erfolgte. Diese Annahme wird durch die noch geringe Komplexität der Flugzeuge untermauert. Zudem wurden nachts fliegende Flugzeuge durch starke Scheinwerfer bekämpft, welche dem Piloten die Sicht zum Horizont nehmen und ihn dadurch in eine unkontrollierte Fluglage bringen sollten.<sup>218</sup>

Dennoch wurde die Weiterentwicklung und Verbesserung der primären Fluginstrumente nicht gänzlich vernachlässigt. In einem Bericht der britischen Advisory Committee for Aeronautics wird darauf hingewiesen, dass die Herstellerunternehmen die Optimierung der Instrumentenbeleuchtung und die Temperaturkompensation von Aneroidbarometern in Angriff nahmen. Auch wurde ein neuer Fahrtmesser mit Metallmembran entwickelt und getestet.<sup>219</sup>

---

<sup>217</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 32, 49-50.

<sup>218</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 202.

<sup>219</sup> Vgl. *Flight*, 1916, S. 720-722.

---

Die Flugzeugsteuerungen waren grundsätzlich noch rein mechanisch und auf die Muskelkraft der Piloten abgestimmt. Hydraulische, elektrische oder pneumatische Steuerungen oder Kraftverstärker waren noch nicht vorhanden. Somit entfielen auch die Überwachungsinstrumente, die für diese Systeme notwendig gewesen wären.

Auch die Entwicklung der Kreiselinstrumente zur Flugsteuerung stagnierte bei Kriegsbeginn, da das Militär der Ansicht war, dass Geräte deren Steuerung den Piloten körperlich voll beanspruchten, ihn daran hinderten, seinen eigentlichen Aufgaben nachzukommen. Aus diesem Grund zog das Militär anfangs Luftschiffe als stabilere Operationsplattformen vor. Der sich aber während des Krieges verstärkende Einsatz von Flugzeugen und die daraus resultierenden Belastungen für die Piloten steigerten die Nachfrage an Bordinstrumenten. Dies führte zu einer regen Kommunikation zwischen Fliegern und potentiellen Herstellern.<sup>220</sup>

## Britische und deutsche Großflugzeuge

Die Briten und die Deutschen bauten während des Ersten Weltkriegs zwei bekannte Großflugzeuge – die Handley Page O/400 und die Gotha V. Am Beispiel dieser beiden Flugzeugmuster soll nachfolgend betrachtet werden, wie das Cockpit der damaligen „Riesen“ aufgebaut war und welche Konzepte in den beiden Nationen im Bereich des Cockpits umgesetzt wurden.

Die Piloten, die zu einer Handley Page O/400 Schwadron entsandt wurden, waren über die Steuerung mit der rechten Hand und einem offenen Cockpit nicht sonderlich schockiert. Es gab damals kein besseres Flugzeug, das dem Piloten mehr Schutz bot. Da das Cockpit vor den Triebwerken angebracht war, sodass es sich nicht im Propellerluftstrom befand, war die Reisegeschwindigkeit von fast 160 km/h erträglicher als bei den einmotorigen Flugzeugen.<sup>221</sup>

Das Cockpit der Handley Page O/400 war nur mit den notwendigsten Fluginstrumenten wie Höhenmesser, Fahrtmesser, Uhr, Neigungsmesser und Kompass ausgerüstet.

---

<sup>220</sup> Vgl. Broelmann, Kreiseltechnik, 2002, S. 299-300.

<sup>221</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 50-56; siehe auch Flight, 1917, S. 180-182; vgl. hierzu und im Folgenden Gibbs-Smith, Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II, 1970, S. 176.

---

Die Triebwerksinstrumente waren jeweils auf der Innenseite der Triebwerksgondeln angebracht und bestanden aus Drehzahlmesser, Temperatur- und Öldruckanzeige. Diese Anordnung vereinfachte das Instrumentierungssystem erheblich, da Fernanzeigen für die Triebwerksüberwachung entfielen. Bei den Piloten musste aber ein sehr gutes Sehvermögen, auch bei Dämmerung und Dunkelheit, vorausgesetzt werden, denn die Überprüfung der Instrumente war entgegen einer vollständig im Cockpit vorhandenen Instrumentierung schwieriger.<sup>222</sup>

Unabhängig von der Anordnung der Instrumentierungen stellte die Handley Page O/400 ein frühes Beispiel für eine ergonomische Steuerung dar. Das Verhältnis zwischen Mensch und Maschine wurde für die Triebwerkssteuerung bei der Konstruktion besser in Betracht gezogen als bei anderen Flugzeugmodellen. So wurde anstelle von individuellen Leistungshebeln nur ein einziger für beide Triebwerke verwendet. Dieser kontrollierte simultan die Leistungseinstellung. Eine Leistungssteigerung bedeutete eine Stellung nach vorne in Flugrichtung. Für die Feineinstellung der einzelnen Triebwerke war der Leistungshebel mit einem flachen Schalter versehen. Eine Drehung nach links erhöhte die Leistung des linken Triebwerks und reduzierte die des rechten und umgekehrt. Dadurch war eine entsprechende Feinabstimmung möglich, sodass man genau geradeaus fliegen konnte, ohne andauernde Korrekturen wegen leicht unterschiedlichen Triebwerksleistungen durchführen zu müssen.

Die schweren Bomber-Schwadronen des Royal Navy Air Services, der späteren Royal Air Force, operierten in Flughöhen von circa 10.000 Fuß bei einer durchschnittlichen Außentemperatur von minus 4°C. Diese Temperaturen waren für die Piloten besonders bei längeren Flugstrecken nicht erträglich, denn nur teilweise wurden die Besatzungen der Handley Page O/400 mit elektrisch beheizbaren Fliegerkombis ausgestattet.

Die deutschen Bomber, wie zum Beispiel die Gotha V, waren in vieler Hinsicht besser ausgerüstet; so war 1918 für die Besatzung schon Sauerstoff vorhanden. Im Gegensatz dazu stand den Besatzungen der Handley Page O/400 noch kein Sauerstoff zur Verfügung. Damit war die effektive maximale Betriebshöhe auf 10.000 Fuß begrenzt. Wäre der Erste Weltkrieg später beendet worden, ist davon auszugehen, dass auch die britischen Flugzeuge mit einer Sauerstoffversorgung für die Besatzung ausgerüstet

---

<sup>222</sup> Siehe auch Flight, 1917, S. 180-182.

---

worden wären, und wohl auch mit elektrisch beheizbaren Fliegerkombis, sodass eine Betriebshöhe von 15.000 Fuß möglich gewesen wäre.

Die Handley Page V/1500 wurde in der letzten Kriegsphase konzipiert und zählte mit ihren vier Triebwerken, zwei Zug- und zwei Druckpropellern zu den „Großen“. Sie war beides, groß und komplex, im Vergleich zu anderen Flugzeugen der Royal Air Force, und sie hatte auch eine Station für einen Flugingenieur. Im offenen Cockpit, das sich wie bei der O/400 auf der rechten Seite befand, waren eine Reihe von Schaltern und Hebeln angebracht. Die vier Triebwerke benötigten acht Zündschalter, vier Ladedruck- und vier Gemischreglerhebel. All diese waren in einer kleinen Ecke an der rechten Seite des Piloten, der Position des Kapitäns, untergebracht. Typisch für diese Zeit waren die großen Steuerräder, mit der die Piloten die Querruder über Steuerseile bewegten. Die Steuerräder hatten einen Durchmesser von bis zu 60 Zentimetern mit einem Übersetzungsverhältnis von 2:1, um die Ruder über den Widerstand der Seilführungen und Umlenkrollen sowie der auftretenden Luftkräfte zu bewegen. Die Steuersäulen konnten manchmal verriegelt werden, sodass es dem Piloten möglich war, zeitweise keine Steuerdrücke auszuüben. In Erwartung eines Langstreckenflugbetriebes entlang des Rheins entwickelte die Royal Air Force drei Richtfunkfeuer für die Positionsbestimmung über Funk zur Unterstützung der Piloten und Navigatoren. Dies war ein frühes Beispiel für einen strategischen Einsatz der Luftwaffe.

Das Ende des Ersten Weltkrieges war nicht gezeichnet von sprunghaften revolutionierenden Änderungen der Flugzeugcockpits. Die 1918 eingesetzten Kampfflugzeuge ähnelten weitestgehend den zuvor produzierten Flugzeugen. Zwar wurden Details verbessert, aber das Cockpit an sich blieb gegenüber dem von 1914 weitestgehend unverändert. Grundsätzlich waren die Cockpits offen und die Sitze eine Leichtbaukonstruktion, wie sie bereits in Blériots Flugzeugen verwendet wurden. Lediglich innerhalb des Cockpits stieg die Anzahl an Instrumenten in den letzten zwei Jahren des Krieges. In einigen Flugzeugen gab es für Nachtflüge sogar eine Instrumentenbeleuchtung.

---

## Lessons learned – Die Transformation des Flugzeugs

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich während des Ersten Weltkriegs nicht nur die Technik, besonders im Cockpit, weiter entwickelt hat, sondern auch für die Piloten wesentliche Verbesserungen geschaffen wurden. Dass diese beiden Prozesse unauflöslich miteinander verknüpft waren, macht ihre besondere Dynamik aus.

Während der Kriegsjahre gewannen Flugzeuge für die Kriegsführung an Bedeutung, wenn auch noch längst nicht kriegsentscheidend. Die Partei, welche die Lufthoheit für sich behaupten konnte, war in vielerlei Dingen bei der Kriegsführung im Vorteil. Aufgrund der noch geringen Nutzlast der Flugzeuge war der Einsatz als strategischer Bomber noch kaum von Relevanz, obwohl bereits einige Konzepte vorlagen und von den Kriegsparteien teilweise versucht wurde, sie in die Praxis umzusetzen.<sup>223</sup> Dieses änderte sich aber im Zweiten Weltkrieg.

Der wesentliche Einsatz der Flugzeuge im Ersten Weltkrieg bestand in der Aufklärung, da die Navigation und Flugführung durch die Sicht des Piloten nach außen dominiert wurde.<sup>224</sup> Durch die vielen Aufklärungsflüge sowie dadurch, dass es vielen nun ermöglicht wurde, im Kriegsdienst Flugzeuge zu fliegen, wurden viele wertvolle Erfahrungen gemacht, die auch direkt von den Entwicklern und Konstrukteuren umgesetzt wurden. Ein wesentlicher Beschleunigungsfaktor für die Weiterentwicklung der Flugzeugtechnik waren auch die Massenproduktion und die Standardisierungen von Technik. Da jetzt nahezu jedes Flugzeug gleich ausgestattet war, bestand die Möglichkeit einheitlicher Sets technischer Komponenten, die nun nicht mehr flugzeugabhängig waren. Dies erleichterte auch die Ausbildung der Piloten.

Durch die „Massenausbildung“ von Piloten, die nicht ausschließlich aus privilegierten Erfindern bestanden oder zur gesellschaftlichen Elite gehörten, wurde das praktische Fliegen selbst einem breiteren Personenkreis ermöglicht. Das Fliegen war nun nicht

---

<sup>223</sup> Vgl. Ziegler, *Weapons Development in Context: The Case of the World War Balloon Bomber*, 1994, S. 750-767; vgl. Kurz, *Das Flugzeug als Waffe*, 1991, S. 39-59; vgl. Trischler, *Nationales Sicherheitssystem - nationales Innovationssystem. Militärische Forschung und Technik in Deutschland in der Epoche der Weltkriege*, 2002, S. 107-131.

<sup>224</sup> Vgl. Smallman, *Instrumentation – Then and Now*, 1961, S. 26-27.

---

mehr ein wagemutige Abenteuer, sondern die Erfüllung einer konkreten Aufgabe stand nun im Vordergrund. Das Flugzeug wurde Mittel zum Zweck. Durch diese Transformation wurde die Grundlage zu einem Verkehrsmittel geschaffen.





---

# Kapitel 3 – Zwischen den Kriegen

Nach Beendigung des Ersten Weltkrieges waren bei allen Kriegsparteien viele Flugzeuge verfügbar, die einer sinnvollen Verwendung zugeführt werden sollten. Mit dem Schwerpunkt auf den technischen Entwicklungen im Bereich des Cockpits werden in diesem Kapitel die entsprechenden soziotechnischen und sozioökonomischen Prozesse dargestellt und der Zeitraum zwischen den Weltkriegen als die Geburtsstunde des Instrumentenflugs analysiert.

Auch die Piloten als fundamentaler Bestandteil des Systems Flugzeugcockpit stehen im Fokus dieses Abschnittes. Es wird der Weg beschrieben, bis der Beruf des Piloten in der Gesellschaft akzeptiert wird. Waren es in den Anfangsjahren noch waghalsige Erfinder, so wurden bereits ab 1914 Soldaten zum Führen von Flugzeugen ausgebildet. Die nächste Herausforderung, das Dienen als Chauffeur, ist das Resultat des Aufbaus einer neuen kommerziellen Dienstleistung – das „schnelle“ Reisen, denn da sich die Flugzeug- und vor allem die Motorentechnik stark verbessert hatte, konnten Flugzeuge jetzt auch auf größeren Strecken eingesetzt werden. Die damit zusammenhängenden Fragen nach den erforderlichen Instrumentierungen sowie der daraus resultierenden Verfahren sollen ebenfalls in diesem Abschnitt beantwortet werden. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei den „Langstreckenflügen“ zuteil, die in der Zwischenkriegszeit eine neue Qualität von Mobilität und Globalität ermöglichten.

Abschließend wird auf die unterschiedlichen Cockpitkonzepte und Funktionsweisen eingegangen. Dabei werden vor allem die Gründe, warum das „offene Cockpit“ von den Piloten favorisiert wurde, und die Argumente für die Durchsetzung des geschlossenen Cockpits dargelegt.

---

## Ziviler Luftverkehr nach dem Krieg

### *Anfänge*

Das Kriegsende selbst erzeugte einige Antriebe zur Verbesserung des Cockpits und der Ausrüstung von Flugzeugen. Als im November 1918 der Erste Weltkrieg beendet wurde und die wesentlichen kriegführenden Länder über tausende von Flugzeugen verfügten, trat ein Mengenproblem auf. Die Kriegsflugzeuge waren für die Anforderungen eines friedlichen Wirtschaftsaufschwungs überflüssig. Deshalb verwendeten die ersten Luftfahrtunternehmen in der Phase unmittelbar nach dem Krieg meist militärische Luftfahrzeuge. Sie wurden, neben der Entfernung der Bewaffnung, technisch modifiziert, um im zivilen Lufttransport eingesetzt zu werden. Die Cockpits, in denen tausende Militärpiloten abertausende Flugstunden abgeleistet hatten, sollten dagegen nicht abgeändert werden, zumal ein immenser Überschuss an Ersatzteilen aus Kriegsbeständen zur Verfügung stand. Erst als aus praktischen Erfahrungen heraus realisiert wurde, dass der Schlüssel zu einem erfolgreichen Luftverkehr nicht nur gut funktionierende Flugzeuge, sondern auch die Einhaltung eines entsprechenden Flugplans war, wurden Mittel in die Verbesserung der Flugzeugkonstruktionen und der Cockpits investiert.<sup>225</sup> Neben der Zuverlässigkeit der Triebwerke und der Flugzeugstruktur wurde es in den kommenden Jahren immer wichtiger, nahezu bei jedem Wetter operieren zu können, um sich als allgemeines Verkehrsmittel etablieren zu können.<sup>226</sup>

Die Entwicklung des Passagierluftverkehrs begann vorrangig in den USA, Deutschland, Frankreich und Großbritannien. Vor allem in Frankreich wurde bereits unmittelbar nach Kriegsende der Aufbau eines zivilen Luftverkehrs vorangetrieben. Die einzige Einschränkung bestand in der zur Verfügung stehenden Technologie. Ein Pionierflugzeug des französischen Lufttransports war die Farman Goliath von 1919, die auf der

---

<sup>225</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 57-59; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 800-803; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 180-193.

<sup>226</sup> Siehe dazu auch Sonderdruck *Luftfahrt International*, Oppelt, *Über die Entwicklung der Flugregler in Deutschland*, 1982, S. 23-27.

---

Flugstrecke Paris – London eingesetzt wurde. Das Flugzeug ermöglichte den Passagieren in der ersten Sitzreihe eine uneingeschränkte Sicht in Flugrichtung.<sup>227</sup> Der Pilot und ein Mechaniker saßen in einem offenen Cockpit unter der Flügelvorderkante der oberen Tragfläche. Das Flugzeug verfügte im Cockpit über einen Gashebel für jedes Triebwerk. In französischen und italienischen Flugzeugen wurden bis 1945 die Gashebel zur Leistungssteigerung nach hinten gezogen - ein großer operationeller Unterschied zu britischen und deutschen Flugzeugen, wo eine Leistungserhöhung ein Vorschieben der Hebel bedeutete. Zudem saß der Pilot im Kontrast zu britischen und deutschen Flugzeugen auf der linken Seite. Dies hatte weiterhin zur Folge, dass der Passagiereinstieg auf der rechten Seite des Flugzeugs installiert wurde. Die linke Seite war konstruktionsbedingt durch die Steuerkabel der Flugsteuerung blockiert. Wären bereits geschlossene Cockpits eingeführt worden, hätte dies die Navigation anhand von Landmarken wie Städten, Flüssen, Seen, Eisenbahnlinien usw., aufgrund der Sichtbeeinträchtigung, stark negativ beeinflusst. Ohne entsprechende Funknavigationsausrüstung an Bord, sowie entsprechenden Funkfeuern am Boden entlang der Flugstrecke, bestand eine absolute Abhängigkeit des Piloten zu den Bezugspunkten am Boden. Dies prägte in den USA den angebrachten Begriff des „Contact Flying“, der bei Flügen nach Sichtflugregeln immer noch verwendet wird.<sup>228</sup>

Aufgrund des Vertrags von Versailles waren in Deutschland den Flugzeugentwicklern und Konstrukteuren zunächst die Hände gebunden. Die Bestimmungen des Versailler Vertrags ließen den Bau von leistungsfähigen Verkehrsflugzeugen zunächst nicht zu.<sup>229</sup> Die deutsche zivile Luftfahrt entwickelte sich aber trotz der gesamten Nachkriegsprobleme recht dynamisch. Wie in anderen Ländern wirkten sich die gelernten Lektionen aus der militärischen Luftfahrt auf die Konstruktion der Verkehrsflugzeuge, der Flugplätze und der Navigationsausrüstung aus. In einem Punkt waren die deutschen militärischen Flieger denen der anderen Länder gar überlegen gewesen, nämlich in der Beleuchtung für den Nachtflug. Leuchttürme zur Navigation waren in ganz Deutschland errichtet und horizontal beleuchtete Tafeln entwickelt worden, die dem

---

<sup>227</sup> Siehe Flight, 1919, S. 1647-1651; vgl. Passoth, 2008, S. 116; vgl. Bölkow, 1990.

<sup>228</sup> Vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 57-59; vgl. Ott, 1991, S. 61-63; vgl. Brooks, Aircraft Operation, 1978, S. 800-803; vgl. Gibbs-Smith, Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II, 1970, S. 180-193.

<sup>229</sup> Siehe auch Flight, 1925, S. 257-259; vgl. Homze, Arming the Luftwaffe, 1976, S. 1-4; vgl. Uziel, Arming the Luftwaffe - The German Aviation Industry in World War II, 2012, S. 7-8; vgl. Budraß, Flugzeugindustrie und Luftrüstung in Deutschland 1918 – 1945, 1998, S. 55-56.

---

Piloten Informationen über den Status eines Flugplatzes sowie Windstärke und Windrichtung geben konnten. Speziell diese Entwicklungen waren nützliche Voraussetzungen für den Start des zivilen Nachtflug-Streckennetzes in Deutschland nach Kriegsende.<sup>230</sup>

Wie bereits vor dem Ersten Weltkrieg trieben ausgelobte Preise die technologische Entwicklung des Flugzeugs voran, wobei Rekorde als Ausweis nationaler technologischer Leistungsfähigkeit und Überlegenheit galten. Besonders wirkungsmächtig war dabei die Schneider Trophy,<sup>231</sup> um die sich die Hochleistungsflugzeuge ein prestigeträchtiges Luftrennen lieferten. Die Cockpits der teilnehmenden Flugzeuge bildeten nicht den aktuellen technischen Stand des Herstellers ab, da diese Flugzeuge nur für den Rennzweck entwickelt und gebaut wurden und die minimale Größe des Cockpits den Luftwiderstand reduzierte. Auf die Bequemlichkeit des Piloten und eine gute Sicht nach vorne kam es derweil nicht an.

Einer der Teilnehmer der Schneider Trophy 1932 war die RAF High Speed Flight, welche die Trophäe nach England holte. Diese RAF Supermarine S6B besaß ein Cockpit, das dem Piloten nicht gestattete nach vorne zu schauen. Der Rumpfquerschnitt war nicht größer als die Triebwerksverkleidung. Der Widerstand einer kleinen Windschutzscheibe war nicht zu werten. Doch die Supermarine S6B und weitere Trophy Teilnehmer trugen nicht zu einer Evolution im Cockpitdesign bei; sie zeigten aber die Weiterentwicklungen in den Flugzeugstrukturen und Triebwerksleistungen.<sup>232</sup>

### *Die Luftfahrtforschung als Antrieb*

Die Luftfahrtforschung war und ist ein fester Bestandteil der evolutionären Entwicklung des Innovationssystems Luftfahrttechnik mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit der Flugzeuge zu verbessern. Dabei lagen die Schwerpunkte der Forschung auf der Aerodynamik und der Triebwerkstechnik.

---

<sup>230</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 57-59; vgl. *Flight*, 1932, S. 134-136; vgl. Homze, *Arming the Luftwaffe*, 1976, S. 1-4.

<sup>231</sup> Die Schneider-Trophy begann als ein Rennen für Wasserflugzeuge ab 1911. Benannt nach dem Franzosen Jacques Schneider. Siehe dazu Pegram, *Schneider Trophy Seaplanes and Flying Boats: Victors, Vanquished and Visions*, 2012.

<sup>232</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 76; vgl. *Flight*, 1931, S. 981-982.

---

Die Luftfahrtforschung in England begann bereits vor dem Ersten Weltkrieg. Nach dem Ersten Weltkrieg setzte sich ihr Wachstum fort, jedoch intensiver als vor und während des Krieges. Angetrieben wurde das Wachstum durch die hohen finanziellen Aufwendungen des britischen Luftfahrtministeriums.<sup>233</sup>

In Deutschland wurden in den Zwischenkriegsjahren durch Ludwig Prandtl an der Universität Göttingen viele Fortschritte im Bereich der Aerodynamik erreicht. Die von ihm aufgebaute und geleitete Aerodynamische Versuchsanstalt, die 1923 zudem mit dem neugegründeten Kaiser-Wilhelm-Institut für Aerodynamik und Hydrodynamik verbunden wurde, entwickelte sich zum weltweiten Mekka der Aerodynamik. Parallel dazu befasst sich die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) mit nahezu allen wissenschaftlichen Bereichen der Luftfahrt, wie zum Beispiel Aerodynamik, Triebwerkstechnik und Flugmechanik. Aber auch Randbereiche wie Navigation oder Instrumentenwesen wurden erforscht. Prandtl hatte sich nicht nur der Erforschung der Aerodynamik verschrieben, er entwickelte auch mathematische Theorien für Auftrieb und Widerstand. B. M. Jones verwendete Prandtls Aufzeichnungen und neueste Experimente und berechnete den Mindestwiderstand einer Tragfläche. Dieser war bedeutend niedriger als erwartet und regte die Entwickler an, die Tragflächenprofile weiter zu verbessern.<sup>234</sup>

Auch ein Beispiel für die Auswirkungen der theoretischen Luftfahrtforschungen auf die Praxis war der britische Royal Air Force Offizier Frank Whittle. Er studierte Luftfahrttechnik in Cambridge und stellte fest, dass Kolbentriebwerke nicht für den Hochgeschwindigkeitsflug sowie in großen Höhen einsetzbar sind. So begann er mit der Entwicklung eines Strahltriebwerks.<sup>235</sup> Gleiches gilt auch für den deutsch-amerikanischen Physiker Hans Papst von Ohain, der parallel zu Whittle das Strahltriebwerk für den Flugzeugkonstrukteur Ernst Heinkel entwickelte.<sup>236</sup>

Anhand der aufgeführten Beispiele ist zu ersehen, dass die systematische Forschung auch weiterhin die Erfinder anregte, die entwickelten Theorien in praktische Systeme

---

<sup>233</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 35.

<sup>234</sup> Vgl. ebd. S. 36-37; vgl. Brämer, *Die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt im Jahre 1935/36*, 1936, S. 241-247

<sup>235</sup> Vgl. ebd. S. 36-37.

<sup>236</sup> Vgl. Wagner, *Die ersten Strahlflugzeuge der Welt*, 1989, S. 12ff.; vgl. Köhler, *Der deutsche Luftverkehr - Ernst Heinkel - Pionier der Schnellflugzeuge*, 1989, S. 160ff.; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 819-821.

---

und Lösungen umzusetzen. Wie bereits erwähnt, lagen die Forschungsschwerpunkte nicht auf den Cockpitinstrumenten oder Cockpitgestaltungen. Mit dieser Thematik hat man sich im zivilen Luftverkehr erst nach dem Zweiten Weltkrieg näher befasst.

### *Der Wiederaufbau der Luftfahrtindustrie*

Von den Erfahrungen des Flugzeugeinsatzes im Ersten Weltkrieg profitierten die Entwickler und Piloten gleichermaßen. Es wurden Standards geschaffen und die Luftfahrt einer breiteren Nutzeröffentlichkeit zugänglich gemacht. Im folgenden wird die generelle Entwicklung in England und Deutschland kurz dargelegt.

In den Zwischenkriegsjahren war die englische Luftfahrt vergleichsweise unterentwickelt. 1927 zählte die deutsche zivile Luftflotte zu den besten und modernsten in der Welt. In den 30er Jahren jedoch wurde die deutsche Luftfahrt überschätzt und die englische Luftfahrt unterschätzt, denn die militärischen Flugzeuge, die in England für den Zweiten Weltkrieg gebaut wurden, zeigten, dass die Engländer durchaus im Stande waren, Hochtechnologie im Bereich des Flugzeugbaus zu entwickeln und zu bauen.<sup>237</sup>

In den Jahren zwischen den beiden Weltkriegen gab es in England keinen Markt für Flugzeuge, sodass benötigte Gelder für Entwicklungen von der politischen Entscheidung abhängig waren. Kleine und mittlere Firmen dominierten den Flugzeugbau. In England war das Standardverfahren für die Entwicklung eines Flugzeugs wie folgt: Die Royal Air Force (RAF) und das Luftfahrtministerium gaben die Spezifikationen an „zugelassene“ Unternehmen. Diese lieferten dann die Entwürfe und Verträge für Prototypen zurück an die RAF, beziehungsweise an das Ministerium. Das Ministerium gab dann den Bau von Prototypen, die für die finale Produktion vorgesehen waren, in Auftrag.<sup>238</sup>

Das Luftfahrtministerium kontrollierte die zivile Luftfahrt nicht so, wie es bei der RAF der Fall war. Der britische Historiker Peter Fearon argumentiert, dass es ein kardinaler Fehler des britischen Luftfahrtministeriums war, sich in Friedenszeiten auf militärische

---

<sup>237</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 18; vgl. Homze, *Arming the Luftwaffe*, 1976, S. 32; vgl. Budraß, *Luftrüstung*, 1998, S. 233ff.; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 824-829.

<sup>238</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 18-20.

---

Flugzeuge zu konzentrieren. Diese wurden nicht benötigt. Gleichzeitig aber vernachlässigte man die zivile Luftfahrtindustrie.<sup>239</sup>

In Deutschland gestaltete sich der Wiederaufbau der Luftfahrtindustrie in den Jahren 1918 bis 1926 sehr schwierig. Der Versailler Vertrag limitierte die Flugleistungen neuer Flugzeuge erheblich, sodass sie schon nach damaligen Flugleistungsstandards hinter dem Durchschnitt zurücklagen. Die Flugzeuge durften zum Beispiel nur über eine maximale Nutzlast von 600 kg verfügen. Die maximale Fluggeschwindigkeit durfte höchstens 170 km/h, die Reichweite 300 km und die Dienstgipfelhöhe 4000 m betragen. Ferner jedoch sollten die Flugleistungsgrenzen des Versailler Vertrags alle zwei Jahre überarbeitet werden. Allerdings fand bis zum Juni 1925 keine Revision statt.<sup>240</sup>

Jedoch gelang es Hugo Junkers drei Tage vor der Unterzeichnung des Versailler Vertrags, den ersten Nachkriegs-Flugzeugentwurf in die Luft zu bringen. Es handelte sich dabei um die Junkers F13, ein einmotoriges, 6-sitziges Flugzeug in Ganzmetallbauweise. Die F13 war so erfolgreich, dass bereits 1929 322 Flugzeuge bei 24 Nationen im Einsatz waren.

Obwohl die Luftfahrtunternehmen auch unter den Schwierigkeiten des Wiederaufbaus der Flugzeugbauindustrie lange litten, waren im Endergebnis zwischen den Kriegen recht viele zivile Flugzeuge im Einsatz. Zum Beispiel flogen 1931 bis zu 1100 zivile Flugzeuge in Deutschland. Davon war für bis zu 400 Flugzeuge auch eine militärische Nutzung möglich.<sup>241</sup>

## *Die Postflieger*

Der wegweisende Luftpostdienst der Vereinigten Staaten in den frühen 1920er Jahren hatte nicht nur die Probleme und Defizite der Luftfahrt aufgezeigt, sondern legte auch die Grundlage für einen sicheren und effizienten Luftverkehr fest. Die Luftposttrouten durchquerten Gebiete der Vereinigten Staaten mit sehr unterschiedlichen Topographien und Wetterbedingungen. Zum Beispiel war der Durchflug durch das Appalachen

---

<sup>239</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 27-32.

<sup>240</sup> Vgl. hierzu und zum Folgenden Homze, *Arming the Luftwaffe*, 1976, S. 2-3, 10-15; vgl. Budraß, *Luftrüstung*, 1998, S. 174; zu den Restriktionen des Versailler Vertrages siehe auch Wagner, *Luftverkehr*, 1987, S. 14-18.

<sup>241</sup> Vgl. Edgerton, *England and the Aeroplane*, 1991, S. 32; siehe auch Budraß, *Luftrüstung*, 1998, S. 67-72, 225-228, 233ff.

---

Gebirge, das auch „Höllensstrecke“ genannt wurde, komplizierter als der Flug durch die klar definierten Berge der Rocky Mountains, denn die Appalachen bestehen aus buckeligen Hügeln, deren bewaldete Berge und Täler optisch täuschen und trügerisch sind. Beim Flug mit Sicht Navigationsverfahren anhand von Landschaftsmerkmalen konnte der Pilot leicht die Orientierung verlieren. Ganz besonders kritisch waren diese Landschaften bei Nebel oder bei wechselnden Flugsichten. Allerdings gab es für Notfälle einige gerodete Felder, auf denen im Bedarfsfall eine Notlandung durchgeführt werden konnte. Dennoch starb in den USA durchschnittlich ein Postflieger im Monat – meist in einer DH4.<sup>242</sup>

Die DH4 des Royal Flying Corps wurde als Lizenzbau in den USA produziert. Sie wurden für den Postflugdienst entsprechend modifiziert und die Position des Piloten auf den hinteren Sitz verlegt. Das vordere Cockpit wurde als Frachtraum für die Post genutzt. Abgesehen von großen Änderungen beim Austrimmen des Flugzeugs aufgrund unterschiedlicher Zuladungen bot die hintere Sitzposition im Falle eines Absturzes, die in der frühen kommerziellen Fliegerei häufig vorkamen, einen besseren Schutz des Piloten.<sup>243</sup> Die DH4 für den Postflugdienst wurde 1923 mit elektrischen Landescheinwerfern, Landefackeln sowie mit Flammendämpfern an den Abgasrohren ausgerüstet. Diese Modifikationen dienten zur Verbesserung des Nachtflugpotentials.<sup>244</sup> Der Nachtflugsektor zwischen Chicago und Cheyenne wurde mit Notlandepisten versehen. Die Notlandepisten, die sich in einem Abstand von 40 km befanden, wurden durch 45 cm große Drehleuchtfeuer markiert. In 5 km Abstand wurden kleinere Blitzlichter zur Wegführung installiert. Große Flugplätze verfügten über 90 cm große Drehleuchtfeuer, die auf 15 m hohen Türmen installiert waren. In klaren Nächten waren diese über 150 km sichtbar, aber bei geringer Sicht nur von eingeschränktem Nutzen.

Die Piloten gingen hohe Risiken ein, wenn sie in einem Schneesturm versuchen mussten, ohne adäquate Blindfluginstrumente ausgestattet zu sein, auf eine so niedrige Flughöhe zu sinken, wo Bodenmerkmale wieder als Referenzpunkte dienen konnten.

---

<sup>242</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 59-60; vgl. Jordanoff, *Through the Overcast - The Art of Instrument Flying*, 1938, S. 134; vgl. Lindbergh, *Mein Flug über den Ozean*, 1954, S. 9ff.

<sup>243</sup> Vgl. *Flight*, 1922, S. 674 sowie *Flight*, 1923, S. 672-674.

<sup>244</sup> Vgl. *Flight*, 1923, S. 672-674.



---

Die zur Verfügung stehenden Blindfluginstrumente bestanden aus einer Libelle, Fahrtmesser und Variometer.<sup>245</sup> Mit diesen Instrumenten war ein dauerhafter Blindflug nicht möglich, sodass bei Einflug in eine Wolke diese schnellstmöglich verlassen werden musste. Das Verlassen von Wolken erfolgte grundsätzlich durch die Einleitung eines kontrollierten Sinkfluges mit moderaten Sinkraten. Ziel war es, auf eine so niedrige Flughöhe zu sinken, bis die „Kontaktnavigation“ wieder möglich wurde. Zusätzlich musste anschließend in der niedrigen Flughöhe noch ein mögliches Landefeld identifiziert und angefliegen werden. Alternativ blieb dem Piloten die Option, das Flugzeug mit dem Fallschirm zu verlassen, was unweigerlich den Verlust des Flugzeugs zur Folge hatte. Dennoch war die kontrollierte Aufgabe des Flugzeugs mit einem Fallschirmabsprung keine Seltenheit. Während seiner Zeit als Postflieger sprang Charles Lindbergh zweimal mit dem Fallschirm ab.<sup>246</sup>

Die Entwicklung der Beleuchtung der Strecken und Flugplätze begann schon während des Krieges. Die französische Armee zum Beispiel führte Streckenbeleuchtungen für Bomber ein, damit diese den Weg zurück zum Flugplatz finden konnten. Entsprechende Nachtflugstrecken wurden in den folgenden Jahren in vielen europäischen Ländern und vor allem in den USA eingeführt. Durch stetige Weiterentwicklungen in der Beleuchtung und in der wachsenden Erfahrung der Piloten wurde das Fliegen nachts immer sicherer. Ab 1928 wurden die ersten Schritte einer Standardisierung der Nachtflugstrecken- und Flugplatzbeleuchtung unternommen. Angestoßen wurde die Initiative durch die International Illumination Commission at Saranac (USA). In den Anfängen war es besonders wichtig, zwischen Strecken- und Flugplatzbeleuchtung zu unterscheiden. Auch wurde gefordert, Hindernisse wie Telegrafmasten oder hohe Kamine nachts entsprechend zu markieren, damit die Piloten diese schnell erkennen und für eine notwendige Hindernisfreiheit sorgen konnten. Bevor man elektrische oder mit Gas betriebene Leuchttürme als Streckenmarkierungen installierte, wurden Signalfeuer entzündet. Dies erfolgte nach einem Telefonanruf über die erwartete Ankunftszeit des Flugzeugs.<sup>247</sup>

---

<sup>245</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 6.

<sup>246</sup> Vgl. Lindbergh, *Mein Flug über den Ozean*, 1954, S. 9ff.

<sup>247</sup> Vgl. *Flight*, 1930, S. 401; vgl. Mealing, 1933, S. 1184-1185.

---

Eine wesentliche Ursache bei den Gefahren der Postfliegerei waren die mangelhaften Wettervorhersagen. Die Postflieger benötigten neben dem aktuellen Wetter auch die Vorhersagen, im besonderen die erwarteten Flugsichten. Schließlich wurden Funkempfänger, teilweise mit einem Gewicht von bis zu 70 kg, eingeführt. Daraus ergab sich neben der Erhöhung der Sicherheit auch eine verbesserte Regelmäßigkeit im Flugverkehr.

### *Die Flugboote*

Im Aufbau des zivilen und militärischen Flugbetriebes kam den Flugbooten eine besondere Bedeutung zu. Flugboote wurden bereits im Ersten Weltkrieg ab 1915 eingesetzt. Aufgrund ihrer Schwimmfähigkeit hatte die Marine ein natürliches Interesse an dieser Art von Fluggerät. Im zivilen Einsatz wurde der erste Linienflug von Tampa Bay nach St. Petersburg in Florida mit einem Flugboot durchgeführt.<sup>248</sup> Auch bei den ersten Langstreckenflügen über Wasser eigneten sich Flugboote in besonderer Weise, da sie sicher auf dem Wasser landen konnten.

Bis zu den 1940er Jahren war das Flugboot, ob militärisch oder zivil, ein integraler Bestandteil des Systems Luftfahrttechnik. Die Cockpits der Flugboote mussten etwas anders geplant und entworfen werden gegenüber den Landflugzeugen in vergleichbarer Größe. Ein prinzipieller Unterschied war, dass der Besatzung die Möglichkeit gegeben werden musste, das Flugboot an einem Steg zu befestigen oder einen Anker zu benutzen. Dies erforderte einen Ausstieg im vorderen Bereich des Flugzeugs. Ein weiterer bemerkenswerter Unterschied war die Anordnung der Triebwerksleistungshebel über den Köpfen der Piloten und nicht in einem auf dem Cockpitboden angebrachten Sockel.<sup>249</sup>

Das Flugboot Dornier Do X, das 1929 seinen Erstflug hatte<sup>250</sup>, bot auch diverse Neuerungen im Cockpit. Zum Beispiel gab es im Cockpit nur zwei Leistungshebel für die 12 Triebwerke und ebenso nur zwei Drehzahlmesser, die die durchschnittliche Drehzahl der sechs Zugtriebwerke und der sechs Drucktriebwerke anzeigten. Eine Anzeige

---

<sup>248</sup> Vgl. Rhoades, *International Aviation*, 2008, S. 1; vgl. Tre Tryckare Cagner & Co., *The Lore of Flight*, 1970, S. 54-55.

<sup>249</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 92-94.

<sup>250</sup> Siehe *Flight*, 1929, S. 745-746; vgl. Homze, *Arming the Luftwaffe*, 1976, S. 39.

---

im Cockpit gab dem Piloten an, welche Triebwerke vom Flugingenieur mit den Leistungshebeln verbunden waren. Obwohl es sehr schwierig gewesen wäre, 12 Leistungshebel gleichzeitig zu fassen und zu bedienen, widersprach das Zweihebeldesign der Zugänglichkeit des Piloten zu allen Triebwerken. In der Mitte des Flugzeugs hatte der Flugingenieur einen umfassenden Bereich, wo er die Triebwerksinstrumente aller 12 Triebwerke einsehen konnte. Die Do X nahm vorweg, was später in der Form eines detaillierten Managements der Triebwerke zur Hauptaufgabe und -verantwortung des Flugingenieurs in großen Flugzeugen wurde.<sup>251</sup>

### *Drei Triebwerke*

Ab 1930 tauchten eine Anzahl neuer Entwicklungen auf, um den expandierenden Bedarf der Luftfahrtunternehmen weltweit decken zu können. Obgleich die strukturellen Techniken sich signifikant weiterentwickelt hatten, blieben die Triebwerksleistungen auf circa 500 PS begrenzt. Dies stellte ein Problem für die Aerodynamik- sowie die Masse- und Schwerpunktspezialisten dar. Aber auch die Cockpitentwickler hatten gewissermaßen unter dieser Leistungsbegrenzung zu leiden, da die Flugzeuge zunehmend mit drei Triebwerken ausgerüstet wurden. Ein Triebwerk in der Front vor dem Cockpit limitierte zusätzlich die Sicht nach vorne. Zudem war die Gefahr, dass die Windschutzscheibe durch leckendes Öl aus dem Triebwerk verschmieren konnte, wieder recht hoch.

Das berühmteste Flugzeug der dreimotorigen Flugzeugära war die Junkers Ju 52. Die dreimotorige Version (Ju 52/3m) des Wellblechfliegers hatte seinen Erstflug am 07. März 1932. Dieses Flugzeug wurde in einer recht hohen Auflage produziert. Am 13. Dezember 1933 bestellte das Reichsluftfahrtministerium nicht weniger als 179 Maschinen, die in vier verschiedenen Firmen unter der Aufsicht von Junkers gebaut werden sollten. Im Cockpit waren die meisten Instrumente und Hebel dreifach vorhanden. Der generelle Eindruck der Instrumente und Ausrüstungen im Cockpit wirkte sehr robust. Andere Details zeigten, dass die Ju 52 Bestandteil der Lufthansa<sup>252</sup> war, die sich bereits auf einen nächsten Krieg vorbereitete, indem sie Navigations- und Landehilfen

---

<sup>251</sup> Vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 41; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 92-94.

<sup>252</sup> Im Zeitraum von 1926 bis 1933 wird die Schreibweise *Luft Hansa* bzw. *Deutsche Luft Hansa AG* verwendet, ab 1933 *dann Lufthansa* bzw. *Deutsche Lufthansa AG*.

---

entwickelte. Diese Systeme blieben in unterschiedlichen Varianten für über 20 Jahre im Gebrauch, wie zum Beispiel das Lorenz Anflug- und Landehilfesystem.<sup>253</sup>

Parallel wurden in Deutschland und in den USA Fern- und Radiokompass entwickelt. Diese waren Bestandteil der deutschen Flugzeugcockpits, lange bevor britische Luftfahrtunternehmen den großen P-Serie Magnetkompass vollständig abgeschafft hatten. Diese bereiteten häufig Probleme hinsichtlich einer sinnvollen Positionierung im Cockpit, da sie vom Piloten gesehen und erreicht werden mussten.<sup>254</sup>

Viele Ju 52-Piloten kommentierten den Kontrast aus der Einfachheit von feststehenden Propellern, festem Fahrwerk und den Überfluss an Instrumenten, Schaltern und Hebeln. Diese waren scheinbar in einem willkürlichen Durcheinander angeordnet. Dabei muss bemerkt werden, dass die Ju 52 lange im Dienst von Luftfahrtunternehmen und Militär stand, sodass der Variantenreichtum weiter wuchs.

Die dreimotorigen Fokker-Typen, welche viele wichtige Flugstrecken in der letzten Dekade eingeführt hatten, wurden durch neue und verbesserte Versionen ersetzt. Eine dieser Versionen, die F.VII/3m von 1931, hatte eine vergleichsweise ausführliche Instrumentierung. Dieser Fokker-Typ verfügte über zwei wesentliche Eigenschaften, die typisch für die Fliegerpraxis dieser Jahre waren. Zum einen hatte er Blindfluginstrumente in der Mitte des Instrumentenbretts und zum anderen Triebwerksinstrumente auf den Innenseiten der Triebwerksgondeln. Die Triebwerksinstrumente für das mittlere Triebwerk waren im Cockpit untergebracht. Um den Status der anderen beiden Triebwerke zu überprüfen, musste der Pilot aus dem rechten und linken Fenster sehen. Dadurch wurde die Leistungseinstellung und Synchronisation der Triebwerke aufgrund der dezentralen Anordnung der Leistungsanzeigen sehr schwierig.<sup>255</sup>

---

<sup>253</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 85-92; vgl. Griehl, *Junkers Flugzeuge seit 1915*, 2010, S. 52-56; vgl. Trenkle, *Bordfunkgeräte*, 1986, S. 238-241; vgl. *Flight*, 1936, S. 211; vgl. Homze, *Arming the Luftwaffe*, 1976, S. 77.

<sup>254</sup> Vgl. Trenkle, *Bordfunkgeräte*, 1986, S. 83-91; vgl. *Flight*, 1935, S. 400; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 87.

<sup>255</sup> Vgl. *Flight*, 1931, S. 49; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 70-74; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 103.

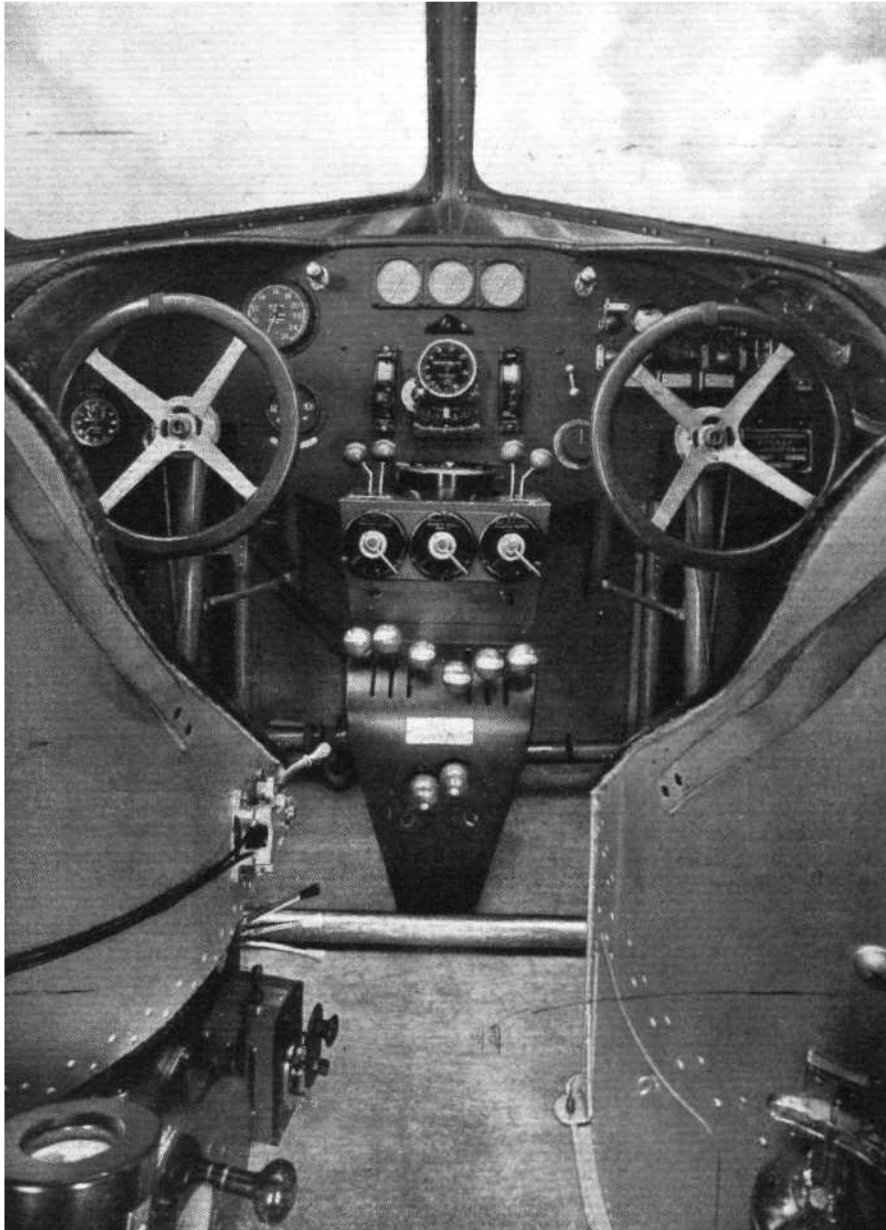


Abbildung 2: Cockpit F.VII / 3m (Quelle: Flight, 16. Januar 1931, S. 49)

Ein weiterer Fokker-Flugzeugtyp, von dem es detaillierte Aufzeichnungen über die Cockpitinstrumentierung gibt, ist die F32, ein viermotoriges Verkehrsflugzeug mit jeweils zwei Schub- und zwei Druckpropellern, das in den USA bei Fokker's North American Company entwickelt und gebaut wurde. Die Leistungshebel im zentralen Podest waren so angeordnet, dass die äußeren Hebel die Zugtriebwerke und die inneren die Drucktriebwerke regelten. Der Pilot, auf der linken Seite sitzend, hatte als Instrumentierung einen Kompass, Fahrtmesser, Höhenmesser und Variometer. Des weiteren

---

verfügte er über einen Neigungsmesser und einen Wendezeiger. Der Copilot hingegen hatte keine separaten Instrumente.<sup>256</sup>

Die Fokker FXX von 1933 hatte ein vollständig geschlossenes Cockpit mit Sitzplätzen für die beiden Piloten und einem Funker. Das Flugzeug war mit Doppelsteuerung und Fluginstrumenten für den Piloten auf der linken Seite ausgerüstet. Zudem war die FXX ein frühes Beispiel für die Separierung eines Flugingenieurs, der seinen Platz nicht im Cockpit hatte. Trotz dieser neuen Entwicklungen blieben zwei wesentliche Nachteile. Zum einen konnten die Landeklappen nur vom linken Piloten bedient werden, da sich die Steuerung auf seiner linken Seite befand und zum anderen musste das Fahrwerk manuell gefahren werden. Dazu bediente der Flugingenieur ein großes Handrad. Die Piloten hingegen hatten keinen Zugang zu diesem Handrad. Eine Aufteilung dieser Verantwortlichkeiten in solchen elementaren Funktionen war für die weitere Evolution der Verkehrsfliegerei, besonders nach dem Zweiten Weltkrieg, undenkbar.<sup>257</sup>

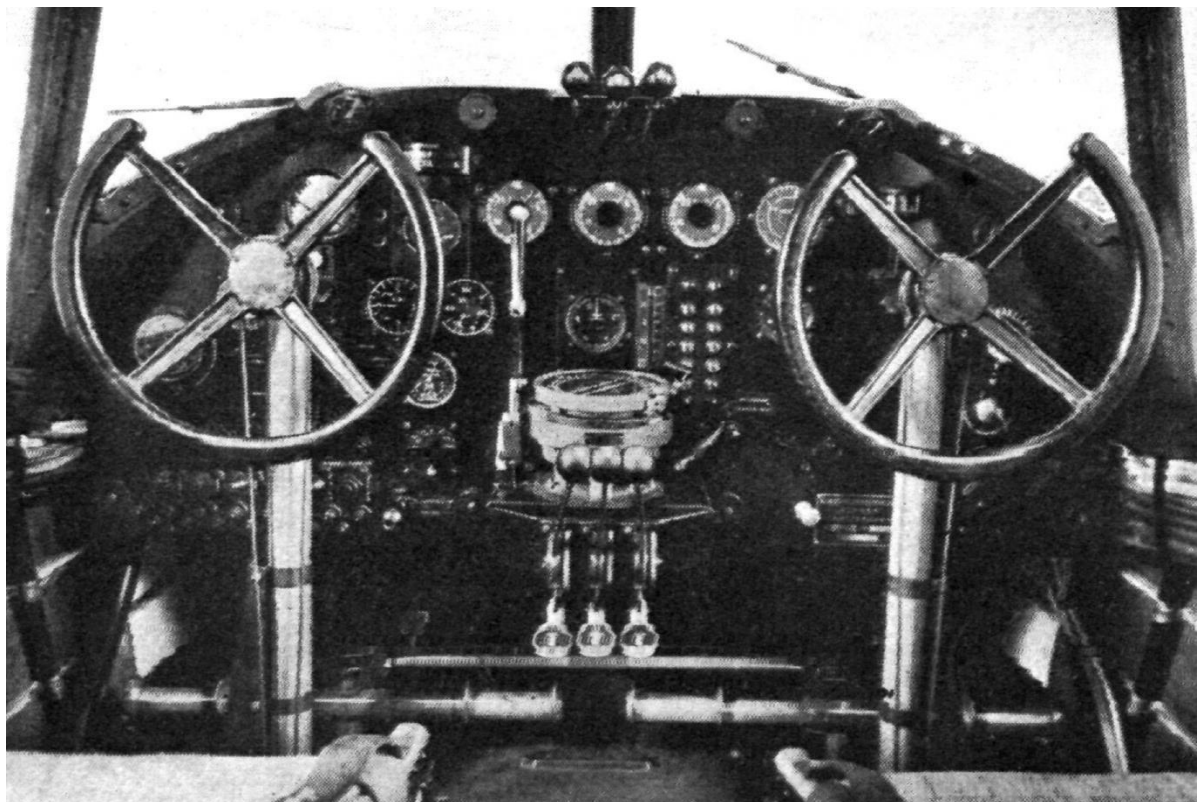


Abbildung 3: Cockpit Fokker F.XX (Quelle: Flight, 5. Oktober 1933, S. 994)

---

<sup>256</sup> Vgl. Flight, 1931, S. 363-365.

<sup>257</sup> Vgl. Flight, 1933, S. 993-995.

---

## Die Anfänge des Crew Resource Management

Heute ist die enge Zusammenarbeit der Flugbesatzung im Cockpit Standard. Das so genannte Crew Resource Management (CRM) ist mittlerweile fester Bestandteil der Ausbildung zum Verkehrsflugzeugführer. Jedes Flugbesatzungsmitglied muss dieses Wissen regelmäßig auffrischen und anwenden. Die Kooperation der Flugbesatzung hängt dabei nicht ausschließlich an technischen Artefakten. Auch die Stellung der Besatzungsmitglieder im Cockpit (oder im Luftfahrtunternehmen) und in der Gesellschaft spielen dabei eine tragende Rolle. Nachfolgend wird geschildert, wie sich die Zusammenarbeit der Flugbesatzungen in den Zwischenkriegsjahren gestaltete. Dabei wird auch auf die Sicherheit und Ergonomie im Cockpit eingegangen, da auch schon schlichtes Unbehagen die Konzentration und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen und die Flugführung gefährden kann.

### *Sicherheit und die Ergonomie im Cockpit*

Die britische Royal Air Force, einer der bedeutendsten Luftstreitkräfte, wurde im Zuge der Demobilisierung nach dem ersten Weltkrieg stark in ihrer Größe reduziert. Vorerst galt es mit dem auszukommen, was vorhanden war. Verfügbare Ressourcen der RAF und der Industrie wurden in die Eliminierung struktureller Fehler und Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Triebwerke investiert. Die Verbesserungen der Cockpitausrüstung und des Komforts für die Piloten hatte dagegen eine niedrige Priorität.<sup>258</sup>

Sicherheit in der Luftfahrt war besonders in England ein Thema. Am 5. Mai 1932 wurde auf dem Flugplatz in Croydon ein nationaler Luftsicherheitskongress einberufen. Die Teilnehmer bestanden aus dem Luftfahrtministerium, einer Vereinigung von Piloten, die Luftfahrtabteilung der Automobilindustrie und der britischen Luftfahrtversicherungsgruppe. Ein Resultat dieses Kongresses waren unter anderem nationale Kampagnen zur Unfallverhütung im Luftverkehr zu starten. Ein weiterer Schwerpunkt war die Zusammenarbeit zwischen den Piloten und der Bodencrew. Auch die Öffentlichkeit,

---

<sup>258</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 60-62; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101ff.; vgl. Coombs, *Das Cockpit*, 1993, S. 51-53.

---

über die ständige Erhöhung der Flugsicherheit zu informieren, war nun ein wichtiges Thema.<sup>259</sup>

Im Gegensatz zu den extremen Konstruktionsvariationen während der ersten Hälfte des Ersten Weltkrieges wurde jetzt erwartet, dass sich die Position des Cockpits bei einmotorigen Flugzeugen im hinteren Teil des Rumpfes befand, beziehungsweise unterhalb des oberen Tragflügels. Flugzeuge mit Druckpropeller oder ungewöhnlicher Cockpitplatzierung wurden an die Archive der Konstrukteure übergeben.<sup>260</sup>

Die Entwickler von Flugzeugcockpits hatten in den 1920er und 1930er Jahren zwei grundlegende und widersprüchliche Anforderungen. Zum einen sollten die Instrumente und Ausrüstungen im Cockpit so positioniert sein, dass die Aufgaben des Piloten weitestgehend vereinfacht wurden, zum anderen sollten die mechanischen Verbindungen, die die Steuerungen im Cockpit mit den Flugzeugsystemen verbinden, wie zum Beispiel Gashebel und Gemischreglerhebel zum Triebwerk, so einfach wie möglich gestaltet werden. Am Ende diktierte die praktische Umsetzung immer Kompromisse. Die primären Flugsteuerungen mussten offensichtlich stets in Reichweite der Hände und Füße des Piloten sein. Andere sekundäre Hebel und Schalter wurden teilweise an sehr ungünstigen Stellen positioniert, die damit eine enorm komplexe und teure Schnittstellenmechanik verlangten. Elektrische Steuerungen gaben den Entwicklern und Konstrukteuren mehr Freiheiten, da die Leitungen nun um Strukturen herum verlegt wurden und sich kreuzen konnten. Allerdings entstand dadurch häufig der Eindruck, dass gerade elektrische Schalter ohne weitere Konzepte im Cockpit eingebaut wurden.<sup>261</sup>

Im weiteren Verlauf der Entwicklungen der Flugzeuge wurde dann zunehmend auf Sicherheit im Cockpit geachtet. Zunächst führten bauliche Maßnahmen, wie zum Beispiel die Verwendung feuerfester Materialien, zu einer erhöhten passiven Sicherheit. Am Beispiel der Junkers J.1 von 1920 wird auch der Trend zur Verwendung von Metall in Form von Blechen im Flugzeugbau deutlich. Neben den neuen konstruktiven Möglichkeiten bezüglich der Festigkeit boten diese Materialien weitere konstruktive Vorteile.

---

<sup>259</sup> Vgl. Flight, 1932, S. 421; vgl. Flight, 1932, S. 376.

<sup>260</sup> Vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 62.

<sup>261</sup> Siehe dazu auch Grote, Zala-Mezö, & Grommes, Effects of Standardization and Communication in High Workload Situations, 2004, S. 39-54; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 51-53; vgl. Liebing, Flugsicherheit, 1968, S. 24ff.



---

Wesentlich für den Piloten war der erhöhte Brandschutz sowie die Möglichkeit konstruktiver „Knautschzonen“ im Falle eines Unfalls. Aus der Sicht der Militärs war die Verwendung von Metallplatten favorisiert, da damit ein besserer Schutz des Piloten bei Beschuss möglich war.<sup>262</sup>

Besonders bei den militärischen Fliegern wurde im Laufe der Zeit auch auf eine gesteigerte Disziplin im Cockpit geachtet. So wurden die Seitenfächer neben den Sitzen und anderen Bereiche als Sammelbehälter für sämtliche Abfälle genutzt; diese trafen bei negativen Beschleunigungen direkt den Kopf des Piloten. Auch Werkzeuge wie Schraubendreher konnten sich entsprechend verirren und Steuerungen beeinträchtigen oder blockieren. Deshalb wurde besonders auch bei der Instandhaltung darauf geachtet, dass keine Werkzeuge im Flugzeug vergessen wurden. Seit den ersten Tagen der Fliegerei ist es üblich, bei der Vorflugkontrolle auch die Freiheit und die Ausschläge der Steuerung zu überprüfen. In der Luftfahrtgeschichte gibt es viele Beispiele für Unfälle, die aufgrund fehlerhafter Steuerungen hervorgerufen wurden.<sup>263</sup>

Auch der persönliche Schutz des Piloten war bereits kurz nach dem Krieg für die Gemeinschaft der Piloten ein Thema. Über das einzige verfügbare persönliche Rettungsgerät, dem Fallschirm, gab es viele unterschiedliche Meinungen. Einige Piloten sahen sowohl einen Nachteil im Sitzkomfort auf längeren Flügen sowie eine Gewichtserhöhung. Andere empfanden den Fallschirm als eine zusätzliche Sicherheit und nahmen diesen gerne an. Die Technik der Rettungsfallschirme war für den damaligen Luftverkehr, aus heutiger Sicht in sehr niedrigen Flughöhen, gut geeignet. Auslösehöhen von weniger als 250 Fuß waren bereits möglich.<sup>264</sup>

### *Eigentümer und Piloten*

Das technische System Luftfahrt wurde zunehmend ökonomischen Gesichtspunkten unterworfen. Sowohl die Sicherheit der Piloten, ihr Entgelt, als auch das Eigentum an Flugzeugen beschäftigte viele industrielle Akteure in unterschiedlichen Hierarchien.

---

<sup>262</sup> Vgl. Flight, 1920, S. 190-293, 315; vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 62-63.

<sup>263</sup> Vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 63-64.

<sup>264</sup> Vgl. Lees, Parachutes, 1920, S. 294; vgl. Flight, 1928, S. 882-890.

---

Mit ansteigendem gewerblichen Verkehr und immer größer und schneller werdenden Flugzeugen veränderte sich auch der soziale Status der Piloten in der Gesellschaft. Die Öffentlichkeit sah in den Piloten teils patriotische Helden, teils schlichte Fahrer von Verkehrsfahrzeugen. Aus der Geschichte der Hillman's Airways geht hervor, dass Edward Hillman keinen Unterschied zwischen seinen Piloten und den Fahrern seiner Busse sah. Hillman beherzigte keine populären und romantischen Ideen über die Erfahrung, Fähigkeiten und Initiative die Piloten brauchen. Für ihn waren Piloten gleichzusetzen mit Fahrern und wurden auch so behandelt.<sup>265</sup>

Gerade die majestätischen Kapitäne und Copiloten der Imperial Airways mussten sich kleinlichen Aktionen ihres Managements unterwerfen. Zum Beispiel war es den Stewards nicht erlaubt, den Piloten Erfrischungen zu bringen. Die Kluft zwischen den Piloten und der Geschäftsführung stimmte mit der Kluft zwischen vielen Flugzeugkapitänen und den anderen Besatzungsmitgliedern überein. Viele Funker verstummten plötzlich, wenn es darum ging, dem Flugkapitän Informationen oder Anweisungen zu übermitteln. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn es sich um Probleme handelte. Auch eine schriftliche Information vom Funker an den Kapitän wurde häufig nicht zur Kenntnis genommen.<sup>266</sup>

Die Spannungen in den Hierarchien zwischen Kapitänen, Copiloten und anderen Besatzungsmitgliedern führten unweigerlich zu Problemen im gesamten Flugbetrieb. So ist es zum Beispiel bis heute unabkömmlich, dass die Flugbesatzung die Abläufe im Cockpit hinterfragen muss. Ebenso müssen von jedem Besatzungsmitglied Empfehlungen ausgesprochen werden können, um einen Sicherheitsgewinn erzielen zu können,<sup>267</sup> denn mangelnde Teamfähigkeit oder gar Kritikunfähigkeit führen seit je her zu schweren Unfällen im Flugverkehr.

---

<sup>265</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 66-67.

<sup>266</sup> Vgl. *Flight*, 1938, S. 260-266; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 67; Zum Umgang mit Technologie durch unterschiedliche Nutzer siehe auch Oudshoorns & Pinch, *How Users Matter*, 2003, S. 2-4; vgl. Zachmann, *Technik, Konsum und Geschlecht – Nutzer/innen als Akteur/innen in Technisierungsprozessen*, 2008, S. 78ff.; vgl. Helmreich & Sexton, *Group Interaction under Threat and High Workload*, 2004, S. 9-24.

<sup>267</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 122; vgl. Dietrich, *Determinants of Effective Communication*, 2004, S. 185-206.

---

In den 1920er und 1930er Jahren bildete sich die erst allmählich Anschauung heraus, dass der Flugkapitän Teil eines Teams ist, der aber immer noch die Gesamtverantwortung für das Flugzeug und die Besatzung trägt und folglich auch die finale Entscheidungsgewalt hat. Das Bewusstsein für ein Teamverhalten und der darauf basierenden Kommunikation untereinander war noch nicht ausgeprägt, und es sollte noch bis in die 1950er Jahre - und teils darüber hinaus - dauern, bis sich dieses festigte.<sup>268</sup>

Ein Rückblick auf die vielen unterschiedlichen Cockpits, die seit 1903 entwickelt, konstruiert oder auch wieder verworfen wurden, vermittelt umfassende Eindrücke von Lücken in der Standardisierung. Während der ersten 40 Jahre der Cockpitentwicklung existierte eine hohe technologische Offenheit. Jedes Entwicklerteam musste mit vielen widersprüchlichen Optionen kämpfen. Diese beinhalteten unter anderem die Frage, ob ein existierendes Instrumentenbrett, dessen Aufteilung oder die Ausrüstung weiter verwendet werden soll, oder man mit einem leeren Blatt Papier beginnt und einen vollkommen neuen Entwurf erstellt. Gewöhnlich war aber ein Kompromiss notwendig, um Vorhandenes mit Neuem zu kombinieren.<sup>269</sup>

Die Flugzeugentwicklungsbüros hatten keine einheitliche Haltung bei der Berücksichtigung von körperlichen Bedürfnissen oder Leistungsgrenzen der Piloten. Selbst wenn ein Entwicklungsteam die Punkte Pilotenanforderungen und Pilotenprobleme auf ihre Aufgabenlisten setzte, wurde der Entwicklungsprozess häufig von Intuition und trial and error dominiert, obwohl jedes Entwicklungsbüro sowie die Zulassungsbehörden über die Expertise erfahrener Testpiloten verfügten. Die von den Konstruktionsbüros angestellten Testpiloten erhielten ihre Anstellung aufgrund ihrer Erfahrungen und ihrer Fähigkeiten. Ihre Qualitäten lagen meist über denen eines durchschnittlichen Piloten, sodass sie mit Mängeln in der Konstruktion leichter fertig wurden und diese damit in der Entwicklung nicht weiter auffielen. Vieles was sich später in der Praxis als Entwicklungsfehler oder Konstruktionsmangel herausstellte, wurde von den Testpiloten als nicht erwähnenswert eingestuft und oft nicht weiter beachtet. So hatten zum Beispiel die Linienpiloten Probleme, die Seitensteuerung mit dem Fußknöchel zu bedienen.

---

<sup>268</sup> Vgl. Mosier, *The Human in Flight: From Kinesthetic Sense to Cognitive Sensibility*, 2010, S. 147-172; vgl. Helmreich & Sexton, *Group Interaction*, 2004, S. 9-24.

<sup>269</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 67; vgl. Giesa, *Mensch-Maschine-Systeme*, 2003, S. 40-75; vgl. Abbott, *Human Factors*, 2001, Kap. 9.2.2.

---

Besonders erschwert wurden solche Bedienproblematiken noch durch äußere Umstände wie bei einem Triebwerksfehler bei Dunkelheit und unter voller Beladung.<sup>270</sup>

Piloten waren stolz darauf, schwierige Situationen bewältigt zu haben. Meist standen diese im direkten Kontext mit dem Wetter. Erfahrene Piloten hatten gelernt, das Wettergeschehen zu interpretieren und bestimmte Erscheinungen zu umfliegen. Sie aber verließen oft das Flugzeug nach einer komplizierten Landung oder einem schwierigen Flug und vergaßen die Defizite des Cockpitdesigns, die teilweise für die vorausgegangenen Problematiken mit verantwortlich waren, zu benennen. In Diskussionen mit anderen Piloten jedoch wurden die Vorzüge und Nachteile des eigenen Flugzeugmusters gerne diskutiert.<sup>271</sup>

Diese Beispiele zeigen auf, dass es eine recht große Lücke zwischen den aktiven Linienpiloten und den von Entwicklern und Konstrukteuren „erwarteten“ Piloten bestand.<sup>272</sup> Jedoch hat sich seit diesen Tagen die Praxis der Cockpitentwicklung verändert. Die Linienpiloten werden heute in den Prozess der Entwicklung vom zeichnerischen Entwurf an mit einbezogen. Ebenso entwickelten sich Konzepte für die Zusammenarbeit im Cockpit.

## *Geld und Sicherheit*

Ein fundamentaler Faktor in der Beziehung zwischen zivilen Piloten und der Flugzeuggestaltung in den 1930er Jahren, und in einigen Bereichen bis in die 1950er Jahre hinein, war die Arbeitsmarktsituation in der Luftfahrt. Sie war im Vergleich zu den 1920er Jahren unterschiedlich. Die Piloten, die sich für eine Karriere als ziviler Flugzeugführer aufgrund der Liebe zur Fliegerei entschieden hatten, wollten häufig nicht sehr viel am Flugzeugdesign aussetzen, oder machten Mängel nicht publik. Obwohl die Profession der Piloten in der Gesellschaft als sehr glamourös erschien, arbeiteten

---

<sup>270</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burdens*, 1994, S. 54; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 68; Erfahrung von Testpiloten siehe z.B. *Flight*, 1934, S. 914-915 sowie *Flight*, 1929, S. 418; vgl. Hallion, *Test Pilots: The Frontiersmen of Flight*, 1988.

<sup>271</sup> Vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 11-14; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 68.

<sup>272</sup> Siehe dazu auch Zachmann, *Technik, Konsum und Geschlecht – Nutzer/innen als Akteur/innen in Technisierungsprozessen*, 2008, S. 72ff. Zum Thema „realer“ und „erwarteter“ Nutzer von technischen Systemen siehe auch Akrich, *The De-Description of Technical Objects*, 1992, S. 209-211.

---

diese häufig für geringen Lohn bei geringer Arbeitsplatzsicherheit. Dies war der finanziellen Situation vieler Luftfahrzeugbetreiber in den 1930er Jahren geschuldet, die von ihren Geldgebern abhängig waren. Für die zivile Luftfahrt war es ein langer Weg, um in den Augen der Gesellschaft ein akzeptiertes und gleichzeitig unbestrittenes Transportmittel zu werden. Die Luftfahrtunfälle, die nie auszuschließen waren, wurden oft in den Schlagzeilen der Medien angeführt und führten zu negativen Reaktionen der Gesellschaft.<sup>273</sup>

Obwohl es bis 1938 viele Verbesserungen der Flugzeuge samt ihrer Instrumentierung gab, beherrschten nur wenige Piloten den Flug nach Instrumenten beziehungsweise waren überhaupt darin ausgebildet. Beide, zivile und militärische Piloten, zogen es vor, unterhalb der Wolkendecke zu fliegen, anstatt diese zu durchfliegen und den Sinkflug nur mit Instrumentenreferenzen durchzuführen. Trotz technischer Verbesserungen kam es bis zum Zweiten Weltkrieg in Großbritannien im zivilen Flugverkehr zu zahlreichen Unfällen bei dem Versuch, den Flug trotz sich verschlechternder Flugsicht fortzusetzen. Obwohl viele Piloten es vermieden, sich nur auf die Instrumente zu verlassen, wurde jedoch in wachsendem Maße erkannt, dass der Instrumentenflug die Zukunft des Luftverkehrs waren. Die Ausbildung war recht aufwendig, und der Ausbildungskern bestand darin, den Piloten zu vermitteln, sich nicht mehr auf ihr Gefühl zu verlassen, sondern ihre Entscheidungen nur aufgrund der Instrumentenanzeigen zu treffen.<sup>274</sup>

Die vielleicht größte signifikante Änderung in der Cockpitinstrumentierung Mitte der 1930er Jahre war die Zusammenfassung der Triebwerksinstrumente direkt vor dem Piloten oder auf einem separaten Instrumentenbrett für den Flugingenieur. Wie bereits aufgezeigt, bildete sich schon früh die Praxis heraus, die Triebwerksinstrumente direkt an den Triebwerksgondeln zu platzieren. Es dauerte einige Jahre, bis entsprechende Fernübertragungsmechaniken oder elektrische Geräte für diesen Zweck entwickelt und gebaut wurden. Die Piloten von dreimotorigen Flugzeugen waren dabei im Vorteil, da sie als Referenz die Anzeige des mittleren Triebwerks nutzen konnten. Allerdings waren auch sie bei Nachtflügen auf Taschenlampen angewiesen, um den Zustand der

---

<sup>273</sup> Vgl. Rieger, *Technology and Culture*, 2005, S. 71-85, 276ff.; vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 111-112; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 11ff.

<sup>274</sup> Vgl. *Flight*, 1938, S. 235-237; vgl. Baldwin, *Training of Pilots and Instructors*, 1932, S. 474-475; vgl. Dalbro, *Instrument Flying "Ab Initio"*, 1936, S. 52-53.

Außenbordmotoren zu prüfen. Spätestens mit Beginn der Ära viermotoriger Flugzeuge musste sich über die Fernübertragung von Triebwerksanzeigen ernsthaft Gedanken gemacht werden. Allerdings war eine solche Technologie teurer und störungsanfälliger als eine direkte Ablesung am Triebwerk selbst.<sup>275</sup>

In der Ära der schweren Kolbentriebwerke mit kurzen Abgasendrohren und dünnwandigen Passagierkabinen wurden das Hörvermögen der Passagiere stark belastet. Instrumente oder Systeme zur Synchronisation der Triebwerke existierten 1930 noch nicht. Dadurch wurde zum Beispiel auf der Innenseite der Triebwerksgondeln bei einigen Ju 52 ein kleiner Spiegel installiert, sodass der Pilot die Möglichkeit hatte, die beiden äußeren Propeller gleichzeitig zu sehen. Für die Drehzahlsynchronisierung wurde der Stroboskopeffekt ausgenutzt, um die äußeren Triebwerke mit dem mittleren Triebwerk abzugleichen.

## *Zwei-Piloten Besatzungen*

Nur in den kleineren Flugzeugen setzte sich das Zwei-Piloten-Cockpit ab 1935 als Standard durch. Das zweite Flugbesatzungsmitglied war nicht immer zwangsläufig ein Pilot. Die meiste Zeit verbrachte die zweite Person damit, als Funker, Flugingenieur oder Flugbegleiter zu agieren. Beispielhaft für den Status des zweiten Piloten ist eine zeitgenössische Beschreibung der AW Atlanta von 1932:

*„... those [instruments] which require constant observation are placed at the port (sic) end under the eyes of the chief pilot while those which need less frequent reading are in front ... of the second pilot.“<sup>276</sup>*

In gewisser Hinsicht war dies ein ungenauer Kommentar, da er suggeriert, dass die Triebwerksinstrumente weniger häufig zu beobachten wären und der zweite Pilot entsprechend weniger belastet würde. Dies war aber 1932 nicht der Fall, denn in einem Kommentar der Zeitschrift *Flight* aus 1935 wird darauf hingewiesen, dass der zweite Pilot besonders für die Durchführung von Instrumentenflügen notwendig sei.<sup>277</sup> Dies

---

<sup>275</sup> Vgl. *Flight*, 1931, S. 49, vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 112; siehe auch Giesa, *Mensch-Maschine-Systeme*, 2003; vgl. Coombs, *Das Cockpit*, 1993, S. 50-55; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101-104.

<sup>276</sup> Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 109.

<sup>277</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 109.

---

sollte nicht nur ein Ausbildungsschwerpunkt sein, sondern damit auch dem Passagier die Bereitstellung des zweiten Piloten im Cockpit erklärt werden.<sup>278</sup>

Viele zivile Piloten erwarben sehr häufig aufgrund ihrer Erfahrung die persönliche Eigenschaft, im Cockpit als Mittelpunkt zu agieren. Sie lehnten Hilfe oder entsprechende Arbeitsentlastung kategorisch ab. Diese Eigenschaften machten das Zusammenarbeiten in einer Flugbesatzung von mindestens zwei Personen schwierig. Begründet könnte ein solches Verhalten durch die Tatsache sein, dass besonders die erfahrenen Piloten um 1935 gewohnt waren, alleine zu fliegen. Sie mussten sich neben der Flugsteuerung auch vollständig selbstständig um die Navigation kümmern, inklusive besonderer Identifizierungspunkte und Anflugverfahren.<sup>279</sup>

Als Langstreckennavigationsverfahren wurden bis circa 1930 grundsätzlich die Koppelnavigationsverfahren angewendet. Nur wenn ein Navigator an Bord war, wurden auch Sextanten verwendet, um entsprechende Fixpositionen mit Hilfe von Sternen oder der Sonne zu ermitteln. Kommerzielle Flugrouten führten häufig durch Gebirge, wo die Gipfelhöhe der Berge oft größer war als die maximale Flughöhe der Flugzeuge. Gelegentlich waren die Gegenwinde so stark, dass es für den Passagier so aussah, als käme man zu Fuß schneller voran. In den USA, wo ab den 1930er Jahren die Funknavigation entsprechend ausgebaut und verwendet wurde, wurde auf Boden basierende Funkpeilsysteme vertraut. Die Übermittlungen der Flugzeuge wurden genutzt, um die entsprechende Position am Boden aufzuzeichnen. Auch in Europa folgte dann der Auf- und Ausbau von Funknavigationsstrecken.<sup>280</sup>

---

<sup>278</sup> Vgl. Flight, 1935, S. 425.

<sup>279</sup> Vgl. Giesa, Mensch-Maschine-Systeme, 2003, S. 40-75.

<sup>280</sup> Vgl. Collins, 1933, S. 1221-1222; vgl. Sinclair, 1933, S. 1223-1224; vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 63-64; vgl. Dierikx, Clipping the Clouds, 2008, S. 1-2, 26-28.

---

## Der Flug nach Instrumenten

Der Flug nach Instrumenten bildete wohl den entscheidendsten Technologiewechsel in der Entwicklung der gewerblichen Luftfahrt. Das Flugzeug musste, so wie die anderen Verkehrsmittel auch, weitestgehend unabhängig vom Wetter werden. Im Folgenden werden die Versuche und Entwicklungen dargestellt sowie die Wege aufgezeichnet, einen sicheren Instrumentenflug bei unterschiedlichen Wetterlagen zu ermöglichen. Auch auf die körperlichen und physischen Belastungen des Piloten wird eingegangen. Es gilt dabei die Frage zu beantworten, welche Anforderungen an die Piloten gestellt wurden.

### *Streckennavigation ohne Sicht – Die Funkpeilung*

Über mindestens 3000 Jahre navigierten Seefahrer anhand von Leuchtfuern. Als 1919 der kommerzielle Luftverkehr in Europa begann, war das bevorzugte Navigationsverfahren dagegen das Folgen von Eisenbahntrassen. Dieses Verfahren wurde auch als fliegen nach dem „Eisernen Kompass“ bezeichnet. Anfangs waren nur recht wenige Flugzeuge mit Funkgeräten ausgestattet. Die Streckenführung, sowie die Verkehrsregelung, blieb den Piloten und derer Autonomie überlassen. Besonders brisant waren diese Aufgaben bei schlechten Wetterverhältnissen.<sup>281</sup> Als am 1. Juli 1924 in den USA die erste transkontinentale Postflugverbindung startete, bewies sich ein weiteres Mal, dass bei schlechtem Wetter oft hohe Ansprüche an die Piloten gestellt wurden. Die einzigen Navigationshilfen waren Leuchtfeuer, die in den ersten zwei Jahren oft erst dann entzündet wurden, wenn sich ein Flugzeug näherte oder erwartet wurde. Die Flugzeuge waren bereits mit Magnetkompassen ausgestattet und die Piloten ausgebildet, einen Kurs auf einer Karte zu verfolgen und entsprechende Anzeigeabweichungen zu berücksichtigen. Einige waren sogar in astronomischer Navigation ausgebildet oder hatten zumindest fundierte Kenntnisse davon. Die Handhabung eines Sex-

---

<sup>281</sup> Vgl. Gunston, Avionics, 1990, S. 46; vgl. Flight, 1933, S. 1180-1181; vgl. Mosier, The Human in Flight, 2010, S. 149.



---

tanten war aber besonders bei böigen Wetterlagen oder von Wolken bedecktem Himmel äußerst problematisch beziehungsweise unmöglich. Dieses Verfahren konnte sich somit nicht als Standard durchsetzen.<sup>282</sup>

Das erste öffentliche bzw. für die zivile Luftfahrt zugängliche elektronische Navigationsgerät war die Funkpeilung mit Hilfe einer Rahmenantenne (Peilantenne). In umgekehrter Form wurde dieses Verfahren bereits von deutschen Zeppelinregimenten regelmäßig bei Angriffen auf Großbritannien verwendet. In diesem Fall sendete das Luftschiff einen Morsecode, der von drei oder mehreren Bodenstationen empfangen wurde. Die Bodenstationen sendeten dann dem Luftschiff die Richtung, aus der das Signal empfangen wurde, zurück, indem sie die Antennen so drehten, dass eine maximale Signalstärke empfangen wurde. Durch diese Kreuzpeilung konnte die Besatzung einen möglichst kleinen Bereich auf der Karte bestimmen, in dem sich das Luftschiff befand.<sup>283</sup>

Ab 1919 fanden Versuche mit Flugzeugantennen statt, die es ermöglichen sollten, die Richtung eines empfangenen Signals eindeutig festzustellen. Es dauerte aber bis 1928, ehe für die Praxis anwendbare Geräte entwickelt waren und eine Marktreife erreicht werden konnte. Ab 1935 hatten die benötigten Antennen eine so kleine Bauform erreicht, dass sie in einer kleinen eichelförmigen Abdeckung am Flugzeug untergebracht werden konnten. Da Funkwellen dem Verlauf von Orthodromen folgen, waren diese zur Positionsbestimmung gut geeignet. Um schnell die Position des Flugzeugs auf der Karte bestimmen zu können, wurden in zügiger Abfolge bekannte Bodensender angepeilt und der Kreuzungspunkt auf der Karte bestimmt.<sup>284</sup>

Das zentrale Problem der frühen Funkpeilung war der Nachteffekt. In der Nacht werden wesentlich mehr Funkwellen von der Ionosphäre reflektiert, sodass diese dann von oben auf die Empfangsantenne auftreffen und ein Signal empfangen wird, obwohl

---

<sup>282</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 46; vgl. *Flight*, 1932, S. 922; vgl. *Flight*, 1923, S. 688-689; vgl. Chichester, *A Square Deal for the Navigator*, 1939, S. 201-202; vgl. *Flight*, 1924, S. 574-575; vgl. Spence, *Astronomical Navigation*, 1938; vgl. Jordanoff, *Instrument Flying*, 1938, S. 325-337.

<sup>283</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 46; vgl. Anderson, *Navigational Equipment*, 1978, S. 841-842.

<sup>284</sup> Vgl. ebd. S. 46.

---

dieses eigentlich null sein sollte. Die Bodenstationen verwendeten für die Signalsendung eine komplexe Form der Adcock-Antenne.<sup>285</sup> Es dauerte bis in den späten Zweiten Weltkrieg hinein, ehe diese Fehlermeldungen durch verbesserte Antennenbauformen virtuell eliminiert wurden. In einem Artikel der englischen Zeitschrift *Flight* hatte Guglielmo Marconi die Lösung des Nachteffekts-Problems allerdings schon 1932 publiziert. Das britische Luftfahrtministerium führte umfassende Tests und Untersuchungen durch und war mit dem Ergebnis zufrieden.<sup>286</sup> Es scheint denkbar, dass sich das Marconi-System aufgrund der umfangreichen Bodenanlagen, die im wesentlichen aus vier 70 ft hohen hölzernen Türmen bestanden, nicht durchgesetzt hat.

Die Radio-Funkpeilung war die früheste Funknavigationshilfe. Bereits im Jahr 1907 erhielt Otto Scheller, der bei Lorenz angestellt war, ein Patent für ein Funkfeuer mit zwei gekreuzten Leitstrahlen. Es war ein auf sich rechtwinklig kreuzenden grundlinienvertikales, gegenphasig gespeistes Strahlenpaar vorgesehen. Adcock schlug dieses Verfahren 1919 für Peilzwecke vor, doch die Ideen Schellers wurden erst 1928 bei der Entwicklung der „Range“-Stationen wieder aufgegriffen.<sup>287</sup>

Die Radio Funkpeilung war nahezu allwettertauglich. Eines der größten Vorteile war, das es dem Piloten möglich war, eine Bodenstation direkt anzupeilen und diese auf direktem Weg anzufliegen. Dieses Verfahren wird als „Homing“ bezeichnet. Nach Erreichen der Bodenstation war es direkt möglich, die nächste Bodenstation anzupeilen und anzufliegen. So entstand die Idee der so genannten „Luftstraßen“.<sup>288</sup>

Je näher man den Bodenstationen kam, desto mehr Funkwellen wurden nicht horizontal, sondern von unten von der Antenne aufgenommen. So verschwand die exakte Position der Bodenstation bzw. das empfangene Signal, sofern man sich nicht in einer geringen Flughöhe befand. Dieser und andere Gründe motivierte zur Schaffung verbesserter Methoden zum Verfolgen der festgelegten „Luftstraßen“. Die Anzahl der „Luftstraßen“ wuchs ab 1920 schnell an. Ab 1925 begann in den USA die Arbeit an

---

<sup>285</sup> Zur Funktionsweise des Adcock-Peilers siehe Kramar, *Funksysteme für Ortung und Navigation und ihre Anwendung in der Verkehrssicherheit*, 1973, S. 61-62.

<sup>286</sup> Vgl. *Flight*, 1932, S. 154-155; vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 46-47.

<sup>287</sup> Vgl. Trenkle, *Bordfunkgeräte*, 1986, S. 97; vgl. Anderson, *Navigational Equipment*, 1978, S. 841-842.

<sup>288</sup> Vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 47.

---

Drehfunkfeuern,<sup>289</sup> welche als „Radio Range“ bezeichnet werden.<sup>290</sup> Dieses System wurde 1927 von Dunmore & Engel patentiert.<sup>291</sup>

Jeder Sender einer „Range“-Station versorgte zwei Paare Antennentürme, wobei sich jedes Paar in gegenüberliegenden Ecken einer ungefähr quadratischen Grundfläche befand. Ein Paar der Türme sendet das konstante Morse-Signal A und das andere Paar das Morse-Signal N. Die Morsebuchstaben A und N zeichnen sich dadurch aus, dass sie jeweils nur aus zwei Signalen bestehen und zudem komplementär zu einander sind. Das A entspricht einem kurzen und einem langen Signal (• –), das N aus einem langen und einem kurzen Signal (– •). Bei der Überschneidung der Signale entsteht für den Piloten ein durchgehender Ton, der ihm bestätigt, sich exakt auf dem Leitstrahl zu befinden. Bei einer geringen Abweichung nach rechts oder links wurde dann der monotone Ton mit dem Morse-Signal A oder N überlagert. Das Ergebnis war ein Satz von 4 eng verlaufenden Strahlen, die sich wie dünne Wände über eine Distanz von mehr als 150 km linear ausbreiteten. Die Richtung dieser Leitstrahlen konnte durch unterschiedliche Sendeleistungen der Türme variiert werden. Der Pilot konnte anhand seiner Kopfhörer dem Leitstrahl bis zur Sendestation folgen. Über der Sendestation war kein Signal mehr zu hören. Nach dem Überflug war es dann möglich, auf einem Leitstrahl von der Station weg zu fliegen, bis die nächste Station in Reichweite war, auf die man zufliegen konnte. In vielerlei Hinsicht war dieses Leitstrahlverfahren ein sehr gutes Allwetter-Navigationssystem. Allerdings zwang dieses Verfahren Piloten dazu, teilweise überfüllten „Luftstraßen“ zu folgen und den ganzen Tag A und N Morse-Signale zu hören.<sup>292</sup> Ein weiteres Problem bestand darin, dass, wenn der Pilot zum Beispiel nur ein A-Signal empfing, er nicht anhand des Signals die Richtung zum Funkfeuer ausmachen konnte, denn er konnte sich in einem von zwei gegenüberliegenden

---

<sup>289</sup> Die ersten Drehfunkfeuer wurden auch als „Vierkurs“-Funkfeuer bezeichnet. Siehe dazu auch Frank, 1957, Flugwelt Heft 3, S. 184-187.

<sup>290</sup> Vgl. Gunston, Avionics, 1990, S. 47.

<sup>291</sup> Vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 61-63.

<sup>292</sup> Vgl. Gunston, Avionics, 1990, S. 32; ebd. S. 47-49; vgl. Flugwelt-Verlag, 1957, S. 184-187; vgl. Jordanoff, Instrument Flying, 1938, S. 278-302; vgl. Conway, Blind Landings, 2006, S. 59-66; vgl. Conway, Blind Landings, 2006, S. 57-60; vgl. Dailey, Instrument Flight, 2004, S. 76, 112-115; vgl. Wilson, Avionik, 1993, S. 12ff.

Quadranten befinden (s. Abbildung 4).<sup>293</sup> Zur Positionsbestimmung mussten also noch weitere Referenzen hinzugezogen werden.

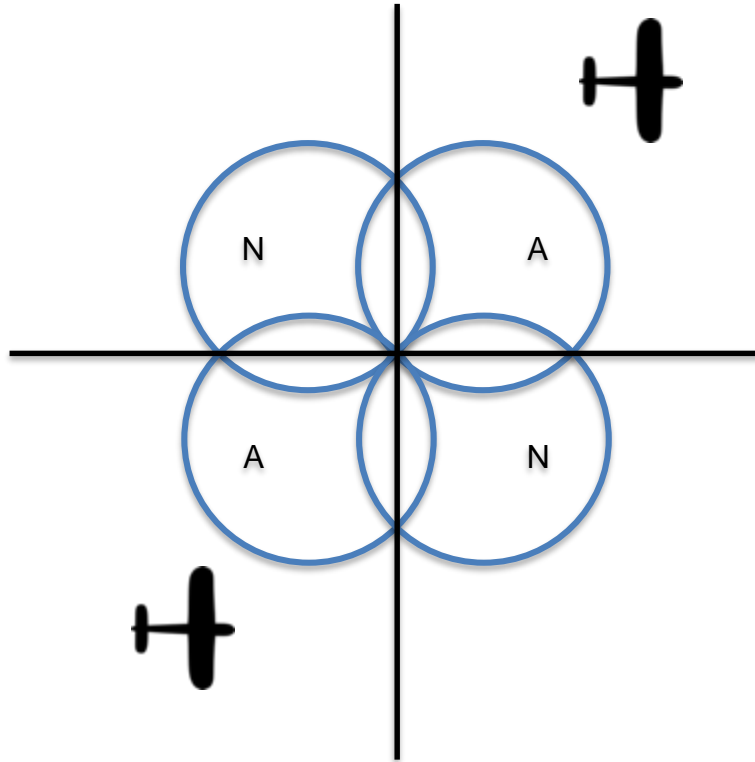


Abbildung 4: Radiation Pattern (Quelle: Autor)

Weiterhin war das Signal der „Range“-Stationen nicht immer klar verständlich. Besonders bei Regen und Schnee wurden die Signale teilweise so stark gestört, dass sie nicht mehr klar empfangen werden konnten.<sup>294</sup>

Redundante Navigationssysteme waren besonders in schwierigem Gelände wie zum Beispiel Gebirgen sehr wichtig. Nahezu die Hälfte der Flugunfälle zwischen 1935 und 1939 standen in unmittelbarem Zusammenhang mit schlechter oder unpräziser Navigation. Viele Unfälle basierten auf Vereisung von Triebwerken, Propellern und Tragflächen beim Flug nach Instrumenten in den Wolken. Nach dem Verlassen der Wolken und anschließendem Weiterflug unter Sichtflugbedingungen oder gegebenenfalls bei

<sup>293</sup> Siehe dazu Bulletin Nr. 3 des U.S. Department of Commerce, 1949, S. 1-2; vgl. Deutsche Luftwacht, 1936, S. 336-337; siehe auch Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 61-63; vgl. Conway, Blind Landings, 2006, S. 57-60.

<sup>294</sup> Vgl. Buck, The pilot's burden, 1994, S. 13.

---

der Notlandung konnte das Gebiet, in dem man sich nun befand, nicht eindeutig identifiziert werden. Bei einem weiteren klassischen Fall, der besonders in den USA vorkam, folgte der Pilot oder Navigator einem Funksignal, das von einem Gebirge reflektiert wurde. Dies führte häufig zu einer Kollision mit Totalverlust, wenn sich der Navigator oder der Pilot nur auf das neue Funknavigationsverfahren verlassen hatte. Die British Airways Navigation School vermittelte ihren Schülern, nach Möglichkeit immer mehrere Navigationsverfahren anzuwenden und alle 30 Minuten die entsprechenden Angaben zu vergleichen.<sup>295</sup>

Um 1930 gab es 50 „Range“-Stationen in den USA. Bis 1940 war ihre Zahl bis auf 270 Stationen angestiegen, während in Europe erst einige wenige vorhanden waren. Durch eine Modifikation wurde der Stressfaktor des ständigen Abhörens monotoner Töne oder Morse-Signale durch das „Aural-Range“-System ersetzt. Dieses System ist ein Instrument im Instrumentenbrett des Cockpits, das die rechts/links-Signale anhand von vibrierenden Zungen optisch anzeigte. 1938 führte dieses System durch entsprechende Weiterentwicklungen zu dem VAR<sup>296</sup>-Instrument, welches die Abweichungen vom Leitstrahl anhand einer Nadel im Instrument anzeigte. Solche Verbesserungen erhöhten die Lebensdauer eines funktionstechnisch doch sehr eingeschränkten Systems, welches wie sein Vorgänger auch Störungen durch die Atmosphäre unterlag. Dennoch war das „Radio Range“-System bei seiner Einführung äußerst wertvoll.<sup>297</sup> Ein bekannter Vertreter dieser Geräteart war das „Lear-O-Scope“ der Firma Lear Incorporate. Lear Incorporate gelang es, sich mit diesem Gerät auf dem Markt für Funknavigationsinstrumente zu etablieren. Es folgte in den kommenden Jahren eine ganze Produktfamilie, die auf „Lear-O-Scope“ basierte.<sup>298</sup>

---

<sup>295</sup> Vgl. Chichester, Navigation - Fourth Rate - First Class?, 1939, S. 54-56.

<sup>296</sup> Visual Aural Range

<sup>297</sup> Vgl. Gunston, Avionics, 1990, S. 49; vgl. Civil Aeronautics Administration, 1949, S. 1; vgl. Wilson, Avionik, 1993, S. 12ff.

<sup>298</sup> Aus der Entwicklungsgeschichte von Lear Incorporated (Broschüre vom September 1959); vgl. Buck, The pilot's burden, 1994, S. 15.

---

## *Nacht, Wolken und Nebel*

In den Anfangsjahren, als keine oder nur wenige Instrumente verfügbar waren, unterschied sich die Luftfahrt, wie teilweise bereits dargestellt, nicht von den herkömmlichen Transportwesen wie Schifffahrt, Straßen- oder Eisenbahnverkehr. Außerhalb von Sichtwetterbedingungen waren die Piloten abhängig von einer Mischung zwischen Airmanship<sup>299</sup> und Erfahrung. Aber auch diese beiden Eigenschaften schützten die Piloten nicht davor, bei Nacht oder in einer Wolke die Orientierung zu verlieren. Die Leistungssteigerung der Flugzeuge erforderte zeitgleich eine Weiterentwicklung der Instrumentierung. So verlangten zum Beispiel höhere Fluggeschwindigkeiten und größere Flughöhen andere Sensoren. Die Instrumentenentwicklung verlief somit parallel zu anderen Entwicklungen am Flugzeug, da jeglicher Fortschritt in der Leistungssteigerung und Nutzbarkeit ebenso eine neue Form der Instrumentierung erforderte. Auch größere Flughöhen verlangten weiter entwickelte Höhenmesser, und höhere Fluggeschwindigkeiten erforderten verbesserte Fahrtmesser. Als das Flugzeug in seiner Leistung und seinem Nutzen die anderen Fahrzeuge überholt hatte, mussten die Piloten für die volle Ausnutzung der Flugzeugfähigkeiten entsprechend bessere Instrumente zur Verfügung gestellt bekommen. Aber der zugehörige Umgang mit den Instrumenten musste erst einmal erlernt, und es mussten standardisierte Verfahren geschaffen werden. Viele Unfälle im gebirgigen Gelände wurden zwar aufgrund navigatorischer Fehler hervorgerufen, doch besonders im Blindflug galt es, auch die Höhenmessereinstellung entsprechend anzupassen.<sup>300</sup>

Die Instrumentenentwicklung vor 1914 verlief verglichen mit der Entwicklung von Strukturen und Triebwerken vergleichsweise langsam. Nach einem zögerlichen Start war Mitte 1915 die Militärluftfahrt etabliert, und die Instrumente wurden in größerer Anzahl und besserer Qualität produziert, um den steigenden Anforderungen in Leistungsfähigkeit und Vielseitigkeit der kriegführenden Nationen gerecht zu werden. In

---

<sup>299</sup> Airmanship ist die konsequente Nutzung von gutem Urteilsvermögen und gut entwickelten Fähigkeiten um fliegerische Ziele zu erreichen. Dazu gehören eine kompromisslose Flugdisziplin, systematische Fähigkeitsentwicklung und in Übung sein und bleiben (Proficiency). Siehe dazu Kern, *Redefining Airmanship*, 1997; siehe auch Gibbs-Smith, *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*, 1974, S. 12-13; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 58.

<sup>300</sup> Vgl. Chichester, *Navigation - Fourth Rate - First Class?*, 1939, S. 54-56; vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 68-69; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 64-71.

---

dieser Phase der Flugzeugentwicklung waren viele Erfinder mit Mechanismen zur Aufnahme eines Gyroskops beschäftigt. Das Gyroskop bildete bisher nur die grundlegende Komponente in den Feuerleitstellen der Marine. Jedoch verlief die Verwendung von Gyroskopen in Flugzeuginstrumenten aus Mangel an geeignetem Material und präzisen Produktionsmitteln gehemmt. Diese Problematik traf auch bei anderen Instrumenten zu. Zum Beispiel musste die Firma Kollsman aus den USA, eine der wichtigsten Unternehmen jener Zeit in der Instrumentenentwicklung und wichtiger Lieferant für Militärs, die Mechanismen für ihre erste Höhenmesserserie aus der Schweiz beziehen.<sup>301</sup>

An den Schulflugzeugen der Royal Air Force wurden in den 1920er Jahren an den äußeren Streben weiße Bänder angebracht. Diese sollten anderen Piloten signalisieren, einen gewissen Abstand zu halten. Gleichzeitig waren die in der Strömung ausgerichteten Bänder auch eine Anzeige für den Strömungsverlauf und konnten somit als Instrument klassifiziert werden.

Es ist nicht möglich, einen stabilen Blindflug ohne Instrumentenreferenz durchzuführen.<sup>302</sup> Die menschlichen Sinne können von offensichtlichen Bewegungen des Flugzeugs getäuscht werden. Die eindeutigste Täuschung entsteht nach dem Beenden eines Kurvenflugs, wobei intuitiv nach dem Ausleiten eine Kurve in die andere Richtung eingeleitet wird. In den 1920er Jahren stand der Instrumentenflug am Beginn seiner Entwicklung. Die Militärs nahmen sich diesem Thema intensiv an, denn sie wussten, Schlachten ließen sich nicht unterbrechen, nur weil die Piloten nicht im Stande waren, den Kurs in den Wolken zu halten oder bei eingeschränkter Sicht zu fliegen. Die Royal Air Force zum Beispiel errichtete deshalb ein Programm zur Untersuchung der Probleme des Instrumentenflugs. Die Probleme der Luftwaffen beim Instrumentenflug wurden noch markanter, wenn in Betracht gezogen wurde, auch den Formationsflug mit geringen Sichten durchzuführen. Dabei ist es bei Tag und in Wolken notwendig, den Abstand der Flügelenden zum benachbarten Flugzeug auf unter 6 m zu reduzieren.<sup>303</sup>

---

<sup>301</sup> Vgl. Flight, 1936, S. 694-698; vgl. Flight, 1935, S. 432-434.

<sup>302</sup> Diverse Tests im Flugsimulator mit ausgefallenen Kreiselinstrumenten führten zu dem Ergebnis, dass die Piloten meist nach wenigen Sekunden eindeutige Kursabweichungen induzierten; vgl. auch Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 64-66; vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 206.

<sup>303</sup> Vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 201-205; vgl. Flight, 1935, S. 432-434; vgl. Baldwin, Training of Pilots and Instructors, 1932, S. 474-475; vgl. Dalbro, Instrument Flying "Ab Initio", 1936, S. 52-

---

Bei Betrachtung des Arbeitsplatzes der Piloten und der Instrumente muss auch William Johnson Erwähnung finden. Als Fluglehrer der Royal Air Force gehörte er zu den wenigen Piloten in den 20er Jahren, die eine gründliche Studie über das Pilotenverhalten bei Blindflügen durchführten. Seine Studie hat offengelegt, dass es auch erfahrenen Piloten nicht möglich war, innerhalb einer Wolke oder ohne Sicht nach außen nicht eine Rollbewegung einzuleiten. Selbst wenn die Piloten die Rollbewegung korrigieren konnten, gerieten sie gleich im Anschluss in eine Rollbewegung in entgegengesetzter Richtung. Die Problematik liegt wesentlich an den wahrgenommenen Beschleunigungen. Wenn der Pilot die Steuerbewegungen zum Beenden der Rollbewegung einleitet, erzeugt der Bogengang im Ohr die Empfindung des Eintretens in eine entgegengesetzte Rollbewegung. Diese Empfindung existiert auch dann noch, wenn die erste Rollbewegung schon beendet ist. Johnsons Recherchen betonten den Nutzen des bereits entwickelten Wendezeigers, der auf einem Gyroskop basiert. Daraufhin wurde der Lehrplan der Royal Air Force Central Flying School dahingehend abgeändert, sich beim Instrumentenflug ausschließlich auf die Interpretation der Instrumente zu konzentrieren. Befand man sich im Blindflug, musste das Fliegen nach Gefühl unterlassen werden.

In den USA wurden ähnliche Studien von William Ocker durchgeführt, ebenfalls mit dem Effekt, dass man Piloten in einen Orientierungsverlust leitete. 1928 entwickelte Ocker einen Simulator, der dazu diente, dem Flugschüler das Vertrauen zu den Instrumenten zu verschaffen und nicht dem fliegerischen Gefühl aufgrund von Beschleunigungseinflüssen zu vertrauen. Den Schülern wurde beigebracht, sich auf die Nadel und die Libelle des Wendezeigers sowie auf den Fahrtmesser zu konzentrieren. Ausgehend von diesen Techniken sowie weiteren Entwicklungen von Ausrüstungen wurden standardisierte Instrumentenflugverfahren entwickelt. Als Übungsgeräte dienten Simulatoren. Diese bestanden aus einem Flugzeugcockpit oder einem Nachbau mit vollständiger Navigations- und Fluglageinstrumentierung. Sie wurden an einem Kontrollpult von einem Lehrer bedient, welcher entsprechende Situationen darstellen konnte. Durch diese Trockenübungen konnte die Ausbildungszeit auf Flugzeugen re-

---

53; vgl. Taylor, *Instrument Flying*, 1935, S. 401-404; vgl. *Flight*, 1931, S. 779-781; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 64-66; vgl. Sperry Gyroscopes Company Limited, 1956, S. 3.



---

duziert werden. In den USA profitierte die zivile Luftfahrt vor dem Militär von der Instrumentenflugausbildung. Spätestens ab 1943 wurde die Instrumentenflugausbildung Bestandteil des Ausbildungsplans amerikanischer Luftfahrtunternehmen.<sup>304</sup>

Ein anderes Konzept, das sich aus dem weltweiten Interesse für die Entwicklung von Blindflugausrüstung und Verfahren ergab, war eine Abdeckung für das Cockpit des Flugschülers. Diese Abdeckung, die 1925 bei der Farman School of Flying in Paris eingesetzt wurde, deckte das Cockpit des Flugschülers vergleichbar mit einem Faltdach für Cabrios ab. Diese Technik wurde auch in England bei der Royal Air Force angewandt. Somit hatte der Flugschüler nur noch Sicht auf seine Instrumente. Im Bedarfsfall konnte dieses Verdeck auch wieder zurückgeklappt werden. Einer der frühesten Versuche eines Instrumentenbretts für den Blindflug kann in der Hawker Tomtit von 1928 gesehen werden, ein Jahr bevor es in den USA James Doolittle gelang, den ersten Flug, einschließlich Start und Landung, ausschließlich mit einer Instrumentenreferenz durchzuführen. Das Royal Air Force Trainingsflugzeug Tomtit war mit einem Reid & Sigrist Instrumentenbrett versehen, das einen Wendezeiger enthielt. Mit dem Wendezeiger war es möglich, perfekt koordinierte und kontrollierte Kurven zu fliegen. Eine perfekt koordinierte Kurve ist eine, bei der das Flugzeug weder in die Kurve hinein- noch herausgeleitet. In einem offenen Cockpit spürt der Pilot bei einer perfekten Kurve an beiden Wangen den gleichen Luftzug. Als die Instrumentenflugausbildung Teil des Ausbildungsprogramms der Royal Air Force wurde, stattete man die Hawker Tomtit Trainingsflugzeuge, wie geschildert, mit einem beweglichen Verdeck für das Schülercockpit aus.<sup>305</sup> Auch in den USA wurde die Abdeckung des Schülercockpits in der Instrumentenflugausbildung angewendet.<sup>306</sup>

---

<sup>304</sup> Vgl. Williams, *Instrument Planning*, 1937, S. 416-417.

<sup>305</sup> Vgl. *Flight*, 1931, S. 779-781; siehe Abbildung in *Flight*, 1929, S. 1181; vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004; S. 32, 100-101.

<sup>306</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 8.

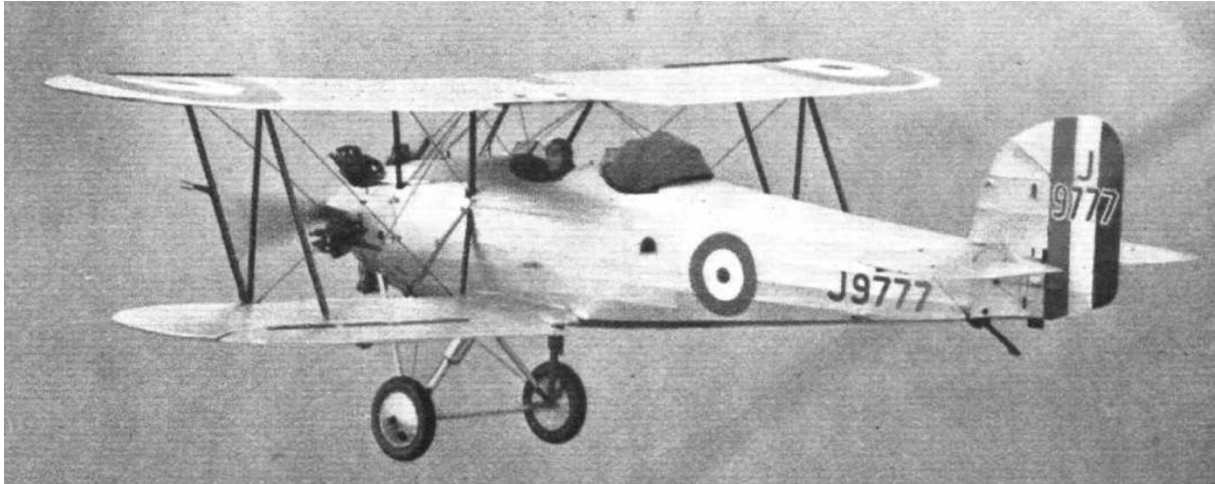


Abbildung 5: Hawker Tomtit (Quelle: Flight, 8. November 1929, S. 1181)

Die Luftfahrtunternehmen erkannten, dass der Flug nach Instrumenten Standard für alle Piloten werden musste und nicht die Fähigkeit oder Ausnahmeleistung einzelner erfahrener Piloten allein. Die Lufthansa führte deshalb schon ab Mitte der 1930er Jahre entsprechende Blindflugkurse für ihre Piloten ein, um ihnen schon frühzeitig die entsprechenden Fähigkeiten zu vermitteln.<sup>307</sup>

Die Ausbildung der Piloten, das Flugzeug ohne Sicht nach Außen sicher zu steuern und zu navigieren, machte sich bezahlt. Sie verlieh den Piloten die Techniken, Wolken sicher zu verlassen. Dennoch blieb ein gewisser Respekt gegenüber den meteorologischen Bedingungen durchweg erhalten. Ein Ausbildungsflug unterschied sich vom reinen Transportflug dadurch, dass ein Fluglehrer an Bord war, der eine gefährliche Situation oder gar eine Bruchlandung rechtzeitig verhindern konnte. Dessen waren sich besonders die Piloten im Nachtflugeinsatz immer bewusst.<sup>308</sup>

---

<sup>307</sup> Vgl. Deutsche Luftwacht, 1936, S. 1.

<sup>308</sup> Vgl. Buck, The pilot's burden, 1994, S. 8.



Abbildung 6: Vickers Victoria (Quelle: Flight, 6. Oktober 1932, S. 934)

### *Die erste Landung nach Instrumenten*

Am 24. September 1929, nur 26 Jahre nach dem historischen Flug der Brüder Wright, startete Leutnant James Doolittle in einer NY-2, einem einmotorigen Doppeldecker, mit einem vollständig abgedeckten Cockpit ohne Sicht nach außen. Doolittle startete das Flugzeug, flog eine 180° Wende und landete das Flugzeug ohne Sicht auf den Horizont oder den Erdboden wieder sicher auf dem Flugplatz Mitchell Field. Sein Cockpit war mit den zu der Zeit fortschrittlichsten Instrumenten ausgestattet. Ein Sicherheitspilot, Leutnant Ben Kelsey, saß während des Flugs bei einer Dauer von 15 Minuten im vorderen Cockpit, ohne in die Steuerung einzugreifen. Speziell hinsichtlich des All-Wetter-Flugbetriebs kann diese Flugleistung von Doolittle als eine historische Zäsur betrachtet werden, ähnlich dem Lindbergh's Transatlantikflug.<sup>309</sup>

---

<sup>309</sup> Vgl. Conway, *Blind Landings*, 2006, S. 60-64; vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 73-77 sowie Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 66-68; vgl. Glines, 1971, S. 14-18; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 816-819.

---

Doolittle war nicht nur einer der führenden Piloten im internationalen Wettbewerb um den Instrumentenflug in den 1920er und 1930er Jahren, er war auch äußerst interessiert an der Thematik des Instrumentenflugs und dem Verlust des Orientierungsvermögens beim Blindflug. Er war davon überzeugt, dass der Schlüssel zur Lösung dieses Problems die kürzlich entwickelten gyroskopischen Instrumente waren. Mit Unterstützung der Familie Guggenheim und der Zusammenarbeit mit Paul Kollsman, dem Entwickler eines sensitiven Höhenmessers, sowie Elmer Sperry, dem Vorreiter der gyroskopischen Instrumente, entwickelte Doolittle Techniken für den Blindflug. Nach mehr als 100 Erprobungsflügen startete er dann an einem Septembertag und demonstrierte einen vollständigen Flug „under the hood“, wie die Cockpitabdeckung genannt wurde.<sup>310</sup>

Doolittle folgte den Anzeigen des Funkpeilgeräts und nutzte die Anzeigen der kürzlich entwickelten Fluginstrumente, um die entsprechende Fluglage sowie eine konstante Sinkrate einzuhalten. Für diese Zeit war speziell diese NY-2 mit mehr Instrumenten ausgestattet als die üblichen Varianten. Zu ihrer Ausstattung gehörten ein Drehzahlmesser, Öltemperatur- und Öldruckmesser, Sperrys gyroskopischer künstlicher Horizont und Kurskreisel, Generatorspannung und -strom, Kompass, Wendezeiger mit Libelle, Fahrtmesser, Standardhöhenmesser, Variometer und einem speziellen Kollsman 0 - 20.000 ft Höhenmesser. Die Instrumente wurden von Kollsmann, Pioneer und Sperry entwickelt.<sup>311</sup>

Das Fliegen nach Instrumenten in Wolken oder bei Nacht war bereits gängige Praxis, die auch bei der Ausbildung den Piloten vermittelt wurde. Die Besonderheit bei diesem Flug lag in der Landung bzw. dem Anflug ohne Sicht auf die Landebahn. Dieser innovative Flug war nach Doolittle´s Aussage nicht perfekt, bildete aber die Basis für eine Vielzahl von Techniken und Verfahren, die bis heute Verwendung finden.

---

<sup>310</sup> Vgl. Spooner, Editorial Comment, 1931, S. 979-980; vgl. Flight, 1930, S. 1226-1227; vgl. Glines, Doolittle´s Instrument First, 1971, S. 14-18; vgl. Smallman, Instrumentation, 1961, S. 26-27; vgl. Conway, Blind Landings, 2006, S. 60-64; vgl. Hallion, Test Pilots, 1988, S. 97-104.

<sup>311</sup> Vgl. Glines, 1971, S. 14-18; vgl. Conway, Blind Landings, 2006, S. 60-64; vgl. Hallion, Test Pilots, 1988, S. 97-104.

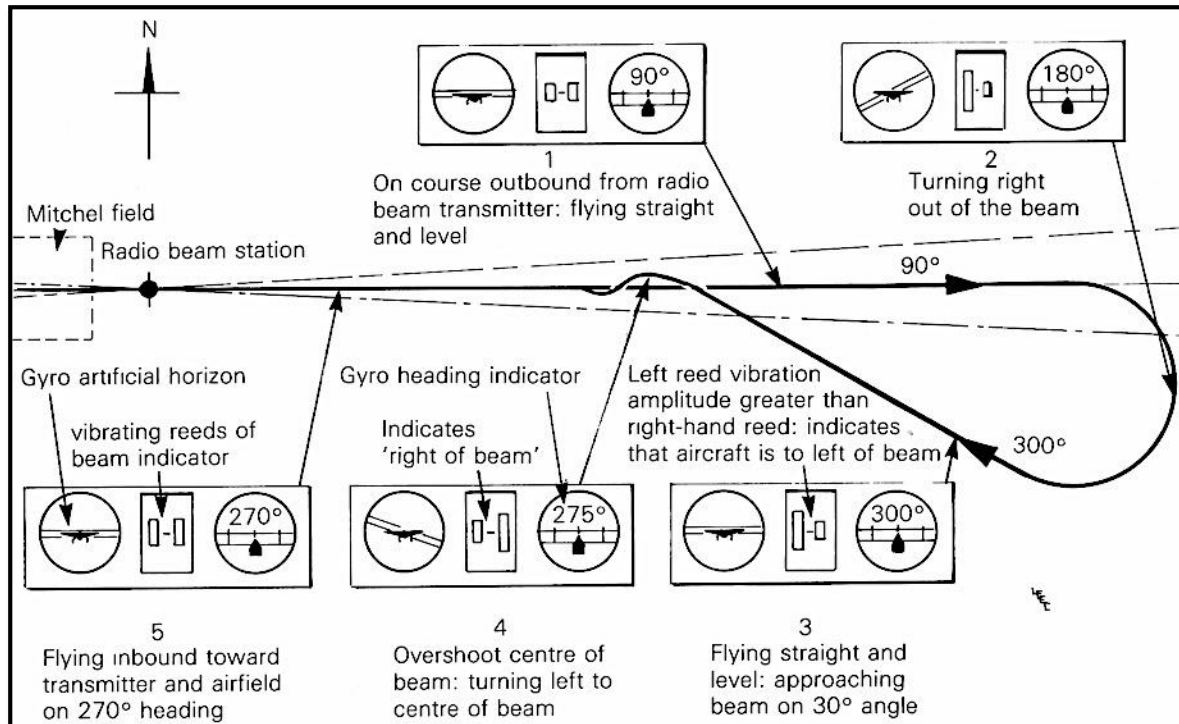


Abbildung 7: Doolittle's 1929 Flight (Quelle: Coombs, 1990, S. 75)

Eines der Schlüsselinstrumente in Doolittle's Cockpit 1929 war der künstliche Horizont von Sperry. Dieser war ein wesentlicher Fortschritt in der Entwicklung der Flugzeuginstrumente. Bevor der künstliche Horizont auf Basis eines Gyroskops entwickelt wurde, mussten die Piloten die Fluglage anhand der Luftblasen von Neigungsmessern ablesen, von denen sich meist mehrere im Cockpit befanden. Unvorteilhafter Weise konnten die Neigungsmesser nicht mit einem ausreichenden Maß an Präzision eingesetzt werden. So waren Flüge in Wolken, oder wenn auf Grund von Sichtverschlechterungen der Bezug zum Horizont nicht mehr vorhanden war, sehr schwierig und sogar gefährlich.<sup>312</sup>

Der frühere künstliche Horizont von Sperry besaß ein kleines feststehendes Symbol eines Flugzeugs. Die Anzeige des Instruments wurde später auch als „inside looking out“-Anzeige“ bekannt, da das Flugzeugsymbol relativ zum Instrumentenbrett fixiert war. Die künstliche Horizontlinie war beweglich und bildete die Lage des realen Horizontes ab. Die alternative Anzeige, bei der die künstliche Horizontlinie fixiert ist und das

<sup>312</sup> Vgl. Flight, 1930, S. 1226-1227.

Flugzeug beweglich – „outside looking in“-Anzeige –, wurde in den folgenden 60 Jahren immer wieder in Betracht gezogen. Auch als Russland mit der Entwicklung von Flugzeugen startete, wurde diese Anzeigevariante für den künstlichen Horizont verwendet. Spätestens aber seit den 1980er Jahren wurde auch dort die „inside looking out“-Anzeige verwendet. Somit setzte sich das Sperry Anzeigesystem international durch.<sup>313</sup>

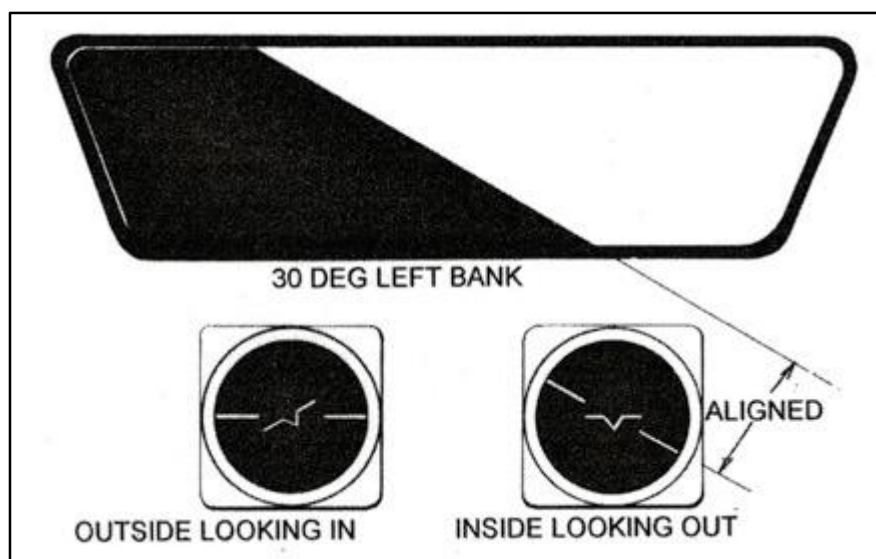


Abbildung 8: Horizontanzeige Varianten (Quelle: Coombs, 1990, S. 76)

### *Mehr und bessere Instrumente*

Als die Ära der geschlossenen Cockpits anbrach, konnten auch qualitativ hochwertige Instrumente eingebaut werden. Elektrische Systeme ermöglichten bessere Anordnungen auf der Instrumententafel, und das Variometer trat seine Serienreife an.

Die Entwicklung von verbesserten Cockpitinstrumenten wurde in den frühen 1920er Jahren von dem Überschuss der noch aus Kriegszeiten vorhandenen Instrumente behindert, denn diese waren auf dem Markt günstig zu bekommen. Nach 1930, als die Forschung und Entwicklung sich den vorher beschriebenen Problemen beim Blindflug

<sup>313</sup> Vgl. Harris, Human Factors for Civil Flight Deck Design, 2004, S. 83-85; siehe Werbeanzeige der Firma Sperry in der Zeitschrift Flight vom 24. Juni 1937, S. 58.

---

widmete, wurden zunehmend mehr elektrische Systeme im Flugzeug verbaut. Somit stieg auch die Anzahl der Instrumente und Schalter an. Bemerkenswerte Instrumentenentwicklungen waren der aperiodische Magnetkompass, Sperrys künstlicher Horizont, das Magnetfeldstärkemessgerät von Pioneer sowie der Wendezeiger. Das Variometer, zur Messung der Steig- und Sinkgeschwindigkeit, wurde nur zögerlich weiterentwickelt. Dies lag an der schwachen Nachfrage. Die Verwendung von Variometern fand häufig nur bei Testflügen statt. Als aber die Instrumente technisch soweit verbessert wurden, dass die Anzeige entsprechend schnell und präzise reagierte, fand das Variometer einen breiteren Abnehmerkreis, denn für den Instrumentenflug ist das Variometer ein fast unverzichtbares Instrument, besonders bei Anflügen.<sup>314</sup>

Neben den Langstreckenflugeleistungen zeichneten sich die 1930er Jahre durch eine schnelle technische Entwicklung, im militärischen wie auch im zivilen Luftverkehr, aus. Zu den wichtigsten Entwicklungen zählte der Eindecker, die Ganz-Metall-Konstruktion sowie die Ausrüstungen, die es ermöglichten, die Flugpläne unabhängig vom Wetter und von den Sichtbedingungen einzuhalten. Damit begann auch das Ende der Flugzeuge mit offenem Cockpit, mit Streben versehenen Hochdeckern und drahtverspannten Doppeldeckern, die von der Handley Page O/400 und der Vickers Vimy abstammten. Die Cockpits wurden jetzt mit mehr Instrumenten ausgestattet. Zudem wurden auch die Triebwerksanzeigen nicht mehr an den Triebwerksgondeln angebracht, sondern vor dem Piloten im Cockpit eingebaut. Dennoch bauten Instrumentenhersteller noch Außenthermometer, die zwischen den Streben eines Doppeldeckers befestigt werden konnten. Dies ist ein Beispiel dafür, wie langsam der Prozess der Fernübertragung von Instrumentenanzeigen sich seit den 1920er Jahren entwickelt hatte. Die ab circa 1935 eingesetzten Verkehrsflugzeuge, wie zum Beispiel Heinkel He 111, Junkers Ju 86, Focke-Wulf 200 oder de Havilland DH.91, besaßen geschlossene Cockpits, und alle Triebwerksanzeigen waren fernübertragen und im Sichtfeld der Piloten angebracht.<sup>315</sup>

Das gleichmäßige Anwachsen der Instrumentenzahl im Cockpit, um mit der stetig steigenden Vielseitig- und Leistungsfähigkeit der Flugzeuge mithalten zu können, war ein

---

<sup>314</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 60-61; vgl. Conway, *Blind Landings*, 2006, S. 15-17.

<sup>315</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 77-78; siehe zum Beispiel dazu *Flight*, 1938, S. 470-471 sowie *Flight*, 1938, S. 639-641; vgl. *Deutsche Luftwacht*, 1936, S. 14-15 sowie *Deutsche Luftwacht*, 1936, S. 15-16; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101.

---

langsamer Prozess. Wenig Aufmerksamkeit schenkte man dem grundlegenden Zweck der Instrumente, den Piloten durch einzelne Instrumente oder eine Instrumentengruppe zu informieren und ihn dabei nicht von anderen Aufgaben abzulenken. Andere Aufgaben beinhalteten zum Beispiel eine Sicht nach Außen. Diese Aufgaben waren demnach aufgrund der zahlreichen Instrumente und der Art ihrer Anordnung im Instrumentenbrett kaum möglich.<sup>316</sup>

In den frühen 1930er Jahren kamen Forderungen nach genaueren und zuverlässigeren Instrumenten aufgrund der Expansion des Luftverkehrs auf. In den zehn Jahren nach dem Ersten Weltkrieg hat sich nicht nur der zivile Luftverkehr vervielfacht, sondern auch die anderen Flugleistungen wurden immer besser. Durch entsprechende Nachfragen führte dies zu einer Massenproduktion im Flugzeugbau.

Die für die Piloten wichtigen Fluginstrumente, die benötigt wurden, um den gewünschten Kurs, die horizontale Lage, vertikale Geschwindigkeit, Höhe und im Kurvenflug die richtige Schräglage und Kurvenrate einzuhalten, fanden schnell ihre Berücksichtigung. Das bisherige Fliegen nach Geländemerkmale war zwar immer noch nicht wegzudenken, aber jetzt war man im Stande, auch kontrolliert ohne Sicht zu fliegen und zu navigieren.

Die Entwicklungsfortschritte der Fluginstrumente standen aber noch den Ambitionen der Luftverkehrsbetreiber nach. Als 1937 neue Flugzeuge mit Höhenmessern ausgestattet wurden, waren die Werte immer noch stark beeinflusst, weil eine statische Druckabnahme im geschlossenen Cockpit stattfand. Da dieser Druck geringer sein konnte als der aktuelle statische Druck außerhalb des Flugzeugs, wurde beispielsweise ein Prototyp der Hurricane beinahe zerstört, bevor dies erkannt wurde.<sup>317</sup> Der Zwischenfall passierte, als das Flugzeug im Sinkflug durch eine geschlossene Wolkendecke stieß, um wieder Sichtkontakt mit dem Boden herzustellen. Dabei zeigte der Höhenmesser aufgrund des geringeren statischen Drucks im Cockpit eine zu große Höhe an. Als Folge dieser Erkenntnis wurden die Sensoren für den statischen Druck

---

<sup>316</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 78; vgl. *Flight*, 1938, S. 470-471; vgl. *Flight*, 1938, S. 639-641.

<sup>317</sup> Grund dafür war eine zu große Anzeige der wahren Flughöhe.



---

aus dem Cockpit nach außen verlegt.<sup>318</sup> Dadurch minimierten sich die Anzeigefehler aufgrund falscher Sensoreingaben.

In den frühen 1930er Jahren wurden auch schon elektrische Treibstoffanzeigen entwickelt. Dies war ein beachtlicher Vorteil sowohl für die Genauigkeit der Anzeige als auch für die einfache Installation. Anstelle der besonders schwierigen und komplexen Montage von hydraulischen Leitungen zur Anzeige der Treibstoffmenge im Cockpit wurden elektrische Leitungen verlegt. Signifikant in der Geschichte des Lufttransportwesens war, dass die neue elektrische Treibstoffmengenanzeige für das viermotorige Handley Page Verkehrsflugzeug H.P.42 ausgewählt wurde, das eines der bekanntesten großen Doppeldecker der Imperial Airways wurde. Ab 1935 waren deswegen direkte Ableseanzeigen für den Treibstoffvorrat nicht mehr erwünscht, und neue elektrische Fernübertragungsanzeigen wurden in vielen Flugzeugtypen installiert. Nun wurde auch ein gewisser Druck auf Betreiber und Piloten aufgebaut, unter allen Sichtbedingungen zu fliegen, basierend auf dem künstlichen Horizont. In zeitgenössischen Katalogen wurde der künstliche Horizont als grundlegende Hilfe für den Instrumentenflug gepriesen.<sup>319</sup>

Im gleichen Zeitraum wurde auch die Genauigkeit des traditionellen Kompasses verbessert, einige sogar auf elektronischem Weg. Der Pilot hatte die Wahl zur Benutzung des traditionellen Kompasses, der bei jeder Kurve oder Geschwindigkeitsänderung Drehfehler aufweist, oder dem gyroskopischen Kurskreisel, der stetig vom wahren Kurs abdriftet. Die Lösung des Problems bestand darin, hauptsächlich den Kurskreisel, besonders im Kurvenflug, zu verwenden und diesen periodisch anhand des Magnetkompasses zu korrigieren. 1937 verband Sperry die beiden Instrumente miteinander, während das Royal Aircraft Establishment<sup>320</sup> (RAe) in Farnborough im selben Jahr den ersten Kompass mit Fernablesung testete. Dieser hatte den Vorteil, dass der Kompass an sich nicht im Cockpit untergebracht war, wo er aufgrund von Metallteilen oder Stromkreisen gestört wurde. Im Cockpit befand sich nur ein Instrument mit der Kursanzeige. Der Masterkompass beinhaltete einen sehr genauen gyroskopischer Kreisel,

---

<sup>318</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 80; siehe dazu auch *Flight*, 1935, S. 432-434.

<sup>319</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 80; vgl. *Flight*, 1937, S. 404; vgl. *Flight*, 1938, S. 133; vgl. Taylor, *Simplexity Itself*, 1937, S. 384-386; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101.

<sup>320</sup> Das Royal Aircraft Establishment (RAe) war eine britische Forschungs- und Entwicklungsinstitution für Flugzeuge sowie Flugzeugtechnik. Das RAe war dem britischen Verteidigungsministerium zugeordnet.

---

der elektrisch angetrieben wurde und eine Drehzahl von 12000 Umdrehungen pro Minute aufwies. Zudem war der Masterkompass von möglichen Einflussfaktoren entfernt eingebaut.<sup>321</sup>

Die US-amerikanische Antwort auf dieses System war der Sperry Gyrosyn, der 1944 perfektioniert wurde. Der Gyrosyn arbeitet nach gleichem Prinzip, nur wird der magnetische Sensor „Flux-Valve“ genannt. Dieses ist ein zweidimensionales Magnetfeldstärkemessgerät, welches zur Korrektur des Kreisels verwendet wird. Es ist weder durch Beschleunigungen noch Richtungsänderungen beeinflussbar. Somit war der Gyrosyn ein sehr präzises und zuverlässiges Gerät.<sup>322</sup>

Neben der Genauigkeit und Anzahl der Instrumente wurde auch deren Darstellung und Ablesefreundlichkeit weiterentwickelt. Besonders für Nachtflüge war dies wichtig, damit die Instrumentenbretter in den Cockpits nicht von einer Lichtquelle direkt angestrahlt wurden und durch Spiegelungen eine Ablesung unmöglich wurde. Auch passive Beleuchtungsmethoden, wie zum Beispiel radioaktive Leuchtfarben, wurden verwendet.<sup>323</sup>

### *The „Basic Six“*

Da die Anordnung der Instrumente für den Piloten von zentraler Bedeutung war, legte die Royal Air Force 1937 eine logische Anordnung von 6 Instrumenten zur Flugführung im Blindflug fest. Diese neue Anordnung, die als „Basic Six“ bezeichnet wird, verblieb für die kommenden zwei Jahrzehnte Standard für den Instrumentenflug. Das Basic Six-Instrumentenbrett bestand aus einem Fahrtmesser, einem kieselgestützten künstlichen Horizont, einem Variometer, einem Höhenmesser, einem Kurskreisel und einem Wendezeiger.<sup>324</sup>

---

<sup>321</sup> Vgl. Gunston, Avionics, 1990, S. 49; siehe Werbeanzeige der Firma Sperry in der Zeitschrift Flight vom 24. Juni 1937, S. 58, sowie vom 23. Juni 1938, S. 8.

<sup>322</sup> Vgl. Gunston, Avionics, 1990, S. 49; vgl. Smallman, Instrumentation, 1961, S. 26-27; Walker, Navigationssysteme, 1993, S. 151-152; vgl. Sperry Gyroskope Company Limited, 1956, S. 14-15, 53-73.

<sup>323</sup> Vgl. Wiegand, Hochwertige Leuchtfarben für Flugzeugbordgeräte, 1936, S. 75.

<sup>324</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 109; vgl. Williamson, Instrument Planning, 1937, S. 193-195; vgl. Flight, 1935, S. 432-434; siehe dazu auch Taylor, Instrument Flying, 1935, S. 401-404; vgl. Möser, Fahren und Fliegen, 2009, S. 204; vgl. Coombs, The Pilot's Place, 1957, S. 101; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 54-55.

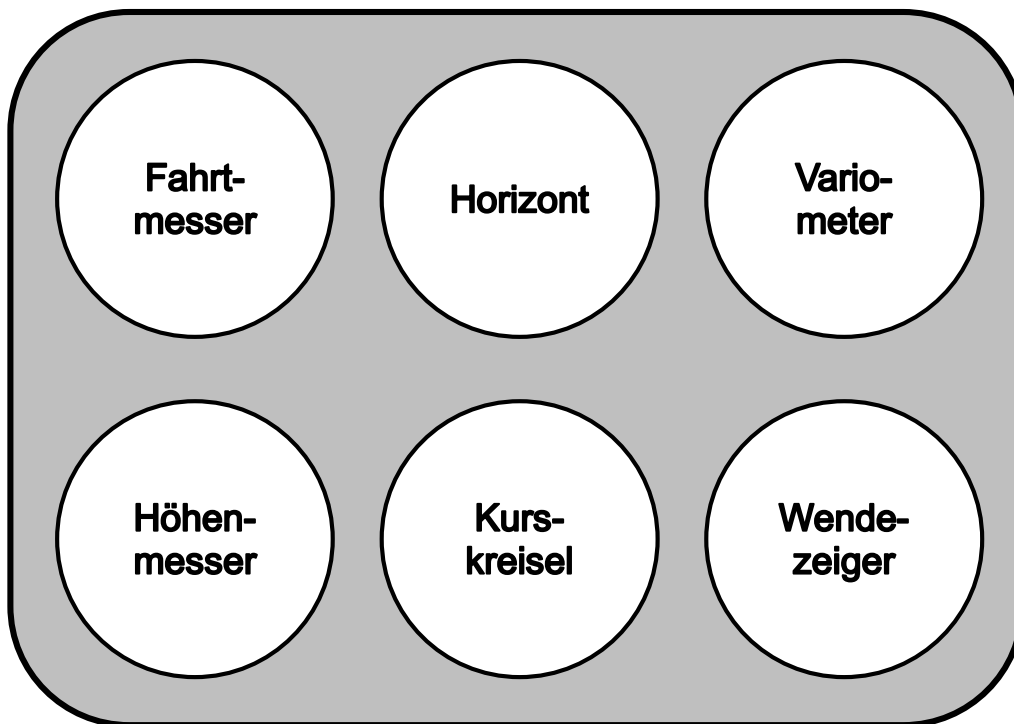


Abbildung 9: Basic Six (RAF Version) (Quelle: Autor)

Das Basic Six-Konzept der RAF wurde von der zivilen Luftfahrt übernommen. Jedoch änderten sich nach dem Zweiten Weltkrieg die Instrumentenanordnungen sowie die Instrumente. Der Fahrtmesser, der Horizont und der Höhenmesser wurden in der oberen Reihe sowie der Radio Kompass, der Kurskreisel und der Variometer in der unteren Reihe angeordnet. Der Wendezeiger entfiel in der zivilen Variante zugunsten eines Funknavigationsgerätes, dem Radio Kompass. Einige Jahre zuvor bereits führte Boeing eine ähnliche Anordnung der Instrumente bei der Boeing 247 ein. Herzstück war auch hier der Sperry Horizont neben dem Sperry Kurskreisel, die zentral in der Mitte des Instrumentenbretts installiert waren. Boeings Anordnung konnte sich aber nicht durchsetzen.<sup>325</sup>

Mit der Einführung der DH.91 Albatross machte das britische Cockpitdesign einen Schritt nach vorne. Die primären Fluginstrumente wurden direkt vor dem Kommandanten angebracht. Die Anordnung bestand aus jeweils drei Instrumenten in zwei Reihen.

<sup>325</sup> Vgl. Pelletier, Boeing - The Complete Story, 2010, S. 43; vgl. Pallet, Aircraft Instruments, 1992, S. 19-21; vgl. Williamson, Instrument Planning, 1937, S. 193-195; vgl. Gibbs-Smith, Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II, 1970, S. 194-204.

---

In der oberen Reihe befanden sich Fahrtmesser, kreiselgestützter künstlicher Horizont und Variometer. In der unteren Reihe waren Höhenmesser, Kurskreisel und Wendezeiger angebracht. Diese Anordnung entsprach der militärischen Basic Six-Anordnung. Alleine die Anordnung der Instrumente in Reihe war schon eine maßgebliche Innovation. Bis dahin konnte man häufig von einer „Verstreuung“ der primären Fluginstrumente im Cockpit sprechen. So war es in dieser Phase durchaus Usus, die sekundären Instrumente, wie zum Beispiel die Triebwerksanzeigen, in einer leicht schrägen Ablage unterhalb des Hauptinstrumentenbretts anzubringen.<sup>326</sup>

Aus der Basic Six-Anordnung entwickelte sich etwa 15 Jahre später die Basic-T-Anordnung für den zivilen Luftverkehr, die bis heute weltweite Anwendung findet.

Die Basic Six-Anordnung zur Verbesserung der visuellen Instrumentenabtastung durch den Piloten wurde nicht von allen Nationen umgesetzt. In den USA zum Beispiel wurden auch nach Entwicklung der Basic Six-Anordnung weiterhin Flugzeuge gebaut, deren Instrumentenanordnungen keinem offensichtlichen und einheitlichen System entsprachen. Erst als ab circa 1947 die Augenbewegungen der Piloten auf dem Instrumentenbrett aufgezeichnet wurden, ordnete man die Instrumente nach ihrer Ablesefrequenz an.<sup>327</sup> Neben der Basic Six-Anordnung gab es auch seitens der Instrumentenhersteller Bestrebungen, Instrumentenanzeigen zu bündeln und übersichtlicher zu gestalten. Als Beispiele hierfür seien der Reid-Sigrist Wendezeiger mit integrierter Schiebeanzeige oder der Sperry Flightray, einer Kombination aus Kurskreisel und Horizont, genannt. Aber diese Geräte setzten sich auf dem zivilen Flugzeugmarkt nicht durch.<sup>328</sup>

Weiterhin gab es viele Aufzeichnungen über die Schwierigkeiten, zwei oder mehr Hebel oder Schalter simultan zu bewegen, sofern diese ungünstig im Cockpit angebracht waren. Besondere Probleme bereiteten nachteilige Anordnungen bei Dunkelheit. Doch die Piloten lernten, damit entsprechend umzugehen, sodass die Arbeitsbelastung im normalen Flug leicht zu kontrollieren war. Aber bei einem Notfall stieg die Arbeitsbe-

---

<sup>326</sup> Vgl. Flight, 1938, S. 470-471.

<sup>327</sup> Vgl. Williamson, Instrument Planning, 1937, S. 193-195.

<sup>328</sup> Vgl. Flight, 1938, S. 567 sowie Flight, 1931, S. 953.

---

lastung stark über das normale Niveau, sodass nachteilige Anordnungen von Instrumenten, Hebeln oder Schaltern im Cockpit zum signifikanten Sicherheitsrisiko wurden.<sup>329</sup>

## Funknavigations- und Kommunikationseinrichtungen

### *Einfluss auf das Cockpit?*

Die Evolution der Cockpitinstrumentierungen geht, neben der Entwicklung von autonomen Geräten wie Kurskreisel, künstlichen Horizont, Höhenmesser, Fahrtmesser etc., mit der bodenseitigen Entwicklung von Navigationseinrichtungen einher. Grundsätzlich haben die Entwicklungen von bodenseitigen Stationen, sei es für die Flächennavigation oder für das Fliegen auf genau definierten Leitstrahlen nur sekundären Einfluss auf das Aussehen der Cockpitinstrumente, abgesehen von der Tatsache, dass zusätzliche Anzeigeeinstrumente für die Funknavigation installiert werden mussten. Allerdings wirkten sich die unterschiedlichen Systeme auf die Arbeits- und Aufgabenverteilung im Cockpit mit aus, sodass in der Gesamtentwicklung zum Beispiel die Größe der Flugbesatzungen sowie die Aufgabenverteilung innerhalb der Flugbesatzung fluktuierte. Daher wird im Folgenden auch auf die Entwicklung bodenseitiger Navigationsanlagen eingegangen.

Neben der Navigation war auch die Kommunikation ein wichtiger Bestandteil zur Durchführung von Flügen bei schlechtem Wetter und bei Nacht. Jedoch war die Entwicklung von einer einfachen Übertragung eines monotonen, unterbrochenen Signals im Morsecode, der Funktelegrafie, bis hin zum Sprechfunkverkehr, der Funktelefonie, ein langer Weg. Es galt Probleme auf mehreren Ebenen zu bewältigen. Neben der notwendigen Signalqualität zur fehlerfreien Übermittlung galt es auch die erforderlichen Geräte platzsparend zu konstruieren. Die direkt nach dem Krieg verwendeten Flugzeuge waren meist militärischer Herkunft. Ihre Cockpits waren offen und beengt.

---

<sup>329</sup> Siehe auch Rieger, *Technology and Culture*, 2005, S. 30-31.

---

Ausgenommen davon waren die Cockpits der Riesenflugzeuge. Auch die Flugleistungen, besonders die Triebwerksleistungen, waren noch sehr gering. Daher ist es naheliegend, dass es bei den Fluggesellschaften zu wirtschaftlichen Konflikten kam, wenn es darum ging, wegen eines Funkgerätes auf bis zu 70 kg an Zuladung (Payload) zu verzichten. Mit fortschreitender technischer Evolution, verbesserten Werkstoffen und Fertigungsverfahren wurden die Flugzeugstrukturen tragfähiger, die Aerodynamik wurde verbessert, und die Triebwerksleistungen stiegen stetig an. Eine Steigerung der Flugleistungen führte auch zu einer Ausdehnung des Streckennetzes, und damit wurden neben den Funknavigationsgeräten auch die Funkkommunikationsgeräte an Bord der Verkehrsflugzeuge zum Standard.

### *Flächennavigation*

Da mit Anstieg der Flugleistungen der Flugzeuge größere Distanzen bewältigt wurden, war es nötig, ein Navigationssystem zu entwickeln, das es ermöglichte, das Flugzeug vom Start bis zur Landung auf Großkreisen zu navigieren.<sup>330</sup> Großkreise um die Erde, so genannte Orthodrome, sind die kürzeste Verbindung zwischen zwei geografischen Punkten auf dem Ellipsoiden Erde.

Einige Entwickler beantragten entsprechende Patente, aber sie hatten nicht die politischen Beziehungen, diese auch in der Praxis umzusetzen. So beschrieb der US amerikanische Elektrotechniker Herman Andrew Affel 1923 detailliert eine auf Radiowellen basierende Navigationshilfe, die auf Phasenmessung beruhte. Diese Methode gab neben der relativen Position auch die relative Geschwindigkeit an. In einem zweiten Konzept beschrieb Affel zwei fixe Bodenstationen, die synchronisierte Impulse aussendeten. Dadurch ergaben zwei sich kreuzende hyperbolische Felder. Genau dieses Verfahren wurde 18 Jahre später für das Gee-System verwendet.<sup>331</sup>

1929 und 1931 entwickelte der in Deutschland geborene US amerikanische Elektrotechniker Walter Albersheim ein Verfahren, bei dem die Sendung von einer gleichen Frequenz von zwei fixen Bodenstationen zu einer Schwebungsfrequenz führte und der Dopplereffekt genutzt werden konnte. Der Dopplereffekt ist so zu beschreiben, dass,

---

<sup>330</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Gunston, Avionics, 1990, S. 49.

<sup>331</sup> Wilson, Avionik, 1993, S. 19ff.

---

wenn sich ein Objekt auf die Sendequelle zubewegt, die Frequenz scheinbar ansteigt und bei der Entfernung vom Sendeobjekt die Frequenz scheinbar sinkt. Dabei ist es unwichtig, ob sich der Sender, der Empfänger oder gar beide bewegen.

Beide aufgeführten Verfahren wurden in den folgenden Jahren nicht weiter verfolgt, und es dauerte bis nach dem Zweiten Weltkrieg, bis Hyperbel- und Dopplernavigations-einrichtungen in der zivilen Luftfahrt praktisch genutzt wurden.

Von Beginn der 1930er Jahre an versuchte man auch das Radio Range System so zu verbessern, dass es sich ebenfalls zur Flächennavigation eignete, dem offensichtlich überragenden System. In Deutschland wurde das Lorenz-Blindlandesystem geschickt modifiziert, sodass es militärisch als Leitsystem für Bomber eingesetzt werden konnte. Bei einer Landehilfe fliegt das Flugzeug auf einem Leitstrahl der Sendestation entgegen, sodass die Signalstärke und Genauigkeit stetig zunimmt. Jedoch ein Bomber entfernt sich immer weiter von der Sendestation, sodass der Leitstrahl eine sehr hohe Intensität aufweisen musste. Ebenso durfte die Streuung des Leitstrahls im Azimut nur sehr gering und die Sensitivität des Empfängers musste sehr groß sein.<sup>332</sup> Auch eine Weiterentwicklung des Lorenz-Systems als Langstreckennavigationsmittel wurde diskutiert. Tests in Australien hatten ergeben, dass das System frei von atmosphärischen Störungen arbeitete und es keine Probleme mit gesplitteten Leitstrahlen sowie Kursabweichungen gab. Allerdings hatte es zwei wesentliche Nachteile, die ein Durchsetzen als Langstreckennavigationsmittel verhinderten. Einerseits war die Empfangsqualität direkt von der Flughöhe abhängig und andererseits konnten nur zwei Anflugkurse verwendet werden.<sup>333</sup>

Während man in den USA bei dem nationalen Netz der Funkleitstrahlen verblieb und die Anlagen zu VOR (VHF Omnidirectional Radio Range) weiterentwickelte, war die Situation auf den britischen Inseln eine andere. Dort gab es kein nationales einheitliches System von Funknavigationseinrichtungen. Die europäischen Luftfahrtunternehmen verwendeten unterschiedlichste Kombinationen aus Funkfeuern mit unterschiedlichen Frequenzbandbreiten, primitiven Blindlandehilfen und einem Leitstrahl auf Mikrowellenbasis, der von Lympne in Kent nach St. Inglevert in Frankreich ausgerichtet war. Die einzig einheitlichen Navigationsanlagen waren Funkpeilstationen. Allerdings

---

<sup>332</sup> Vgl. Walker, Navigationssysteme, 1993, S. 150-151.

<sup>333</sup> Vgl. King, Australia Airlines, 1938, S. 270-274; vgl. Wilson, Avionik, 1993, S. 12ff.

---

benötigte jede Richtungsangabe vom Boden eine Zeit von bis zu einer Minute. Durch diesen Zeitversatz wurden auch bei Reisegeschwindigkeiten von 90 Knoten bereits Strecken bis zu 3 Kilometern zurückgelegt.<sup>334</sup> Aus diesem Grund kam es in Europa noch vor dem Zweiten Weltkrieg zu Bestrebungen nach einer Standardisierung. Es wurden verschiedene Systeme betrachtet und die jeweiligen Eigenschaften bestimmt. Wichtige Faktoren waren dabei die minimale Flughöhe für den sicheren Empfang der Signale, die Reichweite und die Präzision. Eine entsprechende Option wären Zielflugpeiler gewesen. Obwohl auch einige Luftverkehrsgesellschaften in den USA diese versuchsweise einsetzten, wurde seitens der USA eindringlich vor Verwendung dieser Geräte gewarnt, da sie nicht so zuverlässig waren wie Richtfunkempfänger. Im Gegenzug sollten die Zielflugpeiler weniger stör anfällig gegenüber dem Bakenempfang sein. In Europa konnte bis zum Ausbruch des Zweiten Weltkriegs kein gemeinsames System gefunden und installiert werden.<sup>335</sup>

### *Landehilfen für schlechte Sicht*

Landungen bei schlechten Sichtverhältnissen waren ein Dauerproblem des Luftverkehrs. Meist wurde das anfliegende Flugzeug am Zielflugplatz durch den Triebwerkslärm identifiziert. Der Pilot bekam die Bestätigung, dass er sich in der Nähe des Flugplatzes befand, und versuchte dann, seinen Anflug einzuleiten.<sup>336</sup> Er führte den Anflug anhand der Instrumente wie Kurskreisel, Horizont und Höhenmesser durch. Einen Leitstrahl für den Anflug hatte er nicht zur Verfügung. Der Pilot musste nach dem Durchfliegen der Wolkenschicht schnellstmöglich Erdsicht erlangen und seinen Flugweg anhand der Bodenmerkmale festlegen. Dieses Verfahren setzte voraus, dass der Durchstoß durch die Wolkendecke in einer noch ausreichenden Höhe erfolgte und eine weitestgehend hindernisfreie Umgebung vorhanden war.

Ab 1931 wurden Radio Range Stationen routinemäßig als Landehilfe eingesetzt. Die Punkt-Strich-Übertragungen übermittelten den Piloten eine Referenz zum Azimut. Zwei zusätzliche Funkfeuer wurden installiert, um eine lineare Anflugverlängerung anzuzeigen.

---

<sup>334</sup> Vgl. Anderson, *Navigational Equipment*, 1978, S. 851-853.

<sup>335</sup> Vgl. Denman, *Radio Air Navigation*, 1937, S. 54-56; vgl. Deutsche Luftwacht, 1936, S. 43, 336-337.

<sup>336</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Gunston, *Avionics*, 1990, S. 186-187.



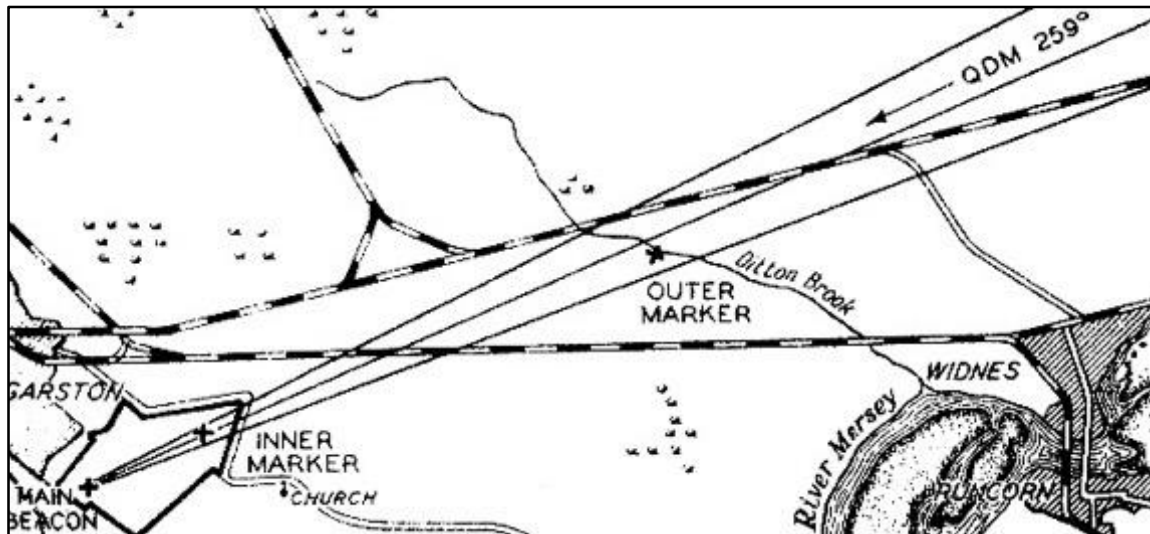


Abbildung 10: Landehilfe Liverpool Speke (Quelle: Gunston, 1990, S. 187)

Abbildung 10 zeigt ein solches Landesystem in Liverpool Speke. Der Pilot versuchte den äußeren Marker in 650 ft zu passieren. Die Distanz zur Landebahn betrug dann drei Meilen. Er leitete dann den Sinkflug ein, sodass seine Flughöhe am inneren Marker noch 100 ft betrug. Der innere Marker war an der Flugplatzgrenze positioniert. Der Abstand zum Landekursender (Punkt – Strich Sender) betrug weitere 4.800 ft und war am anderen Ende des Flugplatzes installiert.

Das amerikanische System nach Hegenberger setzte voraus, dass die Flugzeuge mit einem Funkgerät, einem Radiokompass, einem Marker Empfänger und einem Distanzmesser ausgerüstet waren. Zudem gingen jeder Landung komplexe und präzise Flugmanöver voraus, die zeitlich festgelegt waren.<sup>337</sup>

Ab 1927 startete die Conrad Lorenz AG in Berlin die Entwicklung eines verbesserten Systems zur Landehilfe. Ein wesentlicher Nachteil bestand dabei darin, dass in einer Zeit, als ein Funkgerät im Flugzeug eher als Luxus denn als Standardausrüstung zählte, ein spezieller Empfänger sowie ein eigenes Anzeigeeinstrument zur Nutzung dieses Verfahrens erforderlich wurde. Die Bodenstation des Lorenz-Systems sendete einen Leitstrahl in Richtung der Landebahnmittellinie aus. Die Reichweite betrug bis zu 50 km. Die große Neuerung bestand nun darin, dass es mit dem Leitstrahl auch

<sup>337</sup> Vgl. Flight, 1938, S. 58-60.

möglich war, einen Gleitpfad darzustellen. Der Pilot hörte das Signal des Leitstrahls ab und gleichzeitig konzentrierte er sich auf das Anzeigegerät im Cockpit, das über eine horizontale und eine vertikale Anzeige verfügte. Wenn der Pilot die Anzeigeneadeln im Zentrum der Anzeige hielt, befand sich das Flugzeug auf dem Leitstrahl mit entsprechender Sinkrate. Das Anzeigegerät verfügte auch noch über Signallampen, die aufleuchteten, wenn ein Marker überflogen wurde. Durch den Betrieb in einem Frequenzband zwischen 28 und 30 MHz wurden statische Fehler eliminiert und Fehler durch Reflexionen oder Refraktionen stark vermindert.<sup>338</sup>

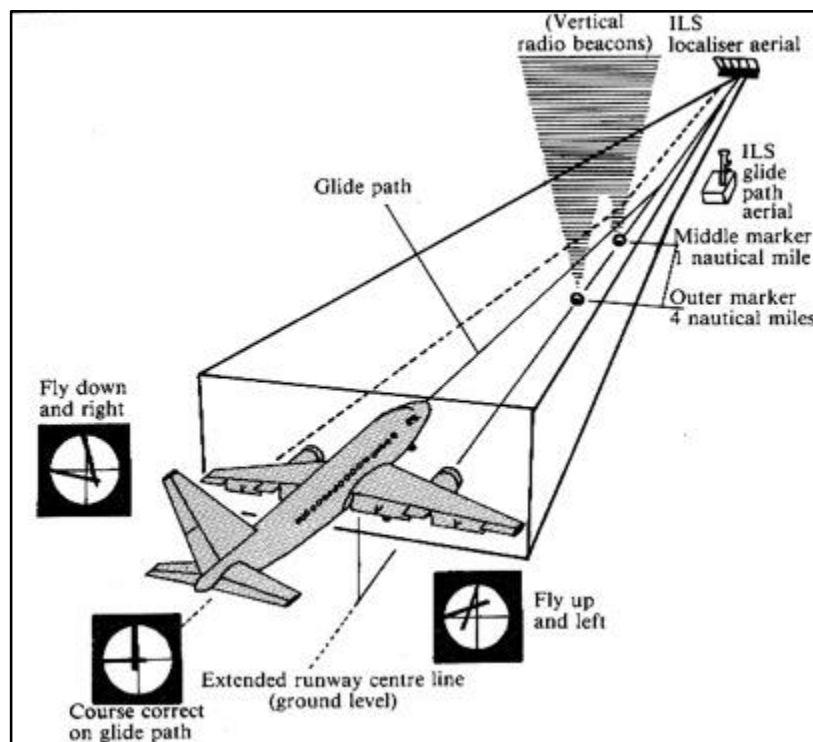


Abbildung 11: Lorenz Landesystem (Quelle: Gunston, 1990, S. 187)

Das Lorenz-System war das erste System, das dem Piloten neben einer horizontalen auch eine vertikale Gleitweganzeige bot. Damit war es für die Piloten eine große Hilfe bei Anflügen in schlechtem Wetter. Das Lorenz-System sollte die Grundlage für zukünftige Landesysteme bilden.

<sup>338</sup> Vgl. Flight, 1938, S. 58-60; vgl. Flight, 1936, S. 238-241; vgl. Flight, 1936, S. 505.

---

## *Funkkommunikation nach dem Krieg*

Dadurch, dass viele Piloten während des Krieges bereits die Vorzüge einer Funkverbindung zum Boden kennengelernt hatten, wollten sie diese in der Zukunft nicht missen. In Deutschland wurden ab 1919 entsprechende Geräte erprobt. Diese Geräte waren Röhren-Sende-Empfänger der Firmen Telefunken oder Huth. Zudem wurden auch noch ältere Stationen mit Löschfunkensender verwendet. Die Geräte in den Flugzeugen wurden nach und nach so erweitert, dass Funktelefonie möglich wurde. Bis dahin bestand nur die Möglichkeit, Telegrafieverkehr durchzuführen.<sup>339</sup>

Als Bodenstationen dienten zunächst die von der Fliegertruppe an den Flugplätzen zurückgelassenen Stationen. Deren Löschfunkensender wurden aber bereits ab 1919 durch entsprechende Röhrensender ersetzt. Zudem wurden Bodenpeilstellen, die mit einem von Telefunken neu entwickeltem Drehrahmenpeiler ausgerüstet waren, in Betrieb genommen. So war es von den Stationen aus möglich, Flugzeuge anzupeilen und die Information an den Piloten weiter zu geben.

1925 entwickelte die Firma Lorenz eine speziell für Verkehrsflugzeuge gedachte 80 Watt-Langwellenstation. Der Sender wurde durch einen propellergetriebenen Generator mit Strom versorgt. Im Fall einer Notlandung konnte dieser ausgebaut und der Generator mit einem Handdrehgestell betrieben werden. Der Empfänger wurde von besonderen Batterien gespeist. Dadurch konnten auch Nachrichten empfangen werden, wenn der Generator bei der Landung eventuell beschädigt wurde. Zu erwähnen ist auch, dass für diese Geräte eine Schleppantenne benötigt wurde. Jedoch gab es auch schon elektrisch ferngesteuerte Antennenhaspeln, was für den Piloten eine Entlastung darstellte, da er die Antenne nicht mehr von Hand ein- und ausfahren musste. So wurden 1925 bereits Funkreichweiten von 300 km bis 400 km erzielt.<sup>340</sup>

Der Antrieb der Herstellerfirmen zur Forschung und Weiterentwicklung beruhte einerseits auf entsprechenden Aufträge von Luftfahrtunternehmen, die bestimmte Spezifikationen verlangten; andererseits gab es auch einen Konkurrenzkampf untereinander, der mögliche Monopolstellungen verhinderte. Auch wurden in dieser Phase die Bodenfunkstellen weiter ausgebaut, und 1927 wurde in Deutschland eine „Zentralstelle

---

<sup>339</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Trenkle, Bordfunkgeräte, 1986, S. 23-25.

<sup>340</sup> Vgl. Flight, 1931, S. 428-429.

---

für Flugsicherung (ZFF)“ gegründet. Es gab bereits 15 Stationen für den Streckenfernmeldedienst die für den Funkverkehr zwischen den Flugplätzen und für die Boden-Luft-Kommunikation sowie auch für den Peilverkehr zuständig waren.

In Deutschland wurde hauptsächlich die Verkehrskommunikation für die Telefonie verwendet. Bei „Grenzüberschreitendem Verkehr“ wurde die tonlose Telegrafie angewendet. Die tonlose Telegrafie konnte größere Reichweiten vorweisen. Vor allem aber wurde diese Methode aufgrund von Sprachproblemen bevorzugt. Eine gemeinsame Fliegersprache existierte noch nicht. Die Bodenfunkstationen waren räumlich mit den Peilstationen vereinigt. Diese wurden auch in der Anfluggrundlinie der Flugplätze angesiedelt, sodass es für den Piloten relativ einfach war, sich anhand der übermittelten Peilwerte auf den entsprechenden Anflugkurs zu bringen. Telefunken hatte ein entsprechendes Patent für ein solches Peilsystem eingereicht.<sup>341</sup>

Derweil hatte auch die Anzahl der Flugstrecken zugenommen, die mit kleineren Flugzeugen befliegen wurden. Daraus resultierte die Forderung nach einem kleineren Funkgerät, das vom Copiloten (fern-)bedient werden konnte. Die großen Geräte waren dafür nicht brauchbar, da sie von einem Funker bedient werden mussten und zudem noch den Platz oder die Zuladung von zwei Passagieren wegnahmen. Die Deutsche Luft Hansa machte eine Ausschreibung für ein Gerät mit 20 W Sendeleistung und einer Reichweite von bis zu 300 km. Das Gerät sollte die notwendigen Frequenzen erfassen und direkt über die Bordbatterie gespeist werden. Die Luftschraubengeneratoren hatten jedoch, trotz verstellbarer Luftschraube, Probleme mit der konstanten elektrischen Leistungsabgabe.

Die bisher erwähnten Geräte arbeiteten im Langwellen- bzw. im Mittelwellenbereich. Amateure wiesen 1920 nach, dass sich auch der Kurzwellenbereich für die Fernübertragung eignet. Der Vorteil bei Kurzwellen ist die relativ geringe benötigte Sendeleistung. Es wurden auch bereits Geräte für die kommerzielle Nutzung entwickelt. Diese eigneten sich aber anfangs nur für die Fernübertragung zwischen Bodenstationen, denn die Frequenzstabilität von Sendern und Empfängern reichte noch nicht aus, um in ein Flugzeug eingebaut zu werden. Diese Problematik wurde aber angegangen, da die Vorteile der Kurzwellenübertragung, wie zum Beispiel die geringere Leistungsaufnahme der Geräte, auf der Hand lagen. Bis 1929 war auch die Röhrentechnik soweit

---

<sup>341</sup> Siehe Flight, 1937, S. 540.

---

vorangeschritten, dass der Ultrakurzwellenbereich (UKW) erschlossen werden konnte. Für den Betrieb mit Ultrakurzwellen waren recht kleine Antennengrößen erforderlich, was neben einer Verbesserung der Aerodynamik auch den Gebrauch von Schleppantennen überflüssig machte.

1930 waren 20 Watt Kleinstationen der Firmen Telefunken und Lorenz soweit erprobt, dass diese in Serie gefertigt werden konnten. Die Geräte waren auf nur wenige Frequenzen ausgelegt. Für einen schnellen Wechsel konnten sie durch einen Rastschalter direkt bedient werden. Der Sender wurde mit Seilzügen durch den Copiloten ausgelöst. Der Empfänger hatte eine so kleine Bauform, dass er direkt unter dem Instrumentenbrett im Cockpit angebracht werden konnte. Die Gesamtmasse der Sende- und Empfangsstation betrug 25 kg. Diese Systeme wurden zum Beispiel in allen Flugzeugen der Deutschen Luft Hansa eingebaut, die auf europäischen Strecken im Einsatz waren.

Aufgrund der höheren Reichweite wurde der Funkverkehr nur über den Tastverkehr durchgeführt. Der im rechten Pilotensitz untergebrachte Maschinist benötigte deshalb auch eine Ausbildung zum Funker. Dadurch entstand 1930 die Berufsbezeichnung „Funkermaschinist“.<sup>342</sup>

1930 hatten sich alle der Commission Internationale de Navigation Aérienne (CINA) angehörigen Länder dazu verpflichtet, alle Flugzeuge, die zehn oder mehr Passagiere transportieren konnten, mit Funkgeräten auszurüsten. Es wurde aber nicht einheitlich festgelegt, wie der Funkverkehr abgewickelt werden sollte. Auch in Deutschland wurde hauptsächlich der Tastverkehr genutzt. Begründet wurde dies durch die höhere Reichweite und der Tatsache, dass die Peilgeräte eh von einem Funker bedient werden mussten. Der Sprechverkehr hingegen konnte vom Piloten selbst durchgeführt werden.<sup>343</sup>

---

<sup>342</sup> Siehe dazu Trenkle, Bordfunkgeräte, 1986, S. 28.

<sup>343</sup> Siehe dazu auch Ide, 1930, S. 975-976; vgl. Dailey, Instrument Flight, 2004, S. 51, 73.

---

## Der Langstreckenflug

### *Pionierleistungen im Langstreckenflug*

Obwohl Charles Lindbergh 1927 eine große Pionierleistung mit seiner 28 stündigen Atlantiküberquerung vollbracht hat, begann die eigentliche Ära der Langstreckenflüge erst in den frühen 1930er Jahren. Am 5. Mai 1930 zum Beispiel startete Amy Johnson auf ihren Soloflug von England nach Australien. Ihre de Havilland Moth besaß ein offenes Cockpit und nur wenige Instrumente. Die primäre Navigation wurde anhand von Sichtkontakt zum Boden durchgeführt. Als Orientierungshilfen dienten wie schon zuvor Flüsse, Eisenbahnlinien, Wälder, Seen und Städte. Diese Art der Navigation, die in den USA, wie bereits beschrieben, auch als „Contact Flying“ bezeichnet wurde, förderte die Entwicklungen zu einem geschlossenen Cockpit nicht. Besonders bei der Navigation über fremden Gebieten wurde ein geschlossenes Cockpit als Behinderung angesehen. Amy Johnson´s Flugzeug war darüber hinaus nicht mit einem Funkgerät, weder zur Kommunikation noch zur Navigation, ausgerüstet. Flächendeckende Funknavigation sowie deren Standards wurden erst später entwickelt. Auch ist zu bedenken, dass Kartenmaterial, das den Anforderungen der Fliegerei genügte, noch nicht für alle Gebiete zwischen England und Australien vorhanden war. Amy Johnson hatte sich kaum auf ihren Flug vorbereitet. Zu ihren wichtigsten Maßnahmen zählte körperliche Fitness, um die langen Etappen gut zu überstehen. Selbst Lindbergh verfügte bei seiner Atlantiküberquerung noch nicht über Kreiselinstrumente, was die Navigation und die Fluglagehaltung ohne Referenzen sehr anspruchsvoll gestaltete.<sup>344</sup>

Die beiden aufgeführten Pionierleistungen stellen nur einen sehr kleinen Teil der teils wagemutigen Projekte der Flugpioniere dar. Diese beispielhaften Ausführungen zeigen aber eine gewisse Unbeschwertheit, die von den Piloten an den Tag gelegt wurden. Präzise Flugplanungen und -durchführungen waren auf größeren Flugstrecken noch gar nicht möglich, denn die Infrastrukturen im internationalen Bereich waren teils noch nicht vorhanden. Fliegen war demnach noch, bis zur Einführung entsprechender

---

<sup>344</sup> Siehe dazu Fax vom Honeywell Customer Engineering an AOA Apparatebau Gauting GmbH vom 22.12.1989; siehe auch Rieger, *Technology and Culture*, 2005, S. 131; vgl. Lindbergh, *Mein Flug über den Ozean*, 1954, S. 9ff.

---

Standards an Instrumenten und Ausrüstungen für die Flugzeuge selbst wie auch für die Bodenstationen, eine reine Gefühlssache.

### *Von der Kursregelung zum Autopiloten*

Die Weiterentwicklung der Flugregler gehörte mit zu den wichtigsten Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der Zwischenkriegsjahre. Die Spezifikationen und die Aufgabenstellung für die Entwicklung der Flugregler wurden in Deutschland entscheidend durch die Bedürfnisse der Deutschen Luft Hansa geprägt. Unter anderem bestand ein großes Interesse an der Entwicklung für präzise Flugregler, weil die Deutsche Luft Hansa bereits in den 1920er Jahren regelmäßige Linienflüge nach London, Moskau, Paris und Rom durchführte. Diese Flüge sollten möglichst bei jedem Wetter stattfinden. Die Funknavigation stand erst in den Anfängen, und der Flug nach Wendezeiger, Kompass und Fahrtmesser wurde gerade erst eingeführt. Da die damaligen Verkehrsflugzeuge flugmechanisch verhältnismäßig eigenstabil waren, bereitete das Einhalten des Steuerkurses dem Piloten im Blindflug die meisten Schwierigkeiten. Manchmal teilten sich die Piloten diese Aufgabe, indem der eine den Kurs mit Seitenruder, Wendezeiger und Kompass hielt und der andere mit Fahrtmesser und Libelle die Geschwindigkeit und Querlage steuerte. Daraus entstand der Wunsch, vor allem das Kurshalten zu automatisieren. Durch einen solchen Apparat sollte dem Piloten ein wesentlicher Teil der Navigationsaufgabe abgenommen werden. Weiterhin wurde er aber auch rein fliegerisch bei der Bedienung des Quer- und Höhenruders bedeutend entlastet, da das Flugzeug absolut eigenstabil flog und nach dem Loslassen des Steuerhorns nicht mehr in den Spiralsturz überging. Während der folgenden Jahre wurden mehrere Wege ausprobiert, die zu verschiedenen Regelsystemen führten. Die vielfältigen Regelsysteme unterschieden sich auch durch ihr jeweiliges Verhalten.<sup>345</sup>

Die Entwicklung von Regelsystemen zur Entlastung der Piloten war sehr bedeutend für den Übergang vom Sichtflug zum Instrumentenflug. Aus kommerzieller Sicht der Luftfahrtunternehmen waren sie auch sehr wichtig, um die Flugpläne unabhängig von der Wetterlage aufstellen zu können. Auf das Cockpit selbst hatten diese Entwicklungen zunächst keinen Einfluss. Die Instrumentierung veränderte sich durch den Einbau

---

<sup>345</sup> Vgl. Oppelt, Über die Entwicklung der Flugregler in Deutschland, 1982, S. 23; vgl. Abbott, Human Factors, 2001, Kap. 9.2.1-9.2.2.

---

von Regelsystemen oder auch Autopiloten, wie diese dann später genannt wurden, nicht. Lediglich wurde das Instrumentenbrett mit den zugehörigen Steuerschaltern für den Autopiloten erweitert.

### *Douglas kommerzieller Erfolg*

Der Beginn der Flugzeuge für den gewerblichen Luftverkehr startete bei der Firma Douglas mit der DC-1 und führte zur DC-3, die einen großen Beitrag zum planmäßigen Linienflugverkehrsnetzwerk in Nordamerika geleistet hat. Die DC-3 war für einige Jahre das beste Flugzeug wenn es darum ging, die Möglichkeiten des Flugzeugs mit den Anforderungen der Airline in Übereinstimmung zu bringen.<sup>346</sup> Das Cockpit der DC-3 war der Vorläufer der Flugdecks der 1940er und 1950er Jahre. Auch prophezeite die DC-3 den Niedergang der Ära der dreimotorigen Flugzeuge der Firmen wie Fokker, Ford, Savoia Marchetti usw.<sup>347</sup>

Grundlage für den Erfolg der DC-3 war ihr Vorgänger, die DC-2. Die DC-2 und die DC-3 wurden neben amerikanischen Luftfahrtunternehmen auch von Unternehmen in Frankreich, Deutschland und Holland eingesetzt. Neben technischen Neuerungen und Modernisierungen war aber auch die Akzeptanz der Kunden ein wesentlicher Faktor für einen kommerziellen Erfolg. Die Passagiere fanden Gefallen an der relativ geringen Kabinenlautstärke, den verstellbaren Passagiersitzen sowie dem guten Ausblick durch die Kabinenfenster.<sup>348</sup> Die Deutsche Lufthansa kaufte 1934 eine DC-2 zu Versuchszwecken, nachdem sie zuvor drei Boeing 247 erworben hatte. Die Boeing 247 verfügte über 10, die DC-2 hingegen in der Standardkonfiguration über 14 Passagiersitzplätze.<sup>349</sup>

---

<sup>346</sup> Vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 68; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 194-204.

<sup>347</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 103; vgl. Brooks, *Aircraft Operation*, 1978, S. 824-829.

<sup>348</sup> Vgl. Colson, *A Modern Carpetbagger*, 1935, S. 658-690; vgl. *Flight*, 1935, S. 111; vgl. *Flight*, 1936, S. 589; vgl. *Tre Tryckare Cagner & Co., The Lore of Flight*, 1970, S. 59-61; vgl. Hallion, *Test Pilots*, 1988, S. 138-144.

<sup>349</sup> Vgl. *Flight*, 1934, S. 483; vgl. *Flight*, 1934, S. 1110; vgl. Gibbs-Smith, *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*, 1970, S. 194-204.



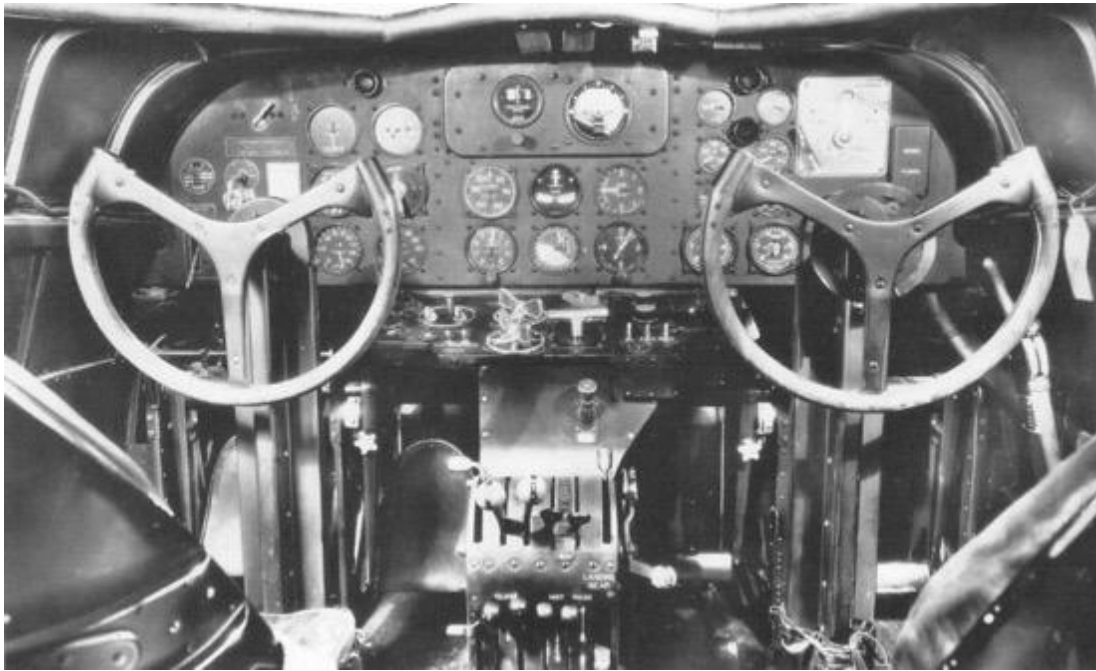


Abbildung 12: Cockpit Boeing 247 (Quelle: Coombs, 2005, S. 77)

Das Cockpit der DC-3 lässt sich nur sehr allgemein beschreiben, da dieser Flugzeugtyp in vielen Ländern auf nahezu allen Kontinenten eingesetzt wurde und die Betreiber unterschiedliche Ideen und Konzepte für das Cockpitdesign umsetzten.

Die DC-3 verfügte, wie auch andere Flugzeuge ihrer Zeit, über einen Sperry Autopiloten, dessen Bedienung im mittleren Teil des Instrumentenbretts, gleich über dem Funkkompass, installiert war. Die Triebwerksüberwachungsanzeigen waren auf der Seite des Copiloten rechts im Instrumentenbrett angebracht. Die Bedienungseinrichtungen für die Triebwerke befanden sich im mittleren Sockel des Cockpits. Die DC-3 war bezüglich Funknavigationsinstrumente und Triebwerksüberwachungsanzeigen gut ausgerüstet, allerdings war diese nicht unbedingt in einer logischen Anordnung angebracht. Die Fluginstrumente, die abseits des Sperry Autopiloten installiert waren, waren ebenfalls nicht in logischer Anordnung platziert, was aber zu dieser Zeit für amerikanische Flugzeuge typisch war. Dieser Mangel an logischer Instrumentenanordnung wurde bedeutsam, da die psychischen Belastungen stark zunahmen, wenn die Piloten sich in Warteschleifen oder im Anflug auf die verkehrsdichten Nahbereiche des Nord-Ost Korridors der USA befanden. Besonders in den ersten Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg, als der Luftverkehr ein so starkes Wachstum aufwies, dass er alle

Erwartungen in den Schatten stellte, wurde die Ermüdung der Piloten beim Instrumentenflug zu einem ernst zu nehmenden Problem.<sup>350</sup>



**Abbildung 13: Cockpit Douglas DC-3 (Quelle: Coombs, 2005, S. 79)**

Was nicht immer in Abbildungen von Cockpits der DC-3 zu sehen ist, sind die Kopfhörer für beide Piloten. Sie waren ein sehr wichtiger Ausrüstungsgegenstand, da als primäre Navigation die Funknavigation Verwendung fand. Durch die Kopfhörer hörten die Piloten das „Punkt-Strich“-Signal für links und das „Strich-Punkt“-Signal für rechts vom Leitstrahl. Mit dem Ende der 1930er Jahre hatte man in den USA ein breites Netz von Funknavigationsstationen geschaffen, das nahezu die gesamte USA abdeckte.<sup>351</sup>

Ein Rückblick auf die mehrmotorigen zivilen Flugzeuge der frühen 1930er Jahre zeigt drei grundlegende Anordnungen des Instrumentenbretts:

---

<sup>350</sup> Die Muster DC1 bis DC3 waren alle mit Sperry Autopiloten erhältlich. Siehe dazu Flight, 1934, S. 189-190; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 103; vgl. Hallion, *Test Pilots*, 1988, S. 138-144; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 13.

<sup>351</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 103-105.

- 
1. Fluginstrumente und Autopilot im Zentrum, Triebwerksüberwachungsanzeigen auf der rechten Seite und nur eine Uhr in Front des Kapitäns.
  2. Fluginstrumente links, Autopilot im Zentrum und die Triebwerksanzeigen auf der rechten Seite.
  3. Zwei Sätze von Fluginstrumenten jeweils eins rechts und eins links, Autopilot und Triebwerksanzeigen in der Mitte.

Jede dieser unterschiedlichen Anordnungen reflektiert beides, die Komplexität des Flugzeugtypen sowie die jeweiligen Vorstellungen des Betreibers über die Aufgaben und die Pflichten der Flugbesatzungsmitglieder.

Die technologischen Auswirkungen und das Ergebnis der Ausbreitung der DC-2 und DC-3 weltweit auf den kommerziellen Flugstrecken ist ein wichtiger Teil der Luftfahrtentwicklung, der dazu führte, dass es bereits 1936 Pläne für ein viermotoriges Nachfolgemuster, die DC-4 gab. Ein Teil der Douglas-Geschichte befasst sich mit dem Cockpitlayout, das archetypisch für das Zwei-Piloten-Cockpit wurde. Ein weiteres typisches Merkmal sind die Cockpitfenster, die wie kein anderes Bauteil zu einem Markenzeichen der Firma Douglas wurden.<sup>352</sup>

---

<sup>352</sup> Siehe auch Deutsche Luftwacht, 1936, S. 48.

---

## Das Cockpit

### *Vom offenen Cockpit zum „Front Office“*

Viele Airliner, Luftfahrtunternehmen die Linienluftverkehr durchführen, erreichten besonders in den 1920er und teilweise in den 1930er Jahren ihr Ziel nur aufgrund der fliegerischen und navigatorischen Fertigkeiten ihrer Piloten. Meist wurde ein Referenzpunkt anvisiert, wie zum Beispiel der Eiffelturm, der sich aus einer fast geschlossenen Wolkendecke erhob. Der Pilot teilte sich seine Platzrunde anhand dieser Referenz und entsprechend seiner Erfahrung so ein, dass er auch bei geringsten Sichten das Flugfeld fand. Er wurde förmlich „vom Geruch des Grases“ angezogen.<sup>353</sup>

Zu den wichtigsten Regeln gehörte, dass bei Verlust der Erdsicht eine Umkehrkurve zu fliegen und auf einer Wiese in der nebelfreien Zone eine Sicherheitslandung durchzuführen war. Das aber hatte für die Passagiere zur Folge, dass sie nach der Landung mit anderen Verkehrsmitteln weiter reisen mussten.<sup>354</sup>

Derartige geschilderte Verfahren waren in geschlossenen Cockpits sehr viel schwieriger oder gar unmöglich, da der Pilot keine vollständige Rundumsicht hatte.<sup>355</sup> Dadurch konnten eventuelle Hindernisse, die sich beim Kurvenflug im Flugweg befanden, erst recht spät identifiziert werden. Für eine Sicherheitslandung auf einem unbefestigten Acker oder einer anderen Freifläche war das eine sehr gefährliche Situation. Für den Fall von Störungen wie zum Beispiel einen Triebwerksausfall trafen gleiche Umstände zu. Das Blickfeld in einem offenen Cockpit ist nur bedingt von der Fluglage abhängig.

1919 zeichnete sich der Betrieb einer der frühesten britischen Airliner, Air Transport & Travel (AT&T), dadurch aus, dass sie die Ortsnamen auf den Dächern der Bahnhöfe Redhill, Tonbridge, Ashford und Edenbridge angebracht hatten. Diese Bahnhöfe lagen passenderweise auf dem geraden Kurs, zusammen mit der Chatham Eisenbahnlinie,

---

<sup>353</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 60 und 81-85; vgl. auch den Erfahrungsbericht von Captain Norman Macmillan, 1938, sowie den Artikel „Before Dawn“ aus der Zeitschrift *Flight*, 1934; vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 219-220; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101.

<sup>354</sup> Vgl. Wagner, *Luftverkehr*, 1987, S. 34.

<sup>355</sup> Vgl. Möser, *Fahren und Fliegen*, 2009, S. 219-220.

---

in Süd-Ost Richtung von London nach Dover. Die aus der Luft gut erkennbare Eisenbahnlinie wurde zur komfortablen Navigationstrecke in Richtung Paris. Sollte ein Problem auftreten, konnte der Pilot Ausschau nach einem der Notlandefelder halten, die im Abstand von circa 30 km angelegt waren.<sup>356</sup>

Das offene Cockpit wurde bis in die 1930er Jahre beibehalten. Eine Ursache dafür war auch, dass es neben der Sichtfeldreduzierung häufig zu Problemen mit verregneten oder vereisten Windschutzscheiben kam, denn grundsätzlich wurden bis 1930 weder Scheibenwischer noch beheizte Scheiben installiert.

Die 1930er Jahre sind eine Phase, in der die Cockpitgestaltung einer Reform unterlag. Zwar wurden weiterhin einige neue Flugzeuge mit offenen Cockpits in Dienst gestellt, das geschlossene Cockpit wurde aber zum Standardbestandteil der meisten größeren Flugzeuge. Die Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit der Flugzeuge fand eine größere Wertung als das Befinden der Piloten. Das offene Cockpit war aufgrund des vergleichsweise geringeren Luftwiderstandes ein wesentlicher Faktor zur Verbesserung der Flugleistungen und auch des Pilotenkomforts, wenn auch dieser von den Entwicklern und Betreibern als zweitrangig erachtet wurde.

Wie bereits angeführt, verblieb das offene Cockpit ein Merkmal der zivilen Verkehrsfliegerei bis etwa 1930. Bis dahin wurden vollständige oder teilweise geschlossene Cockpits angedacht, aber nur selten in der Praxis umgesetzt. Sikorskys Ilija Mouremetz, ein viermotoriger Bomber der damals zu den Giganten am Himmel zählte, und die Felixstowe F-Serien der Flugboote sind Beispiele von teilweise geschlossenen Cockpits. Obwohl diese Flugzeuge militärischer Natur waren, kann man sich dennoch ein Bild machen, wie zivile Flugzeuge jener Zeit ausgesehen haben.

Boeing hatte vor 1930 die 80A, einem Doppeldecker mit 18 Passagiersitzplätzen, eingeführt. Die 80A hatte ein geschlossenes „Front Office“, ein Cockpit, das direkt mit der Passagierkabine verbunden war. Nachdem man aber den Vorstellungen der Piloten gefolgt war, wurden nachfolgende Versionen mit offenem Cockpit ausgestattet. Dies ist kein Beispiel für die Bevorzugung der Haltung der Piloten, sondern eine Wertung der Schwierigkeiten bei der damaligen Navigation. Die Piloten standen in den 1920er

---

<sup>356</sup> Siehe dazu Notice to Airmen No. 4 aus 1920; vgl. Flight, 1921, S. 121.

und 1930er Jahren nicht in einer starken Argumentationsposition gegenüber technischen oder flugbetrieblichen Angelegenheiten.<sup>357</sup>



Abbildung 14: Boeing 80A (Quelle: [www.museumofflight.org](http://www.museumofflight.org))

Hinsichtlich der Cockpitgestaltung hatten in Großbritannien nur die Flugzeughersteller und die Testpiloten der RAF Martlesham Heath ein Mitspracherecht. Zivile Lufttüchtigkeitserfordernisse gingen damals bei der Gestaltung des Cockpits in keinem Land ins Detail. Denn die zivile und militärische Flugzeugentwicklung und der Konkurrenzkampf waren im Sinne des Unternehmens abhängig von den finanziellen Ressourcen, die nur zu einem geringen Teil in die Forschung und Entwicklung neuer Cockpitausrüstungen oder -entwürfe investiert wurden.<sup>358</sup>

Die ein- und zweisitzigen Flugzeuge der 1920er Jahre waren normalerweise offen im Luftschraubenstrahl positioniert. Sport- und Vorführungspiloten ertrugen den Luftzug,

---

<sup>357</sup> Siehe auch The Museum of Flight, 2011.

<sup>358</sup> Vgl. Liebing, Flugsicherheit, 1968, S. 22ff.

---

nur geringfügig von einer kleinen Windschutzscheibe geschützt. Die noch recht geringen Flugleistungen konnten noch gut durch entsprechende Kleidung und Ausrüstung kompensiert werden.

Die Vielzahl der Meinungen verlangsamte die Durchsetzung von geschlossenen Cockpits im zivilen Luftverkehr. Wie bereits beschrieben, waren viele Piloten von dem Gefühl des Winddruckes abhängig und nutzten diesen als Messinstrument. Zudem wollte sich ohne zuverlässige Scheibenwischer und beheizte Scheiben niemand notwendigerweise in einem vollständig geschlossenen Cockpit aufhalten. Schließlich zog ja auch der durchschnittliche Autofahrer, der sich oft kleidete wie ein Pilot, eine offene Fahrerkabine vor. Jedoch nach dem Ende der ersten Dekade der Fliegerei in Friedenszeiten wurde eine Reihe ziviler Flugzeuge, darunter Transporter, mit geschlossenen Cockpits in Dienst gestellt.

In den 1920er Jahren waren die Cockpits der deutschen Flugzeuge nahe am Triebwerk angebracht. Der Pionier der vollständig als Metallkonstruktion gefertigten Flugzeuge, die Junkers F13 der Luft Hansa, war nicht nur ein Eindecker, während der Himmel von Doppeldeckern beherrscht wurde, sondern hatte auch ein vollständig geschlossenes Cockpit. Die Form des vorderen Fensters manifestierte das Geschick der Metallarbeiter. Die Windschutzscheibe der F13 reduzierte den Widerstand durch ihren schnittigen Winkel; ganz im Gegensatz zur Fokker F2 des Deutschen Aero Lloyds, die die Automobiltechnik kopierte und eine senkrechte Windschutzscheibe aufwies.<sup>359</sup>

1927 nahm die Luft Hansa zwei neue Albatros L73 für den Nachtflugbetrieb zwischen Berlin und Königsberg, mit Anschlussflug nach Moskau, in Betrieb. Die Maschine hatte eine Kapazität von 8 Passagieren in Halbliegestühlen, denn diese Strecke wurde als Nacht-Schlaf-Strecke vermarktet. So wie die Passagiere hatten beide Piloten vergleichsweise viel Komfort. Sie saßen in einem vollständig geschlossenen Cockpit, dessen Frontscheiben ein Design aufwiesen, das den Flugzeugbau in den kommenden 20 Jahren beeinflusste. Da die Reisegeschwindigkeit nur 145 km/h betrug, war für die Piloten genügend Zeit, die rotierenden Leuchtfeuer, die in einem Abstand von 25 km angebracht waren, zu finden und anzusteuern.<sup>360</sup>

---

<sup>359</sup> Vgl. Griehl, Junkers Flugzeuge seit 1915, 2010, S. 20-23.

<sup>360</sup> Vgl. Flight, 1928, S. 907-922.

---

Ein Zeitgenosse der Albatros L73 war die französische L&O 21, ein für 18 Passagiere ausgelegter zweimotoriger Doppeldecker. Obwohl ähnlich in der Konstruktion, saßen die Piloten in einem offenen Cockpit oberhalb und zwischen den beiden Passagierkabinen. Im normalen Reiseflug hatten die Piloten eine gute Rundumsicht, jedoch nicht, wenn sich das Heck des Flugzeugs am Boden befand. Die Breguet 208T, ein 8-Sitzer, hatte ein geschlossenes Cockpit gleich hinter dem 450 PS Triebwerk. Es gab keine Tür zwischen der Passagierkabine und dem Cockpit, sodass die Passagiere eine gute Übersicht über die Tätigkeiten der Piloten hatten. Die Platzierung der Piloten in direkter Kommunikationslinie mit den Passagieren wurde damals als akzeptabel angesehen.

In den späten 1920er Jahren waren die Straßenverkehrsregeln, rechts halten und Linksplatzrunde, gut etabliert. Verbunden mit der Linksplatzrunde war es britische Praxis, auf der linken Seite eines Feldes zu starten und auf der rechten Seite zu landen. Diese Praxis war der Ursprung eines entsprechenden Umsichtverfahrens für die Piloten. In Abwesenheit einer leistungsstarken Bodenkontrolle mussten die Piloten ihrem Umfeld stets hohe Aufmerksamkeit zukommen lassen. Dies galt besonders für stark frequentierte Flugplätze wie zum Beispiel Le Bourget und Croydon. Der Preis für Unaufmerksamkeit waren häufig zerstörte Propeller oder auch vollständig zerstörte Flugzeuge - erneut ein Argument für die Piloten, ein offenes Cockpit wegen der besseren Rundumsicht zu favorisieren.

Obwohl die Funkkommunikation während des Ersten Weltkriegs zu einem akzeptablen Standard entwickelt worden war, waren in den 1920er Jahren nicht alle Flugzeuge mit entsprechenden Empfängern ausgerüstet. Um mit Flugzeugen in der Nähe eines Flugplatzes kommunizieren zu können, wurden im Laufe der Jahre Bodensymbole entwickelt. Beim Anflug auf den Flugplatz musste der Pilot die Informationen im „Signalquadrat“ ablesen. Verschiedene Symbole wurden verwendet, um die Platzrundenrichtung, die Start- und Landerichtung usw. zu kennzeichnen. So wurden zum Beispiel auch nicht nutzbare Flächen durch Markierungen gekennzeichnet. Während des Ersten Weltkrieges hatten die Luftwaffen der Weltkriegsarmeen Systeme für die Boden-Luft-Kommunikation entwickelt, in dem weiße Paneele in unterschiedlicher Anordnung verschiedene Botschaften übermitteln konnten. Sogar noch in den 1930er Jahren verwendete die Royal Air Force aufgrund unsicherer oder nicht existierender Funkverbindungen das Popham Panel. Dieses war ein dunkelblauer Stoff, der auf den Boden



---

ausgelegt wurde. Auf diesen Hintergrund wurden weiße Paneele so ausgelegt, dass diese bestimmte Symbole formten.<sup>361</sup>

Einmal entfernt vom Flugplatz, war der Pilot auch entfernt von jeglicher Flugverkehrskontrolle. Erst ab 1935 führten die Briten ein zonales System zur Separierung der Flugzeuge ein.<sup>362</sup> Das System basierte auf der Kopplung von Kompasskursen an entsprechende Flughöhen. Weiterhin hatte das britische Air Ministry eine Vorschrift für die Durchführung von Blindflügen veröffentlicht, die vorbeugende Maßnahmen zur Kollisionsrisikominimierung beinhaltet. In dieser Vorschrift waren neben der Festlegung von zivilen und militärischen Gebieten auch Regelungen für den Blindflug mit und ohne Funkgerät aufgeführt.<sup>363</sup>

Einige britische und französische Flugzeugtypen hatten ihr Cockpit oberhalb und hinter der Passagierkabine. Dies war eine gewichtsbezogene Anordnung, damit sich die Ladung und die Passagiere nah am Flugzeugschwerpunkt befanden. Erwähnenswertes Beispiel der Entwicklungsjahre des zivilen Luftverkehrs ist die DH18, die von A.T. & Travel betrieben wurde. Bei diesem Flugzeug wurde die Sicht des Piloten durch eine auf den Rumpf aufmontierte zentrale Sektion behindert. Ebenso erwähnenswert sind die Breguet 14T der Compagnie des Messageries Aériennes (CMA) und die Potez 9 der Compagnie Franco-Roumaine de Navigation Aérienne (CFRNA), die eine ähnliche Pilotenposition aufwiesen. Mit einem so eingeschränkten Blick in Flugrichtung wollten die Piloten nicht auch noch in einem geschlossenen Cockpit sitzen.<sup>364</sup>

Ein größeres Flugzeug im ähnlichen Design war zum Beispiel auch die Boeing 40A, die Post und Passagiere transportierte. Wie bereits erwähnt, trug die Postfliegerei wesentlich zur der Entwicklung verlässlicher Triebwerke, besserer Instrumente und mehr Navigationshilfen bei. Der deutsche Flugzeugbau verwendete nicht das Design der genannten Beispiele für einmotorige zivile Flugzeuge.

Nicht alle Flugzeugentwürfe benutzten das Grundprinzip, die Ladung nahe am Schwerpunkt zu platzieren. Bei der Latecoere 17 befand sich das Cockpit zwischen Triebwerk und Passagierkabine, einer Position, bei sich der Kopf des Piloten direkt

---

<sup>361</sup> Vgl. Flight, 1937, S. 539; vgl. Flight, 1922, S. 23; vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 83-84.

<sup>362</sup> Die so genannten Halbkreisflugflächen finden heute noch international Anwendung.

<sup>363</sup> Vgl. Flight, 1934, S. 203-204.

<sup>364</sup> Vgl. Flight, 1921, S. 203-206.

---

unter dem Tragflügel dieses Hochdeckers befand. Gleiches galt auch für die Latecoere 15, einem zweimotorigen Flugzeug. Diese Anordnung schützte den Piloten zwar beim Warten auf den Start vor Regen, erlaubte aber eine nur stark limitierte Sicht oberhalb der Augenbrauen.<sup>365</sup>

### *Fortlaufende Innovationen – der Weg zum Standard*

Die zwanziger Jahre waren eine Ära der großen Kontraste der unterschiedlichsten Flugzeugkonstruktionen. Die Motorisierungen reichten von einmotorig bis viermotorig aus, und es existierten offene und geschlossene Cockpits, die vorne, hinten und auf dem Rumpf platziert waren.

1927 setzten in den USA die Lockheed Vega und ihr Nachfolger, die Orion, neue Standards in der Konstruktion und Flugleistung. Die Orion verfügte neben einem vollständig geschlossenen Cockpit auch über ein Einziehfahrwerk.<sup>366</sup>

Obwohl die abgestuften Windschutzscheiben der Douglas DC-2 und DC-3 Familien die folgenden Standards setzten, gab es einige Flugzeuge mit nach vorne gebeugten Windschutzscheiben. Diese Einbauform wurde gewählt, um Reflexionen von Instrumenten oder Lichtern im Cockpit zu vermeiden.<sup>367</sup> Wie bereits erwähnt, sind solche Reflexionen im Cockpit für die Piloten sehr störend und können bei Ablesefehlern zu schweren Unfällen führen.

Die Curtiss-Wright CW-20 verfügte über ein Flugdeck, das zusammen mit den Instrumenten und Steuerungseinrichtungen sowie der Kabinenausstattung als sehr fortschrittlich für diese Zeit betrachtet werden kann. Als Innovation verfügte die CW-20 auch über eine beleuchtete Checkliste, bei der die Piloten den entsprechenden Modus wie zum Beispiel Start oder Reiseflug vorwählen konnten. Die für die gewählte Flugphase benötigten Systeme wurden dann auf diesem Paneel entsprechend angezeigt. Daraus lässt sich schließen, dass die Checklisten in den Flugzeugen immer umfangreicher wurden. Dies hängt zweifellos mit der Erweiterung der Systeme zusammen.

---

<sup>365</sup> Vgl. Flight, 1924, S. 783-791.

<sup>366</sup> Vgl. Flight, 1932, S. 496; vgl. Flight, 1932, S. 427; vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 85, 94-98, 105-107.

<sup>367</sup> Vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 61.

---

Neben den technischen Systemen für die Steuerung, Flugwerks- und Triebwerksüberwachung kamen auch neue Systeme wie zum Beispiel für die Kabinenbeleuchtung und die Kabinenheizung hinzu. Der Passagierkomfort hatte und hat für ein Luftfahrtunternehmen Priorität.<sup>368</sup>

Grundsätzlich wurden die Basischecklisten aller Flugzeuge anhand von Eselsbrücken erstellt. Zum Beispiel referenzieren die Buchstaben HTMPFG bei einem Flugzeug mit Kolbentriebwerk auf die Punkte Hydraulics, Throttle friction, Mixture, Propeller pitch, Flaps sowie Fuel cocks und engine-cooling Gills. Diese Gedächtnishilfen stellten neben einigen anderen Punkten sicher, dass die Leistungshebel nach Einstellen der Startleistung mit der Reibungsbremse fixiert wurden, damit diese durch Vibrationen nicht in eine andere Position rutschen konnten. Weiterhin sollte die Propellersteigung auf klein stehen und die Landeklappen sich in Startstellung befinden. Diese Eselsbrücken waren für die Piloten leicht zu merken, denn ganz besonders in kritischen Situationen, wie zum Beispiel einem Triebwerksausfall, war es wichtig, strukturiert vorzugehen.

Während der 1930er Jahre tendierte die US-Luftfahrt dazu, besonders bei kleinen zweimotorigen Flugzeugen die Innenausstattungen wie bei Automobilen zu gestalten. Zudem gab es auch Vorschläge, die verschiedenen Flugzeugkonfigurationen für Start, Steigflug, Reiseflug, Sinkflug und Landung fest einstellen zu können. Dies sollte nicht anhand einzelner Hebel oder Schalter, sondern als gemeinsame Kontrolle analog einer Gangschaltung beim Automobil funktionieren. Wegen einer Vielzahl an Gegenargumenten, nicht zuletzt aus Sicherheitsgründen, wurde diese Idee nie in die Praxis umgesetzt.

In den späten 1930er und frühen 1940er Jahre kam das Flugzeug in Nordamerika in den Fokus von Designern, die alles, von der Zahnbürste bis zum Schlachtschiff, neu gestalteten. Dies führte bei einigen Flugzeugcockpits dazu, dass diese mit eleganten Schaltern und modischen Steuerkontrollen ausgestattet wurden, wobei die Ergonomie oft ignoriert wurde.

---

<sup>368</sup> Zum Passagierkomfort siehe Kirstein, Vom Luxusverkehrsmittel zum "Slum der Lüfte"?, 2014, S. 173-202.

Zwischen 1930 und 1950 wurden die mehrmotorigen, mit Kolbentriebwerken ausgerüsteten Tiefdecker mit Druckkabine aus vorangegangenen Doppeldeckern entwickelt. Die verschiedenen Verbesserungen wie Einziehfahrwerk, Landeklappen, Autopiloten, verstellbare Propeller mit den dazugehörigen Steuerungen und Kontrollanzeigen benötigten viel Platz, unter anderem auch im Cockpit. Anzeigeeinstrumente für die Triebwerke wurden nicht mehr außen angebracht, und die einzige zusätzliche Ausrüstung, die Piloten am Körper tragen mussten, war der Kopfhörer. Am Ende dieser Ära wurde der Luftverkehr ein Treiber der globalisierten Weltwirtschaft, und das starke Wachstum führte zu fortlaufenden Generationen von immer komplexeren „Front-Offices“. Die Zeit war nun reif für die Experten der Ergonomie, ihre Fähigkeiten entsprechend einzusetzen. Ebenso wurden die Qualifikationen der Cockpitinsassen Angelegenheiten von höchster Bedeutung.<sup>369</sup>

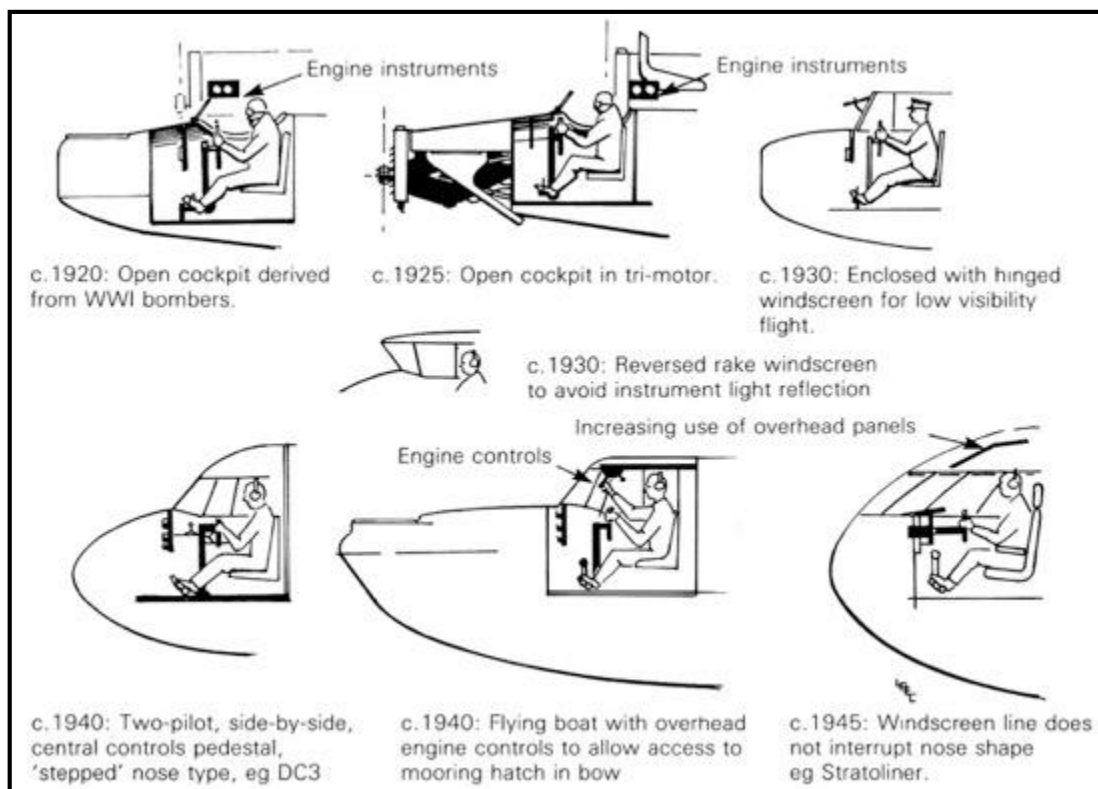


Abbildung 15: The Evolution of Civil Flight Deck (Quelle: Coombs, 1990, S. 107)

<sup>369</sup> Vgl. Uziel, Arming the Luftwaffe, 2012, S. 37; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 50.

---

Durch die steigende Anzahl der Flugkontrollen und Instrumente wuchs die Komplexität der Cockpits. Durch partielle Instrumentenzunahme waren unlogische Anordnungen fast nicht auszuschließen, besonders dann, wenn das Cockpit vom Entwurf an nicht auf Erweiterungen ausgelegt war. Über die Auswirkungen unvorteilhafter Instrumentenanordnung ist nur wenig bekannt. Viele zivile Cockpits, ebenso ihre militärischen Gegenstücke, machten den Eindruck, als schenken die Entwickler diesem keine oder nur äußerst geringe Beachtung. Oft schien es, dass Entwicklungsbüros davon ausgingen, die Piloten verfügen über drei Hände, mehrere Augen und Ellenbogen.

Die Entstehung der V-förmigen Windschutzscheiben, die heute noch in Gebrauch sind, kann bis in die 1930er Jahre zurückverfolgt werden. Der runde Sektionsrumpf mit stromlinienförmiger Verkleidung, die in einer spitz zulaufenden Flugzeugnase endet, wurde zum Standard. Ebenso setzte sich für mehrmotorige Flugzeuge die Bauweise als Tiefdecker durch. Aber es gab immer auch Ausnahmen wie zum Beispiel die Handley Page 42 (H.P.42). Die antiquierte H.P.42 stach besonders zwischen den schnellen und glatten Flugzeugen anderer Luftverkehrsunternehmen hervor. Ihr Cockpit wurde von zwei großen Steuerrädern dominiert. Die großen Räder waren notwendig, damit der Pilot die nötigen Kräfte für die Querruderbedienung aufbringen konnte. Im Kontrast dazu waren die Triebwerksleistungshebel relativ klein dimensioniert, und die Triebwerksinstrumente befanden sich auf der rechten Cockpitseite direkt vor dem Copiloten. Die Cockpitscheiben boten den Piloten eine sehr gute Sicht nach vorne und zu den Seiten. Dadurch, dass die Scheiben recht weit nach unten reichten, hatten Piloten teilweise das Problem, die horizontale Lage, aufgrund einer fehlenden Referenz zum Instrumentenbrett oder der Flugzeugnase, einzuhalten.<sup>370</sup>

Die H.P.42 war nicht der einzige Doppeldecker, der auch noch nach 1930 eingesetzt wurde. Aus einer Anzahl anderer Typen, inklusive der DH86, stach die Curtiss Condor hervor. Ihr vollständig geschlossenes Cockpit war ein frühes Beispiel für die Integration des Instrumentenbretts. Jedoch wurde kein Versuch unternommen, die Anordnung der Instrumente im integrierten Instrumentenbrett in logische Gruppen zu sortieren. Zum Beispiel waren in Front des Piloten der Drehzahlmesser, die Öldruck- und Öltemperaturanzeige sowie die Kraftstoffdruckanzeigen angebracht. In Front des Copiloten befanden sich die Zylinderkopftemperaturanzeige, Kabinen- und Außentemperatur sowie

---

<sup>370</sup> Vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 101.

---

die Treibstoffvorratsanzeigen für beide Tanks. Im Zentrum des Instrumentenbretts befanden sich der künstliche Horizont von Sperry, Kompass, Kurskreisel, Höhenmesser, Wendezeiger und Variometer. Im unteren Bereich des Zentrums waren die Schalter für das einziehbare Fahrwerk sowie deren Statuslampen. Trotz der mangelnden Ergonomie des Instrumentenbretts war die Instrumentierung umfassend und auf aktuellem Stand der Technik. Anders wäre Linienflugbetrieb bei schlechtem Wetter oder mangelnden Sichten auch nicht möglich gewesen.<sup>371</sup>

Das schnelle Auswechseln der dreimotorigen Flugzeuge in zweimotorige Flugzeuge, speziell in Deutschland und Italien in den späten 1930er Jahren, ermutigte zu einer Standardisierung im Cockpitbereich. Regelmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit ersetzten die bewährten Techniken der bisherigen Flugdurchführung. Das galt besonders für die USA und Europa. Vor 1935 zum Beispiel gab es weder Linienverkehr über den Nord- oder Südatlantik, und erst 1936 starteten Jean Mermoz und seine Crew einen Linienflugbetrieb mit einem Flugboot von Afrika nach Südamerika. Er und Antoine de St. Exupery flogen lange Distanzen, teilweise mit einmotorigen Flugzeugen, die über Cockpits verfügten, welche den damaligen Standard wiedergaben. Hinzu kamen die Probleme mit der Navigation und der Treibstoffeinsparung.<sup>372</sup>

Automatische Flugsteuerungen, wie sie ein Bestandteil größerer Flugzeuge waren, wurden in Serie nicht vor 1930 produziert. In Großbritannien wurde der Smithsche Automatic Pilot, eine Anordnung von Gyroskopen und pneumatischen Bauteilen, weiterhin verwendet, bis er durch einen vollelektrischen Piloten ersetzt wurde. Im Zweiten Weltkrieg waren für viele Flugzeuge der Royal Air Force Autopiloten vorgesehen, wurden aber aufgrund von Produktionsproblemen nicht immer eingebaut. Es war eine häufige Erfahrung bei britischen Flugzeugen in den 1940er Jahren, dass die Installation eines Autopiloten vorbereitet war, dieser aber nicht eingebaut wurde. Im Gegensatz dazu wurde in amerikanischen Flugzeugen der Autopilot gleich beim Bau der Flugzeuge integriert. So fühlten die Piloten sich nicht eines Gerätes beraubt oder hatten den Eindruck, in einem unvollständigen Flugzeug zu fliegen.<sup>373</sup>

---

<sup>371</sup> Vgl. Flight, 1930, S. 1292-1293; vgl. Flight, 1936, S. 210; vgl. Conway, Blind Landings, 2006, S. 12-33; vgl. Coombs, The Pilot's Place, 1957, S. 101; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 50-55.

<sup>372</sup> Vgl. Flight, 1935, S. 432; vgl. Flight, 1934, S. 542; vgl. Davis, Air-Mail Commentary, 1937, S. 289.

<sup>373</sup> Vgl. Flight, 1937, S. 422-423; vgl. Flight, 1932, S. 765-766.

---

## *Der Cockpitentwurf*

Nach den Aufklärungseinsätzen des Ersten Weltkriegs nahm die Anzahl der Flugbewegungen stark ab. Die Entwicklungen des Cockpitdesigns kam nahezu zum Stillstand und wurde bis zur Mitte der 20er Jahre nicht wiederbelebt, und der Entwurf neuer Cockpits stand viele Jahre nicht im primären Fokus der Flugzeugentwickler. Andere Baugruppen, welche die Flugleistungen oder Zuladung beeinflussten, wie Tragflügel, Triebwerk oder Passagierkabine, wurden bevorzugt weiterentwickelt. Für den Piloten wurde nur ein Sitzplatz „gesucht“. Die Entwickler entwarfen hierzu einen Raum, der groß genug war, dem Piloten, den Instrumenten und der Ausrüstung entsprechend Platz zu bieten.

Manchmal zeichneten die Flugzeugdesigner den Flugzeuggrundriss auf dem Hangarboden mit Kreide vor, um die Entwurfsdimensionen zu visualisieren. Sobald das Grunddesign und die Dimensionen feststanden, versuchten die Entwickler, die größten Massen in der Nähe des Schwerpunktes zu platzieren. In der Anfangszeit nahm der Pilot mit seiner schweren Kleidung (zum Kälteschutz), der Flugsteuerung, den Instrumenten und der anderen Ausrüstung einen signifikanten Anteil des Gesamtgewichtes ein.<sup>374</sup>

Coombs beschreibt das systematische Vorgehen beim Cockpitentwurf durch die Flugzeugentwickler und Konstrukteure mit folgender Hierarchie:

*„It is fair to say that from 1903 till about 1930 those responsible for the position, shape and equipment of the cockpit worked to the following order of priorities:*

- 1. Yes, we must find a place for the pilot, and like the other heavy items let us keep him close to the aircraft's centre of lift.*
- 2. Yes, we will give him a seat and we will make sure that principal controls are within reach of his hands and feet.*
- 3. Yes, we will provide some instruments, or at any rate those which are available. But we cannot guarantee that the pilot will have all the instruments he will need for all the different circumstances of a flight.*

---

<sup>374</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 22.

- 
4. *No, we cannot arrange and position all the secondary controls, such as fuel cocks and switches, in a logical order or within the undistorted reach of the pilot's fingers.*
  5. *Many of the things the pilot might like to have cannot be included because they will increase the aircraft's weight above the design limits.*
  6. *In designing the aircraft, and its cockpit in particular, we place great reliance on the special abilities of the pilot. Pilots have been trained to overcome difficulties and they do seem to like dressing up in thick leather coats, wearing silk scarves and helmets with goggles.*<sup>375</sup>

Coombs hat den letzten Punkt etwas übertrieben. Das beruht wohl auf der Tatsache, dass die Piloten sich gerne mutig dem Kampf gegen die Elemente stellten, da sie in der Anfangszeit dem geschlossenen Cockpit grundsätzlich nicht aufgeschlossen gegenüberstanden, sondern eher abgeneigt waren. Viele Elemente der Instrumente und Ausrüstung, wie zum Beispiel Funknavigationshilfen für den Landeanflug, wurden nicht umgehend von allen Piloten akzeptiert. Nur der wirtschaftliche und gesellschaftliche Druck, die Flugpläne unabhängig vom Wetter oder der Flugsicht einzuhalten, zwangen sie, die zu ihrer Unterstützung entwickelten und gebauten Instrumente zu akzeptieren und zu nutzen. Als neue Ideen zur Erhaltung der Kontrolle über das Flugzeug bei Wegfall der Bodensicht oder des Horizontes eingeführt wurden, erfolgten diese Neuerungen in einzelnen Schritten. Aus diesem Grund gab es anfangs kein festgelegtes Arrangement der Instrumente im Cockpit.

Die Evolution der Flugzeugcockpits, mit allen unterschiedlichen Ausführungen und Varianten, ist eine nie abreißende Kette von inkrementellen Innovationen. Beide Seiten, die Entwickler und die Piloten, trugen zu den Vorschlägen entsprechende Defizite vor. Aus der Sicht beider Seiten sollte weitestgehend der Satz gelten: „That looks about right“ (TLAR).

In Großbritannien veröffentlichte das Brabazon Komitee eine Reihe von Spezifikationen für zivile Verkehrsflugzeuge in verschiedenen Größen. Abgesehen von den Vor-

---

<sup>375</sup> Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 22-23.



---

gaben der zivilen Luftfahrtbehörde, die Art und Anzahl der Instrumente und Steuerungen, sowie deren Leistungsfähigkeiten und Präzision vorgab, gab es keine Anforderungen für die Gestaltung des Flight Decks. Ein Fortschreiten von Verbesserungen war nur eine begleitende Erscheinung, da existierende militärische Flugzeuge wie den Lancaster- oder Halifaxbomber für eine zivile Verwendung modifiziert wurden. Die einzige Änderung die sich virtuell dadurch ergab, war die Farbe der Uniform für die Piloten. Die Flight Decks und die Ausrüstung unterschied sich nicht von den militärischen Varianten. Während des Krieges sind viele Piloten an die technischen Verleger mit Vorschlagsempfehlungen herangetreten. Allerdings wurden diese Berichte kaum aufbereitet oder veröffentlicht, sodass Verbesserungsvorschläge seitens der Piloten nicht in die Praxis umgesetzt wurden und verloren gegangen sind.<sup>376</sup>

Abgesehen von den Instrumenten und deren Anordnung, setzte sich das Flight Deck Layout der amerikanischen Transportflugzeuge durch. Die Piloten sitzen nebeneinander, die Mittelkonsole enthält die Triebwerkskontrollen und eine Flugzeugnase in Stufenform wurde zum Standard. Die britischen Flugzeuge, wie die Tudor, die Hermes und die Viking folgten dem amerikanischen Beispiel. Die RAF Basic Six Anordnung der primären Fluginstrumente wurde auch für die zivilen Flugzeuge übernommen. Diese Instrumentenanordnung hatte sich bei sehr vielen militärischen Flugzeugen bewährt. Die Flugzeugentwickler hingegen sahen zunächst keinen großen Nutzen von dieser Anordnung. Auch das die „Primären Fluginstrumente“ direkt vor den Piloten angeordnet werden sollten stieß auf wenig Anklang, da sie zum Beispiel oft durch das Steuerhorn verdeckt werden konnten.

Die Forschungen von 1920 bis 1930 befassen sich nur wenig mit der Beziehung zwischen Pilot und Cockpit. Ab 1930 wurde dieser Beziehung mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Dabei wurde auch festgestellt, dass der Mensch schnell an die Grenzen der physischen Leistungsfähigkeit kommen kann, wenn er sich in einer Umwelt mit Umgebungsdrücken und Temperaturen unterhalb von 1013 hPa und 15°C befindet.<sup>377</sup>

---

<sup>376</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 149-150; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 102.

<sup>377</sup> Vgl. Newman & Greeley, *Cockpit Displays: Test and Evaluation*, 2001, S. 12; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 61.

---

## Rückblick auf die erste Phase des zivilen Flugverkehrs

Technische und logistische Durchbrüche bestimmten im Konkurrenzkampf mit der Eisenbahn die weiteren Fortschritte im Luftverkehr. Auch die Cockpits waren davon positiv betroffen.

Die technologische Entwicklung des gesamten Flugzeugs wird oft unterschätzt, da die Flugzeuge 1930 äußerlich kaum anders aussahen als 1918. Die wesentlichen Fortschritte wurden im Bereich der Materialien und in den Fertigungsverfahren errungen. Ab Mitte der 1920er Jahre wurden die Flugzeuge zunehmend aus Metall gefertigt, das die Holzbauweise ersetzte. Auch im Bereich der Aerodynamik waren große Fortschritte zu verzeichnen. Die größten Evolutionsschritte gelangen aber in der Triebwerkstechnik. Gegen Ende des Ersten Weltkrieges betrug die Höchstleistung der Flugzeugtriebwerke circa 250 PS, hingegen betrug 1935 die Nennleistung von Seriencylindertriebwerken bereits 500 bis 900 PS.<sup>378</sup>

Die durch die aerodynamischen Forschung errungenen Erkenntnisse machten in Verbindung mit den entsprechenden Triebwerksleistungen die Flugzeuge leistungsfähiger als je zuvor. Nun waren sie in der Lage, den lebensfeindlichen Raum der oberen Troposphäre zu erreichen. Fragen nach der flugmechanischen Stabilität stellten sich nicht mehr. Die Flugzeuge waren nun noch in einer flugmechanisch stabilen Auslegung steuerbar. Zunehmend traten aber die Probleme des Kreiseffektes auf, der durch die leistungsstarken Triebwerke nun auf die Flugzeugzelle, besonders in der Beschleunigung, einwirkte und vom Piloten ausgeglichen werden musste.

Aus den anfänglichen Lufttransportunternehmen, die mit zweisitzigen Flugzeugen Post, Personen und Fracht nach Bedarf transportierten, entwickelten sich Luftfahrtunternehmen mit festen Flugplänen, die auch bereits den nächtlichen Luftraum erschlossen.

---

<sup>378</sup> Vgl. Edgerton, England and the Aeroplane, 1991, S. 33.

---

Das primäre Navigationsinstrument war noch immer der eiserne Kompass, obwohl elektrische Instrumente unaufhaltsam auf dem Vormarsch waren, denn es sollte möglich werden, unabhängig von Tag, Nacht und Wetter zu fliegen. Die Etablierung des Flugzeugs als Verkehrsmittel verlangte diese Unabhängigkeit, da die Eisenbahn als Konkurrent nicht diesen Einflüssen unterlag. Durch Versuche, das Flugzeug als Eisenbahnersatz zu etablieren, wie zum Beispiel die Transcontinental Air Transport (TAT) Company in den USA auf der Strecke Columbus Ohio und Los Angeles, wurde die Entwicklung besserer Instrumente, Funknavigationsanlagen sowie der Flugplatzbeleuchtung vorangetrieben.<sup>379</sup>

Die Grundlagen für ein standardisiertes Cockpit wurden mit der Basic Six-Anordnung geschaffen. Diese erleichterte die Ausbildung und Umschulung der Piloten enorm. Auch die Instrumente selbst hatten optimierte Anzeigen, sodass Fehlinterpretationen weitestgehend vermieden werden konnten. Aber wie bereits erwähnt, waren für die Piloten die Anzeigeeinstrumente immer noch Sekundäranzeigen. Die primäre Navigationsanzeige waren das Horizontbild für die Fluglage sowie die Bodensicht für die Navigation.

Auch die Etablierung der Anordnung der Triebwerksleistungshebel in der Mitte des Cockpits, um beiden Piloten den vollen Zugriff zu ermöglichen, führte zu weiteren Anforderungen an diese. Je nach Sitzposition musste der Pilot mit der rechten oder linken Hand das Flugzeug steuern. Deshalb wurden für diese Cockpits die Steuerräder dem Steuerknüppel vorgezogen.<sup>380</sup> Die Begründung liegt wohl in der Möglichkeit eines einfacheren Umgreifens beziehungsweise des Wechsels der steuernden Hand.

---

<sup>379</sup> Vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 61-63.

<sup>380</sup> Vgl. Flight, 1936, S. 513.



---

# Kapitel 4 –

## Der Zweite Weltkrieg

Im Zweiten Weltkrieg kam es, mit Ausnahme von den USA, zu einer sehr schnellen Einstellung des zivilen Luftverkehrs.<sup>381</sup> Die Forschung und Entwicklung konzentrierte sich nunmehr auf militärische Belange. Im Rahmen der militärischen Entwicklungen gab es entscheidende Fortschritte, die nach dem Zweiten Weltkrieg teils auch zivil verwendet wurden. Auch im Bereich der Flugzeugcockpits kam es zum Teil zu großen Veränderungen.

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie sich die Flugzeugcockpits den technologischen Weiterentwicklungen aus der Rüstung anpassten. Ferner soll die Frage beantwortet werden, welche Entwicklungen Einfluss auf den zukünftigen zivilen Luftverkehr hatten. Daher werden Veränderungen, die sich primär auf militärische Belange beziehen, nicht berücksichtigt.

Neben den technischen Innovationen wird im Folgenden auch auf die veränderten Aufgaben und das Arbeitsumfeld der Piloten eingegangen. Durch moderne Werkstoffe und entsprechende Fertigungsmethoden stieg das Leistungsvermögen der Flugzeuge stark an, und es konnten nun problemlos Höhen von mehreren Kilometern erreicht werden. Diese lebensfeindliche Umgebung führte jedoch zwangsweise zu Veränderungen der Pilotenausrüstungen. Auch die Navigation musste sich diesen neuen Leistungsanforderungen anpassen. Es wird dargestellt, welche Innovationen es im Bereich der Funknavigation gab und welche Auswirkungen diese auf die Flugzeugcockpits hatten.

---

<sup>381</sup> Zum Luftverkehr in Deutschland siehe auch Erfurth, Luftfahrt im Dritten Reich, 2011, S. 90ff.

---

## Triebwerkssteuerung und -überwachung

Die schnelle Aufrüstung der Luftstreitkräfte ab 1934 mit Tiefdeckern in Ganzmetallbauweise als Kampfflugzeuge und Bomber brachte auch eine Änderung des Cockpitdesigns und der Anordnung der Instrumente mit sich. Die Verbreitung von Verstellpropellern, die automatisch eine konstante Propellerdrehgeschwindigkeit ermöglichten, sowie die zunehmende Verwendung von Einziehfahrwerken und variablen Landeklappen brachten weitere Steuerelemente ins Cockpit.

Eine weiterhin vorrangige Aufgabe der Piloten blieb die Triebwerksregelung. Die Triebwerke der 1930er Jahre waren immer noch recht empfindliche Systeme, die vom Piloten einen umsichtigen Umgang verlangten. Die Triebwerke konnten bei Fehlbedienung, wie zum Beispiel beim Überdrehen oder Überladen, rasch ihren Dienst versagen. In Großbritannien wurden bereits vor dem Krieg automatische Ladedruck- und Gemischregler entwickelt. Ab 1940 wurden auch die Flugzeuge der RAF zunehmend mit Verstellpropellern ausgerüstet. Diese Systeme ermöglichten es dem Piloten, sich auf das Ziel zu konzentrieren, ohne zu befürchten, dass der Ladedruck oder die Drehzahl des Triebwerks die vorgesehenen Grenzen überstiegen. Dagegen waren die amerikanischen Flugzeuge noch nicht mit automatischer Ladedruckregelung ausgerüstet. Dies bedeutete für den Piloten, dass er bei größeren Änderungen der Triebwerksleistung immer ein Auge auf die Ladedruckanzeige haben musste.<sup>382</sup>

Einige Versionen der Vickers Wellington verfügten über ein besonderes System für Not- oder Reservekraftstoff. Diese Flugzeuge hatten einen Reservekraftstoffvorrat in der Triebwerksverkleidung. Die Zufuhr zum Triebwerk wurde durch Betätigung von Seilen im Cockpit ausgelöst, um das Zuflussventil zum Triebwerk zu öffnen. Allerdings wird auch berichtet, dass die Kabel bei der Auslösung zerrissen. Das Kraftstoffsystem, das aus Haupt- und Langstreckentanks bestand, war variabel, denn es war möglich, während des Fluges den zu benutzenden Tank auszuwählen. Diese Einstellungen wurden von einem Besatzungsmitglied vorgenommen. Sie war bei Nacht mit einer Ta-

---

<sup>382</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 114-115; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 109-111; vgl. *Flight*, 1940, S. 472-473.

---

schenlampe und bisweilen gefrorenen Fingern nicht immer einfach. Während das Besatzungsmitglied die Tankauswahl vornahm, konzentrierte sich der Pilot mit seinem Gehör auf den Rundlauf der Triebwerke.<sup>383</sup>

## Nationale Unterschiede im Cockpitdesign

Wie bereits beschrieben können ab den späten 1930er Jahren nationale Unterschiede in den Charakteristika deutscher, französischer, italienischer, amerikanischer und britischer Flugzeugcockpits festgestellt werden. Dabei handelte es sich vielmehr um Details als um grundlegende Steuerungskonzepte. Da Standards für die Flugzeugbedienung international nicht geregelt waren, kam es durch die unterschiedlichen Entwickler und Konstruktionen zu diesen nationalen Abweichungen, die mit dem Wachstum der Luftfahrtindustrie in Massen produziert wurden.<sup>384</sup>

In französischen und italienischen Flugzeugen zum Beispiel war die Bewegung des Ladedruckhebels zur Leistungserhöhung genau entgegengesetzt zu den der anderen Nationen. In den französischen und italienischen Flugzeugen wurde zur Leistungserhöhung der Hebel nach hinten gezogen; bei den anderen nach vorne. Durch diese Veränderungen wurden diverse Unfälle hervorgerufen. Französische Piloten, die andere Flugzeuge, wie zum Beispiel eine Douglas DB-7 oder Curtiss Hawk 75A flogen, verwechselten die Eingabe. Gleiches geschah während des Zweiten Weltkriegs auch mit italienischen Flugzeugen. Erst nach dem Krieg passten die italienischen und französischen Entwickler dann die Bewegung der Leistungshebel dem international anerkannten Standard an.

Die Flugzeugcockpits der drei in Europa bedeutendsten Luftwaffen, der britischen, französischen und deutschen, wiesen erhebliche Unterschiede auf. Die Cockpits bildeten eine technologisch mittlerweile robuste Grundlage für zukünftige Entwicklungen, denn die meisten Bestandteile der Ausrüstung und der betrieblichen Verfahren, in und außerhalb des Cockpits, waren den Piloten zu Beginn des Zweiten Weltkriegs vertraut,

---

<sup>383</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 123; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 127-128.

<sup>384</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 114-116 und Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 57-59, 111-112.

---

obwohl sich die Anzahl der Instrumente und Schalter seit dem Ersten Weltkrieg vervielfacht hatte. Die grundsätzliche Entwicklung der Flugzeugcockpits in dieser Zeit kann wie folgt zusammengefasst werden:<sup>385</sup>

- In den amerikanischen Cockpits nahmen die Schalter, da sehr viele elektrische Motoren und Aktuatoren verwendet wurden, enorm zu. Dies führte aber auch zu einer mangelhaften Anordnung, die offenbar jeglicher Logik oder Vereinheitlichung widersprach. Allerdings waren die amerikanischen Cockpits für die Piloten weit bequemer als die der anderen Nationen ausgelegt. Ein maßgeblicher Schritt einer einheitlichen Entwicklung der Cockpitinstrumente war, dass besonders die Instrumente für die Triebwerksüberwachung und Steuerung über jeweils zwei Zeiger verfügten, einer für rechts und einer für links. Dabei wurden die Triebwerksanzeigen meist vor dem Copiloten platziert, während die Fluglage- und Navigationsinstrumente häufig in der Mitte angeordnet waren.
- Die Entwicklung der britischen Cockpits ab 1936 wurde weiterhin von den unterschiedlichen Entwicklern und Konstrukteuren geprägt. Viele dieser Divergenzen dienten auch hier dem Komfort des Piloten. Doch das wesentliche Merkmal britischer Cockpits war die Basic Six-Anordnung der wichtigsten Fluginstrumente.
- In den deutschen Cockpits wurde viel Wert auf Details gelegt, die die Produktcharakteristika der Hersteller wie Junkers, Heinkel, Messerschmidt und anderen Herstellern wiedergaben. Im Gegensatz zu britischen Cockpits wurden die Instrumente in sauber ausgeschnittenen Instrumentenbrettern gefasst, und die Kabel wurden gebündelt. Dadurch wirkten die deutschen Cockpits besonders aufgeräumt und übersichtlich. Ein weiteres Merkmal deutscher Cockpits war die großzügige Fensteranordnung, die dem Piloten ein weites Blickfeld eröffnete.

---

<sup>385</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 114-116 für die aufgeführten Unterschiede der Cockpits; siehe dazu auch Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 109-118; vgl. zu britischen Cockpits: Sparrow, *Offices to let – or hinder*, 1942, S. 6-9.



- 
- Die französischen Cockpits waren eine Mischung aus britischen und deutschen Einflüssen, da die französischen Entwickler und Konstrukteure aufgrund des Blitzkrieges nur sechs Monate Zeit hatten, eventuelle Verbesserungen im Cockpitdesign umzusetzen.

Neben den Unterschieden in der Cockpitgestaltung waren auch verschiedene Maßeinheiten für die Anzeigen verbreitet. Obwohl die Fahrtmesser fast immer in Knoten kalibriert waren, entstand zwischen 1920 und 1930 ein größerer Bedarf an Fahrtmessern, welche die Geschwindigkeit in Meilen pro Stunde anzeigten. Diejenigen, die Karten zur Navigation verwendeten, wie zum Beispiel Flugboote oder Langstreckenflugzeuge, arbeiteten gewöhnlich mit Knoten und Nautischen Meilen wegen des Bezugs zur Breitenminute. Die Instrumente deutscher, italienischer und französischer Flugzeuge waren in Kilometer pro Stunde kalibriert, da die Karten dieser Nationen auch im Maßstab an den Kilometer angelegt waren. In Großbritannien wurden während des Zweiten Weltkriegs die Instrumente der gesamten Luftflotte auf Knoten und Nautische Meilen kalibriert, um sie an die Bedürfnisse des Coastal Commands anzupassen. Nach dem Krieg übernahm auch die zivile Luftfahrt diese Geschwindigkeits- und Distanzeinheiten. Dies machte es für die meisten Piloten einfach, da sie vielfach ehemalige RAF-Piloten waren.

## Steigende Flugleistungen und komplexere Cockpits

In den Zwischenkriegsjahren sowie zu Anfang des Zweiten Weltkrieges begannen die Piloten ihre Flugausbildung mit einmotorigen Doppeldeckern, die zum Teil einen Entwicklungsstand von 1920 aufwiesen. Im Anschluss wechselten sie dann zu Eindeckern mit geschlossenem Cockpit, Einziehfahrwerk und Verstellpropellern. Aber die wichtigste Neuerung war eine Cockpitinstrumentierung, die einen Flug ohne Sicht nach außen ermöglichte. Durch die Zunahme der Komplexität und Anzahl der Schalter, Hebel, Räder und Anzeigen im Cockpit wurde in der Ausbildung, besonders bei der RAF, Wert auf Cockpitdrills gelegt. Dabei sollte sich der Flugschüler mit verbundenen Augen ins Cockpit setzen und die Normal- sowie Notverfahren durchgehen; zudem musste er im Stande sein, die richtigen Schalter und Hebel blind zu bedienen. Dies führte zu

---

einer verbesserten Motorik und zu einer wachsenden Vertrautheit mit dem Flugzeug. Bei einem Triebwerksausfall und ähnlich kritischen Flugsituationen sollte der Pilot die richtigen Handgriffe auf Anhieb ausführen können, ohne sich zuvor visuell orientieren zu müssen.

Bei britischen mehrmotorigen Flugzeugen änderte sich die Anordnung des Gashebels je nach Flugzeugmuster. Bei einigen Typen wurde die Leistung mit der rechten Hand, bei anderen mit der linken Hand gesteuert und das Flugzeug mit der jeweils anderen Hand geflogen. Auch daraus ergaben sich viele Umstellungen für die Piloten. Bei deutschen Flugzeugen war im Gegensatz dazu der Leistungshebel grundsätzlich auf der linken Seite. Viele kommandierende Offiziere der RAF bestanden auf entsprechenden Drills insbesondere bei Umschulungen von anderen Flugzeugmustern. Der geringe Grad an technischer Standardisierung führte zu vielen Variationen der Anordnung von primären und sekundären Kontrollen.

Zahlreiche Piloten machten auf die Probleme der unterschiedlichen Cockpitlayouts und Bedienelementanordnung aufmerksam, da diese ein hohes Gefahrenpotential beinhalteten, und einige verbanden damit die Empfehlung, entsprechende Verknüpfungen zu installieren, die eine Bedienung in falscher Reihenfolge ausschließen sollten. Diese wurde aber von den Entwicklern nicht umgesetzt, da damit die Systemkomplexität weiter ansteigen würde. Auch ähnliche Vorschläge wie die logische Anordnung von Schaltern, Instrumenten und Steuerungen wurden nicht berücksichtigt.<sup>386</sup>

In Deutschland war die Auswahl der militärischen Flugzeuge recht komplex. Ab 1935 wurden Modelle aus Holz konstruiert, an denen vor allem technische Belange schon während der Planungsphase getestet wurden. Unter anderem standen auch die Sicht nach Außen sowie die Zugänglichkeit zur Rettungsausrüstung im Blickpunkt. Die missionsbedingten Parameter standen aber im Vordergrund. Aus Tests, die unter Leitung des Reichsluftfahrtministeriums durchgeführt wurden, entstanden zusätzlich viele Verbesserungen.<sup>387</sup>

Eine neue Generation von Flugzeugen, die im Verlauf des Zweiten Weltkriegs entwickelt wurden, brachte aufgrund ihrer veränderten Aerodynamik sowie verbesserten

---

<sup>386</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 121-125 und Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 109-111 und 135-137.

<sup>387</sup> Vgl. Homze, *Arming the Luftwaffe*, 1976, S. 116-119.

---

Triebwerksleistungen weitere Probleme mit sich. Durch die Verbesserung der Tragflächenprofile sowie die Verwendung von festeren Werkstoffen stieg die Flächenbelastung der Flugzeuge an. Dies hatte zur Folge, dass die Geschwindigkeiten größer wurden. Mit dieser Geschwindigkeitserhöhung mussten die Piloten auch mental fertig werden. Die höheren Mindestgeschwindigkeiten ließen den Piloten weniger Zeit, die Flugplätze zu identifizieren. Weiterhin waren in Bodennähe aufgrund der höheren Strömungsabrissgeschwindigkeit enge Kurven sehr gefährlich. Aus diesem Grunde änderte sich die Platzrundeneinteilung erheblich, und die genaue Identifizierung des Flugplatzes bzw. der Landebahn erfolgte teilweise erst recht spät, auch aufgrund der Tatsache, dass der Kurvenradius bei höherer Fluggeschwindigkeit mit gleicher Queralage ansteigt.

1949 stellte Arthur Roderick Collar durch eine Analyse von Unfallberichten der RAF fest, dass viele Piloten nicht ausreichend im Instrumentenflug geschult waren. Es stellte sich heraus, dass viele Piloten den Winkel für den Steigflug nach dem Start am Tage anders festlegten als in der Nacht. Am Tag beurteilten die Piloten den Steigwinkel aufgrund des Gefühls, wie sie in den Sitz gepresst wurden. In der Nacht, mit einigen Lichtern am Boden, waren die Piloten nicht mehr im Stande zu unterscheiden, ob sie sich in einem Steigflug oder in einem beschleunigten Gradeausflug befanden. Die Gefahr bestand darin, dass nach dem Ausleiten des Steigflugs das Flugzeug beschleunigt. Da der Unterschied - beides macht sich durch einen konstanten Druck in den Sitz bemerkbar - nicht erkannt werden konnte, wurde oft ein Sinkflug eingeleitet, der fatal enden konnte.

Langstreckenflüge, wie zum Beispiel die Überführung von Flugzeugen von den USA nach England, stellten ganz besondere Herausforderungen an die Flugbesatzungen. Die Cockpits waren mit Ausrüstung nahezu überfüllt. Neben ihren Fliegerkombis trugen die Besatzungen noch Schwimmwesten, Fallschirme, Kopfhörer zur Kommunikation sowie Sauerstoffmasken. Die Navigation erfolgte je nach geographischen Gegebenheiten nach Sicht, Astronavigation oder Funknavigationsverfahren. Die Kälte tat ihr übriges, und einige Flugzeuge gingen bei diesen Langstreckenflügen aufgrund von Eisansatz auf den Tragflächen verloren<sup>388</sup>, denn sobald unterkühlte Körper wie etwa hochfliegende Flugzeuge durch feuchte Luft fliegen, kommt es zu Eisansatz an der

---

<sup>388</sup> Vgl. Jordanoff, *Instrument Flying*, 1938, S. 325-337.

---

gesamten Frontseite. Dieser Eisansatz kann sehr schnell und in einem solch großen Umfang erfolgen, dass die stark beeinflusste Aerodynamik ein Flugzeug flugunfähig werden lässt. Auch die Massezunahme durch das Eis wirkt sich negativ auf das Flugverhalten aus. Die Propeller und Triebwerke sind ebenfalls anfällig für Vereisung und werden entsprechend beeinträchtigt.

Im Zweiten Weltkrieg wurden schon vereinzelt Bildschirme im Cockpit installiert. Die Röhrenbildschirme wurden zunächst nur zur Darstellung von Radarbildern verwendet. Allerdings waren die Genauigkeit der bordeigenen Radargeräte sowie die Qualität der Anzeige noch sehr gering, da auch die Anzeigengröße nur vergleichbar mit den anderen Instrumenten war. Für den Piloten aber bedeutete dies wieder ein weiteres Instrument, das entsprechend zu interpretieren war. Um den Piloten ihre Arbeit zu erleichtern, fand der Autopilot in vielen Flugzeugen Anwendung. Neben den stetigen Verbesserungen der Fluginstrumente wurden auch die automatischen Flugsteuerungen weiterentwickelt und serienreif. Eine Kopplung der Gyroskope mit Magnetfeldinduktoren (Flux Valve) zur Korrektur der Erdrotation wurde schon bald zum Standard.<sup>389</sup>

Obwohl die Schallgeschwindigkeit noch nicht erreicht werden konnte, fanden vermehrt auch Machmeter einen Platz im Cockpit. Propellerbetriebene Flugzeuge erreichten im Zweiten Weltkrieg maximal 80 Prozent der Schallgeschwindigkeit. An einigen Stellen der Tragflächenoberseite konnte es partiell aber zu Verdichtungsstößen kommen, welche die Aerodynamik oder die Steuerung nachteilig beeinflussen konnten.

## Neue Funknavigationssysteme

Der Brite Robert Dippy verfasste 1937 einen Bericht über ein Schlechtwetter-Anflugsystem, welches sich auch zur Navigation von Bombern eignen würde. Er zeigte ein System auf, das aus zwei Anlagen mit einem Abstand von circa 15 km zueinander besteht. Die Anlagen senden synchronisierte Impulse aus. Werden diese Impulse von einem Flugzeug gleichzeitig empfangen, befindet sich das Flugzeug auf einer Positionslinie, die in jedem Punkt den gleichen Abstand zu den Sendestationen aufweist. Daraus ergaben sich mögliche Anwendungen dieses Systems als Navigationsmittel.

---

<sup>389</sup> Vgl. Flight, 1944, S. 20-21; vgl. Walker, Navigationssysteme, 1993, S. 151-152; vgl. Sperry Gyroskope Company Limited, 1956, S. 53-73.

---

Mit drei Sendeanlagen in größeren Abständen wäre eine wetterunabhängige Navigationseinrichtung geschaffen worden, die Positionsbestimmungen bei einer hohen Genauigkeit zugelassen hätte. Allerdings entschied das britische Luftfahrtministerium, in dieser Angelegenheit nichts zu unternehmen. Drei Jahre später wurde Dippy's Bericht wieder aktuell, und eine Master-Station und zwei Slave-Stationen wurden errichtet. Man nannte dieses System Gee (G für Grid-Raster). Die erste Gee-Mission wurde am 26. Juni 1941 geflogen. Der Navigator musste die Pulse von dem Raster einer Kathodenstrahlröhre ablesen und den Punkt auf eine Karte übertragen. Dies dauerte bis zu 15 Sekunden pro Bestimmung eines Fixpunktes. Das Gee-System wurde als Hyperbelnavigationseinrichtung in den folgenden Jahren weiterentwickelt. Nach Kriegende kam es auch zur zivilen Nutzung dieses Systems, das bis 1960 in Nordeuropa verwendet wurde. Eine Weiterentwicklung des Gee-Systems war das Decca-System. Die britische Admiralität beauftragte 1942 den Bau einer Master-Station und drei Slave-Stationen mit einem Abstand von 120 km. Das Decca-Navigationssystem wurde auch von den Schiffen der Kriegsmarine als Funknavigationssystem verwendet. Erst 1946 wurde Decca auch von zivilen Flugzeugen genutzt.<sup>390</sup>

Die neuen Flächennavigationssysteme hatten einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Cockpits. Nun konnte schrittweise auf die Verwendung von Berechnungen mit Papier und Bleistift verzichtet werden. Die Navigationssysteme reagierten direkt auf entsprechende Eingaben, sodass die Frage nach der aktuellen Position schneller beantwortet werden konnte. Dies war der erste Schritt, um die Piloten unabhängig vom Navigator zu machen, der bei Langstreckenflügen ein ständiges Besatzungsmitglied war.

Als Vollendung der Autopiloten-Steuerung gilt die automatische Landung. In Großbritannien wurden 1944 Experimente zu drei Technologien durchgeführt, mit der ein Teil der automatischen Landung, der automatische Landeanflug, durchgeführt werden konnte. Es waren die Systeme Rebecca / Eureka, SCS-51 und das Ground Control Approach (GCA) Radar. Gemeinsam bildeten sie den Vorgänger der automatischen Landesysteme, die nach dem Zweiten Weltkrieg entwickelt wurden. Der Bezug zur

---

<sup>390</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 141; vgl. *Flight*, 1945, S. 208-211; vgl. Bailey-Watson, 1945, S. 252-254; vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 46-68; vgl. *Flight*, 1945, S. 285; vgl. Walker, *Navigationssysteme*, 1993, S. 147-151.

---

Entwicklung von Flugzeugcockpits besteht darin, dass durch solche Systeme dem Piloten ein Navigationssystem mit der Möglichkeit, Anflüge und Landungen durchzuführen, zur Verfügung steht, das ihn unabhängig von anderen Besatzungsmitgliedern macht. Auch braucht er nicht mehr auf akustische Signale zur Navigation zu hören, was eine enorme Dauerbelastung für den Piloten bedeutete. Die experimentale Ausrüstung einer Boeing 247D und einer B-24 beinhaltete eine Anzeige für das SCS-51, das von der ICAO 1949 in ILS (Instrument Landing System) umbenannt wurde und auf dem Lorenz-Blindlandesystem basierte. Neben der benötigten Landekurs- und Gleitweganzeige bestand die Ausrüstung noch aus einer frühen Version des Radioentfernungsmessers (DME).

Das SCS-51 setzte sich rasch durch und kam zum Beispiel bei der Berliner Luftbrücke 1948/49 zum Einsatz. Mit dieser Ausrüstung war es dem Piloten unter anderem möglich, einen Endanflug in einem 3° Gleitwinkel auf einen Flugplatz durchzuführen. Der 3° Landeanflug sowie das ILS in seiner Gesamtheit wurden damit zum internationalen Standard nur wenige Jahre nach dem ersten Anflug im gewerblichen Luftverkehr mit Hilfe eines ILS, der 1947 von Braniff Airways durchgeführt worden war. Nun wurde jeder Endanflug nach Instrumentenflugregeln in diesem Winkel ausgeführt. Die Standardisierung des Anfluggleitwinkels vereinfachte die Entwicklung von Systemen für automatische Landungen erheblich, da die Anforderungen nun unabhängig vom angeflogenen Flugplatz waren. Der typische Anfluggleitwinkel der RAF lag dagegen bei 5-6°. Dieser Winkel eignete sich nicht für automatische Landungen, da die Änderung des Anstellwinkels kurz vor dem Aufsetzen zu groß war.<sup>391</sup>

## Fokussierung auf die Flugbesatzung

Während des Zweiten Weltkrieg wurde die physiologische Forschung zum menschlichen Leistungsvermögen und Wohlbefinden im speziellen unter Stress und bei langen Aufenthalten im Cockpit intensiviert. Allerdings lagen Cockpitentwicklungen in der Pri-

---

<sup>391</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 39-44; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 141; vgl. Flight, 1945, S. 208-211; vgl. Conway, *Blind Landings*, 2006, S. 104-115; vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 186-190; vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 300; vgl. Walker, *Navigationssysteme*, 1993, S. 147-151.

---

oritätsliste recht weit unten. Vornehmlich ging es um die Leistungsfähigkeit des Flugzeugs als Waffensystem selbst. Viele Erkenntnisse zur Belastung des Piloten wurden während des Krieges nicht umgesetzt.<sup>392</sup>

Als wichtig wurde dagegen die Fähigkeit des Piloten erachtet, die Instrumente korrekt ablesen zu können. So mussten zum Beispiel beim Kompass geografische Einflüsse wie Ortsmissweisung, Flugzeugeinflüsse wie Deviation sowie Fluglageeinflüsse wie Steig-/Sinkflug oder Kurvenflug berücksichtigt werden. Auch bei dem Fahrtmesser mussten entsprechende Korrekturen für Flughöhe und Außentemperatur beachtet werden.

Weiterentwicklungen gab es auch im Bereich der Druckkabinentechnik. Die Flugzeuge waren dadurch in der Lage, weit über 20.000 ft zu fliegen. Der Aufwand, das Cockpit und auch die Kabine entsprechend zu beheizen, sowie der sehr geringe Luftdruck in diesen Höhen rechtfertigten die Entwicklung von Druckkabinen. Schließlich beträgt in 30.000 ft der Umgebungsdruck mit nur 303 hPa ein Drittel des Drucks am Boden. Die Außentemperatur beträgt in diesen Höhen bis zu -44°C.<sup>393</sup>

Auch wurden bereits Forschungsprojekte zum Einfluss von Müdigkeit auf Flugbesatzungen im Simulator durchgeführt. Dabei wurden besonders Einflüsse wie Lärm und Flugzeugbewegungen bei der Konzentration auf die Instrumente berücksichtigt. Die Ergebnisse bestätigten die Erwartung einer deutlichen Verschlechterung der Leistungen nach mehrstündigem Flug unter ständiger Lärmbelastung und bei hoher Konzentration auf die Instrumente.

Neben vielen technischen Innovationen, die auch für die zukünftige zivile Luftfahrt von Bedeutung waren, rückte auch der Pilot mehr in den Fokus der Cockpitentwicklung. Die Ausbildung von Piloten ist ein langwieriger Prozess, musste aber kriegsbedingt beschleunigt durchgeführt werden. Um dies zu ermöglichen, war eine Standardisierung der Cockpits von großem Vorteil. Auch versuchte man, mehr über das menschliche Leistungsvermögen der Piloten in Erfahrung zu bringen. Dazu zählte neben der Optimierung des Cockpits als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine auch die Zusammenarbeit der Flugbesatzung. Das Cockpit wurde aufgrund der Zunahme der

---

<sup>392</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 136-137; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 121-126.

<sup>393</sup> Siehe dazu International Standard Atmosphere (ISA) im ICAO Document 7488/2.

---

Systeme immer unübersichtlicher und komplexer. Abgesehen von militärischen Ausrüstungen wurden Landeklappen, Einziehfahrwerke, Heizung, Lüftung sowie Sauerstoffregler zum Standard. Diese Systeme mussten alle überwacht und bedient werden.

Lediglich die neuen Navigationssysteme, allem voran die Hyperbelnavigation, hatten keinen offensichtlichen Einfluss auf die Cockpitgestaltung. Zu ihrer Bedienung wurde grundsätzlich immer noch ein Navigator benötigt. Allerdings änderte sich die Arbeit des Navigators in der Hinsicht, dass er weniger rechnen musste. Seine Aufgabe bestand vermehrt im Übertragen von Messwerten auf Karten.



---

# Kapitel 5 – Wiederaufbau des Zivil- luftverkehrs

Nachdem sich die Weltwirtschaft nach dem Zweiten Weltkrieg wieder erholt hatte, expandierte der Luftverkehr in hohem Tempo und entwickelte sich zu einer Triebfeder der Globalisierung. Zunächst wurden aufgrund der mangelnden Ressourcen Militärflugzeuge zu zivilen Transport- und Passagierflugzeugen umgerüstet. Danach wurden dann auch rein zivile Verkehrsflugzeuge neu entwickelt und gebaut. Im Nachfolgenden soll nun erörtert werden, wie sich die zivilen Cockpits entwickelten, für die sich in dieser Phase der Begriff Flight Deck durchsetzte.<sup>394</sup>

Die Evolution vom Cockpit zum Flight Deck hatte viele Varianten. Die Steuer- und Überwachungszentrale von Verkehrsflugzeugen entwickelte sich von einer kleinen Kabine, in der gerade einmal zwei Piloten Platz fanden, zu einem begehbaren Raum, analog zu einer Schiffsbrücke. Auch war von nun an das Flight Deck grundsätzlich mit der Passagierkabine verbunden, sodass die Flugbesatzung keinen autonomen Zugang zu ihrem Arbeitsplatz benötigte. Die räumliche Verbindung erleichterte auch die Einführung der Druckkabine, da der Innenraum nur aus einem Druckzylinder bestand. Sie wurden ab 1950 zum Standard für Verkehrsflugzeuge, da die typische Reiseflughöhe 20.000 Fuß oder mehr betrug.

Welche Einflüsse hatten die größeren Flugleistungen, auch durch den Jetantrieb, auf das Flight Deck? Gab es neben technischen Innovationen weitere zentrale Felder, die von den Flugzeugherstellern und Luftfahrtunternehmen berücksichtigt werden mussten? Wie entwickelte sich die Navigation und aus welchen Gründen waren dabei Flä-

---

<sup>394</sup> Siehe dazu auch Risukhin, Automation, 2001, S. 70-72.

---

chennavigationssysteme von so großer Bedeutung? Schließlich: Wie konnten Standards weltweit umgesetzt werden? Um diese Fragen zu beantworten, wird im Folgenden auch auf Luftfahrtbehörden und Organisationen eingegangen.

## Neue Flugzeugentwicklungen

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde deutlich, dass sich der Transport mit Flugzeugen schwerer als Luft technisch außerordentlich dynamisch weiterentwickelt hatte. Die Zukunft des Passagiertransports, vor allem auf langen Strecken, sollte bei den Flugzeugen liegen. Doch außer den USA traten zunächst nur die britischen und französischen Luftfahrtindustrien auf dem Markt der internationalen zivilen Luftfahrt auf. Beide Länder beendeten den Krieg mit einer starken wirtschaftlichen und technologischen Abhängigkeit von den USA.

Am Beispiel der zwei westlichen Alliierten, Großbritannien und der USA, ist zu sehen, dass die Entwicklung nach dem Krieg sehr unterschiedlich verlief. Beide Nationen starteten mit unterschiedlicher Ausrüstung und mit unterschiedlichen Ideen. Die USA hatten nach Kriegsende den Zugriff auf eine gewaltige Anzahl von militärischen Transportflugzeugen, die in Passagierflugzeuge konvertiert werden konnten. Zu ihnen zählten vor allem die C-54 Skymaster (DC-4) und die C-47 Dakota (DC-3). Neuentwicklungen der unmittelbaren Nachkriegsjahre waren die DC-4, die Boeing 377 Stratocruiser und die berühmte Lockheed Constellation, wobei sie vielfach noch auf technischen Standards der 1930er Jahre aufgebaut waren. In Großbritannien standen dagegen keine für den Passagiertransport brauchbaren Flugzeuge zur Verfügung. Die Wellington und die Vickers wurden modifiziert und mit einem Cockpit für zwei Piloten ausgerüstet. Die Lancaster und Halifax wurden zu Passagier- und Frachtflugzeugen weiterentwickelt. Allerdings änderten sich die Flight Decks im Vergleich zu der Bombervariante nicht merklich.<sup>395</sup>

Trotz des wachsenden Aufkommens der Propellerturbinen- und Jetantriebe zwischen 1945 und 1960 wurden aber auch Flugzeuge mit Kolbentriebwerken sehr häufig eingesetzt. Zu ihnen zählten die Lockheed Constellation, die Douglas DC-6, der Boeing

---

<sup>395</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 171; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 145-149; vgl. Coombs, *The Pilot's Place*, 1957, S. 102.

---

Stratocruiser und die Convair CV 240. Diese waren komplizierte Flugzeuge mit für die Besatzung verwirrenden Flight Decks; bestehend aus Hebeln, Schaltern, Ventilen und Instrumenten.<sup>396</sup>

Auf Langstrecken verdrängte dagegen der Jetantrieb die konventionellen Triebwerkstechniken rasch. Im ersten Nachkriegsjahrzehnt unterschieden sich in den USA die Flight Decks der militärischen Flugzeuge kaum von denen der zivilen Maschinen, da diese meist Derivate der militärischen Varianten waren. Die DC-4 zum Beispiel, deren Flight Deck und Steuerungen dem aktuellen technischen Standard dieser Zeit entsprachen, war der Vorläufer einer langen Serie an Derivaten, wobei jeder Flugzeugtyp größer und vielseitiger war als der Vorgänger. Die DC-7C wurde 1953 in Betrieb genommen. Mit ihren vier turboaufgeladenen Wright R-3350 Triebwerken, mit jeweils 18 Zylindern, benötigte sie umfangreiche Steuerungen und Instrumente. Das Cockpit entsprach von den Dimensionen her noch denen des Vorgängers, der C-54<sup>397</sup>. Dies war ein mit Instrumenten und Anzeigen überfrachtetes Flight Deck, wobei sich der Flugingenieur als Teil der Besatzung um insgesamt 72 Zylinder, 288 Ventile, 144 Zündkerzen sowie die Abgasturbolader zu kümmern hatte. Auf transozeanischen Flügen gehörte zusätzlich ein Navigator mit zur Besatzung, da Funknavigationseinrichtungen auf diesen Strecken noch nicht verfügbar waren.<sup>398</sup>

Die Constellation wurde wie ihr Konkurrent, die DC-7C, über die Jahre stufenweise zur Erhöhung der Geschwindigkeit und der Reichweite weiterentwickelt. Von Beginn an verfügte dieses Flugzeug über ein umfangreiches Flight Deck mit einem Platz für einen Flugingenieur. Fotografien von Flight Decks amerikanischer viermotoriger Flugzeuge zeigen vermehrt die Verwendung von Instrumenten mit zwei Zeigern. Dadurch konnte die Anzahl der benötigten Instrumente halbiert und eine bessere Übersicht geschaffen werden. Die typische Zentralanzeige in der Mitte des Instrumentenbretts beherbergte zwei Drehzahlmesser nebeneinander. Der Linke zeigte die Drehzahl des äußeren linken und des inneren linken Triebwerks (Nummer 1 und 2), der Rechte die des inneren rechten und des äußeren rechten Triebwerks (Nummer 3 und 4) an. Die Nummerierung der Triebwerke in Flugrichtung von links nach rechts wurde damals zum Standard.

---

<sup>396</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 45.

<sup>397</sup> Die Douglas C-54 Skymaster ist die militärische Variante der Douglas DC-4.

<sup>398</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 145-146, 152; vgl. Hallion, *Test Pilots*, 1988, S. 140.

Mit der DC-7C und der Constellation wurde ein Muster für den prinzipiellen Aufbau des Instrumentenbretts im Flight Deck definiert, das sich weltweit durchsetzte. Ein doppeltes Fluginstrumentenpanel mit einem Triebwerksinstrumentenpanel in der Mitte bildeten das vor den beiden Piloten angebrachte Instrumentenbrett. Die Mittelkonsole beinhaltete die Leistungshebel für die Triebwerke und andere wesentliche Steuerungen. Jenseits dieser basalen Standardisierung existierten weiterhin viele Variationen in den einzelnen Flugzeugtypen. Zum Beispiel kamen die Piloten der Boeing Stratocruiser von den Außenseiten zu ihren Sitzen. Der Platz des Flugingenieurs war auf der rechten Seite hinter dem Sitz des Copiloten. Der Sitz des Flugingenieurs konnte gedreht werden, sodass er entweder nach rechts auf die Anzeigen zeigte oder in Flugrichtung, wenn er sich zwischen den Piloten befand. Die Mittelkonsole war nach hinten verlängert und besaß einen zweiten Satz von Leistungshebeln, die der Flugingenieur bedienen konnte. Ähnliche Anordnungen wurden auch bei anderen Transportflugzeugen verwendet.



Abbildung 17: Flight Deck Boeing Stratocruiser (Quelle: Coombs, 1990, S. 172)

---

Die Luftfahrtbehörden, auf die später noch eingegangen wird, erließen und veröffentlichten entsprechende Bauvorschriften für zivile Flugzeuge. Die Bauvorschriften beinhalteten die grundlegenden Anforderungen, auch die der Instrumentierungen und Ausrüstungen für die Verkehrszulassung der Flugzeuge. Weitere Anforderungen konnten sich aus entsprechenden Betriebsvorschriften ergeben, etwa die Vorschriften für den kommerziellen Einsatz im Linienverkehr. Die Bauvorschriften der amerikanischen Civil Aviation Authority (CAA) von 1958 sahen zum Beispiel vor, dass die Flugüberwachungs-, Navigations- und Triebwerksüberwachungsinstrumente so anzuordnen waren, dass jeder Flugzeugführer sie von seinem Platz aus mit Blick in Flugrichtung mit möglichst geringer Änderung seiner normalen Haltung und Blickrichtung deutlich sehen konnte. Nicht nur die Anordnung, wie zum Beispiel die Basic-T-Gruppierung, sondern auch die erforderlichen Instrumente bzw. Anzeigen waren aufgeführt.<sup>399</sup>

## Flightdecks der ersten Passagierjets

Zu Beginn des Jetzeitalters wiesen die Instrumente und Steuerungen der Jetflugzeuge leichte Unterschiede zu denen der Flugzeuge mit Kolbentriebwerken auf. Die Flight Decks der ersten Passagierjets wie die de Havilland Comet, die Tupolev 104 und die Boeing 707 waren für zwei Piloten sowie einen Navigator und einen Flugingenieur ausgelegt. Die Reduzierung der Flugbesatzung auf zwei Piloten, wie es heute üblich ist, war ein langer Weg. Die de Havilland Comet DH 106 hatte als erstes ziviles Verkehrsflugzeug mit Jetantrieb, trotz schwerer Rückschläge 1953 und 1954 aufgrund struktureller Fehler, eine bemerkenswert lange Einsatzdauer bei den Luftfahrtunternehmen.<sup>400</sup>

Eines der ersten Details, die für das Flight Deck festgelegt wurden, war die Form der Flugzeugnase in Kombination mit den Fensterscheiben. Es gab zwei mögliche Lösungsansätze: Zum einen einen abgestuften Übergang, der bei dem Großteil der Flugzeuge üblich wurde, zum anderen einen glatten Übergang, bei dem Flugzeugnase und Fensterscheiben eine glatte Linie formten. Abgesehen von ästhetischen Aspekten bot

---

<sup>399</sup> Vgl. Civil Aviation Authority, 1959, Civil Air Regulations CAR 4b.

<sup>400</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 172-173; vgl. Richter & Wolf, *Jet-Airliner-Unfälle seit 1952*, 1997, S. 11-17.

---

ein glatter Übergang strukturelle Probleme, denn um die gleichen Sichtwinkel wie bei einem abgestuften Übergang zu erhalten, mussten die Fensterscheiben wesentlich größer dimensioniert werden.

Als die Comet 1945 auf dem Reißbrett entstand, wusste man noch nicht sehr viel über die Herstellung und Anwendung von großen, mehrfachlagigen und beheizbaren Folien für Windschutzscheiben, da erst einige wenige Zivilflugzeuge mit einer Druckkabine ausgestattet waren. Deshalb wagte sich de Havilland in ungewisse Bereiche bei der Festlegung eines Referenzdrucks von 9 psi vor,<sup>401</sup> der mehr als die Hälfte des normalen Atmosphärendrucks beträgt. Es waren aber nicht nur die Fenster, die besonders große Festigkeiten aufweisen mussten. Auch die Rahmen und die gesamte Struktur mussten diesen Ansprüchen entsprechen. In Verbindung mit den Forderungen über einzuhaltende Blickwinkel für die Piloten waren damit die technischen Herausforderungen sehr hoch.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Entwicklung der modernen Flight Decks war der Abstand der Augen des Piloten zur Windschutzscheibe. Dabei galt es, ein optimales Blickfeld zu erzielen. Eine Positionierung nahe an der Scheibe bietet einen großen Blickwinkel nach außen, schränkt aber die Sicht auf die Instrumente sowie der Zugang zu den Steuerungen stark ein. Besonders wichtig ist aber während kritischer Flugphasen eine gute Sicht nach außen, wie zum Beispiel beim Landeanflug bei geringer Flugsicht. Unmittelbar nach dem Zweiten Weltkrieg waren noch Flugzeuge wie die Junkers Ju 52 und die de Havilland Express DH-86 im Einsatz, die im Anflug Fluggeschwindigkeiten von 60 Knoten aufwiesen. Bei einer Sicht von 100 m reichten 3 Sekunden aus, um mit den Augen von den Instrumenten auf die Sicht nach außen zu fokussieren. Jedoch wurden kurze Zeit später Flugzeuge in Dienst gestellt, die im Anflug mit 100 Knoten oder mehr geflogen werden mussten. Die daraus resultierende Zeit von 2 Sekunden oder weniger reichten für eine Refokussierung nicht aus. Die Folge war eine wachsende Unfallzahl bei Instrumentenlandeanflügen. Erst als die Luftfahrtbehörden die Luftfahrtunternehmen dazu verpflichteten, entsprechende Kriterien für die Anflüge nach Instrumenten zu setzen, konnte die Anzahl der Unfälle wieder verringert werden. Bei diesen neuen Vorgaben musste die Fluggeschwindigkeit, die Flugsichten und die

---

<sup>401</sup> 9 psi (Pound per Square Inch) entsprechen circa 620,52 mbar.

---

Genauigkeit des Instrumentenlandesystems für jede Landebahn berücksichtigt werden.<sup>402</sup>

Nichtabgestufte Windschutzscheiben kamen ab 1960 aus der Mode. Die großen Hersteller von Flugzeugen für den zivilen Lufttransport tendierten zu einer abgestuften Windschutzscheibe mit einer V-Form. Diese Bauweise war aerodynamisch nicht perfekt, bot aber den Piloten einen größtmöglichen Blickwinkel.

Eine große Entlastung für die Flugbesatzung war die Einführung der Jettriebwerke. Verfügte das Flight Deck bei Flugzeugen mit Kolbentriebwerken noch über je einen Hebel für den Ladedruck, die Propellerverstellung, den Gemischregler, die Vergaservorwärmung, die Ölkühlerklappe und die Kühlluftklappe, gab es bei Jettriebwerken nur einen Leistungshebel. Die Bedienung wurde nicht nur sehr viel einfacher, sondern es mussten auch weniger Parameter überwacht werden. Allerdings wurde dies teils wieder dadurch kompensiert, dass die Jets in viel größeren Flughöhen betrieben wurden und die Regelung der Druckkabine überwacht und gesteuert werden musste.<sup>403</sup>

Durch Modernisierung der Triebwerke erhielten sie auch bald die Möglichkeit, den Triebwerksschub nach dem Ausrollen bei der Landung umzukehren, um schneller in den Geschwindigkeitsbereich zu kommen, in dem die Radbremsen betätigt werden konnten. Die Schubumkehr, die auch bei Propellerturbinen zum Einsatz kam, musste entsprechend gesteuert werden. Weiterhin wurde der Umfang der zu bedienenden Elemente auf dem Flight Deck auch durch die Verbesserung anderer Flugzeugkomponenten beeinflusst, wie zum Beispiel dem Wetterradar, das ab 1946 seinen Weg ins Instrumentenbrett der Verkehrsflugzeuge fand.<sup>404</sup>

---

<sup>402</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 152-155.

<sup>403</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 81.

<sup>404</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 146, 190-192; vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 177-179.

---

## Human Factors

### *Ein neuer Schwerpunkt in der Luftfahrt*

Das Flight Deck kann als sozio-technisches System betrachtet werden, weil soziale und kulturelle Werte einen starken Einfluss auf das Verhalten der Piloten hatten.<sup>405</sup> Neben den Anstrengungen der Forschung im Bereich des menschlichen Leistungsvermögens (Human Factors) in der Luftfahrt sowie dem Bestreben der Piloten selbst, sichere und effiziente Verfahren auf dem Flight Deck zu etablieren, tendierten jedoch die Entwicklungsbüros dazu, ihre eigenen Wege zu gehen. Zum Beispiel dauerte es nach dem Zweiten Weltkrieg eine Zeit, bis die Meinungen der Piloten Gehör bekamen und zu Standards umgesetzt wurden. Dabei versäumten es die Luftverkehrsunternehmen auch häufig, Standardisierungen in den unterschiedlichen Flugzeugflotten umzusetzen.<sup>406</sup>

Ab 1955 begannen die britischen Entwickler, die Anregungen von professionellen Pilotenverbänden in Betracht zu ziehen und nicht ausschließlich nur auf die Testpiloten zu hören. Die Zusammenarbeit mit Test- und Linienpiloten half bei der Entwicklung von Flight Decks und brachte weitere Verbesserungen hervor.<sup>407</sup> Die ermittelten Daten wurden vielfältiger, und der Individualismus der Testpiloten wurde durch den Kollektivismus der Linienpiloten ergänzt oder ersetzt. Zum Beispiel bevorzugten die Piloten, dass der Blendschutz (glare shield) eine horizontale Linie bildete, um eine bessere Referenz beim Landeanflug zu haben. Ebenso sollte sich die Basic-T-Anordnung von Fahrtmesser, künstlicher Horizont, Höhenmesser und Kursanzeige dicht unterhalb des Blendschutzes befinden, um den Übergang von Instrumentenflug auf Sichtflug im Landeanflug bei schlechten Wetterbedingungen zu erleichtern. Dies sind nur einige Punkte zur Verbesserung des Flight Decks. Andere betrafen die Gesamtergonomie.

---

<sup>405</sup> Siehe dazu auch Oudshoorns & Pinch, *How Users Matter*, 2003, S. 2ff.

<sup>406</sup> Vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 78; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 176; vgl. Grote, Zala-Mezö, & Grommes, *Effects of Standardization and Communication in High Workload Situations*, 2003, S. 127-154.

<sup>407</sup> Zur Beziehung zwischen Designer und Nutzer siehe auch Akrich, *The De-Description of Technical Objects*, 1992, S. 216 sowie Zachmann, *Technik, Konsum und Geschlecht – Nutzer/innen als Akteur/innen in Technisierungsprozessen*, 2008, S. 75. Zu Testpiloten siehe Hallion, *Test Pilots*, 1988.



---

Typisch für das erweiterte Verständnis für das Flight Deck als sozio-technisches System ist, dass sich die Flugzeughersteller nun auch mit Faktoren wie die Anbringung von Haltern für Kaffeetassen befassten. Dies hatte freilich auch unmittelbar technisch-funktionale Gründe, denn verschütteter Kaffee konnte zu Störungen, Kurzschlüssen und elektrischen Systemausfällen führen.<sup>408</sup>

## *Ergonomische Faktoren*

Das primäre Ziel der Studien, die wir heute als Human Factors oder Ergonomie in der Luftfahrt bezeichnen, war die Verbesserung der Kontrollposition im Cockpit oder Flight Deck. Bei den Fahrzeugen des 18. und 19. Jahrhunderts, also vor dem Beginn der motorisierten Luftfahrt, wurde den Wünschen der menschlichen Bediener oder Fahrer nur wenig Beachtung geschenkt, da erwartet wurde, dass sich der Mensch den Maschinen anpasste. Die Maschinen hingegen waren nur geringfügig an den Menschen adaptiert, denn ausschließlich menschliche Schwächen und körperliche Grenzen wurden beim Bau der Maschinen berücksichtigt. Erst mit der Einführung des Automobils kamen ergonomische Faktoren eine größere Bedeutung zu, besonders wenn der Chauffeur einen offenen Sitzplatz einnehmen musste und die Passagiere in einer separaten geschlossenen Kabine Platz nahmen.<sup>409</sup>

Die Anpassung der Technik an das menschliche Leistungsvermögen beinhalteten nicht nur, dass die für den Piloten erforderlichen Kontrollen bedient werden konnten, sondern es gehörte auch dazu, dass die Hebel, Schalter, Steuerräder, Instrumente etc. so platziert wurden, dass sie sich im besten Blickwinkel befanden. Bei einer sitzenden Position muss man zusätzlich auch über längere Zeiträume Ermüdungserscheinungen berücksichtigen. Gleichermäßen musste der Ermüdung der Augen entgegengewirkt werden. Ein weiteres Problem tat sich auf: Da die Flugzeuge immer größer und auch immer schneller wurden, reichte die menschliche Muskelkraft nicht mehr aus, die Steuereflächen des Flugzeugs zu bewegen. Es wurden deshalb verschiedene Möglichkeiten zur Kraftverstärkung entwickelt und eingesetzt. Spätestens ab dem Jetzeitalter wurden

---

<sup>408</sup> Vgl. Pallet, *Aircraft Instruments*, 1992, S. 19-21; vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 78; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 176-177; vgl. Allnut, *Human Factors: Basic Principles*, 1982, S. 1-22.

<sup>409</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 179; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 147-148; vgl. Coombs, *Das Cockpit*, 1993, S. 52-53.

---

primär hydraulische oder elektrische Kraftverstärker primär eingesetzt. Dies erleichterte den Piloten die Steuerung des Flugzeugs, da der erforderliche Kraftaufwand nun sehr gering war. Auch brauchten die Steuerungseinrichtungen keine großen Hebelwirkungen mehr aufzuweisen, sodass diese nun kompakt gehalten werden konnten. Der Nachteil dieser neuen Technik bestand darin, dass die Piloten keine Rückmeldungen, zum Beispiel ein Schütteln der Steuerung kurz vor einem Strömungsabriss, vom Flugzeug selbst bekamen.<sup>410</sup> Solche Funktionen wurden später künstlich, zum Beispiel durch den „Stick-Shaker“<sup>411</sup>, herbeigeführt.

Die Geschichte der Ergonomie in der Luftfahrt wird durch den fortlaufenden Prozess charakterisiert, Ursachen zu ermitteln, wie und weshalb Fehler auftreten und wie man ihnen entgegenwirken konnte, um sie in Zukunft ausschließen zu können. Ergonomie war bei vielen Problemen eine bedeutsame Größe. Diese versuchte man durch intensive Forschungen im Bereich der Human Factors und in besseren Darstellungen der Informationen für die Piloten zu minimieren. Zu den verbesserten Darstellungen zählte wesentlich die visuelle Aufbereitung der Instrumentenanzeigen.<sup>412</sup>

## *Human Error*

Bei dem Entwurf neuer Flight Decks konnten viele Antworten auf die Fragen gefunden werden, die sich im Laufe der Zeit ergeben hatten. Ein Thema, welches sich wie ein roter Faden in der Geschichte der Kontrolle von Maschinen durch den Menschen zieht, ist der Fehler oder das Fehlverhalten durch den Menschen (Human Error). Der Human Error ist zu jeder Zeit ein ständiger Begleiter des Menschen, so auch des Piloten. In der Geschichte der Luftfahrt gibt es viele Beispiele für menschliche Fehler, teilweise auch in Kombination mit Maschinenfehlern. Nicht immer war der Pilot für menschliche

---

<sup>410</sup> Vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 167; vgl. Roscoe, Vernachlässigte menschliche Faktoren, 1987, S. 207-241; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 50-55; vgl. Abbott, Human Factors, 2001, Kap. 9.

<sup>411</sup> Vibrieren des Steuerknüppels bzw. der Steuersäule bei kritischem Anstellwinkel oder bevorstehendem Strömungsabriss.

<sup>412</sup> Vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 147-148; vgl. Coombs, Das Cockpit, 1993, S. 50-55; vgl. Abbott, Human Factors, 2001, Kap. 9.

---

Fehler allein verantwortlich. Oft konnte der Human Error auch dem Entwickler zugeordnet werden.<sup>413</sup>

Im ersten halben Jahrhundert der Motorluftfahrt wurden viele Unfälle mit dem Attribut des Human Error versehen. Ab den 1950er und 1960er Jahren richtete man mehr Aufmerksamkeit auf die Beziehung zwischen Pilot und Flugzeug. In dieser Perspektive bildet die primäre kontrollierende Schnittstelle das Flight Deck. Das Wachstum der Forschung zum menschlichen Verhalten beim Fliegen von Flugzeugen sowie die detaillierte Weiterentwicklung des Flight Decks wurden durch verschiedene Einflüsse, in der zivilen Luftfahrt besonders durch Unfälle, vorangetrieben. Die Konsequenzen von menschlichen und mechanischen Fehlern waren häufig der Tod der Passagiere und der Besatzung. Über 70% der Unfälle wurden dem Human Error zugeordnet. Die durchschnittliche Passagierkapazität der Flugzeuge um 1950 betrug 50 Personen. Diese wuchs aber schnell auf über 100 Personen an, und ein Unfall führte folglich zu einer wachsenden Zahl von Todesfällen.<sup>414</sup>

Im Zeitraum von 1930 bis 1980 ist jedoch ein Rückgang von Unfällen zu verzeichnen. Dieser ist auf technische Innovationen zurückzuführen. Es ist wiederum zu bemerken, dass erst ab dem Erreichen einer Sättigung an technischen Verbesserungen der Human Error zunahm. Human Errors auf dem Flight Deck ereigneten sich grundsätzlich an zwei Schnittstellen: zum einen an der Mensch-Maschine-Schnittstelle, die sich in der Gestaltung des Flight Decks widerspiegelte, zum anderen an der Mensch-Mensch-Schnittstelle.<sup>415</sup> Letztere beinhaltete die Zusammenarbeit der Besatzung, welches das

---

<sup>413</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 179; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 146; vgl. Allnut, *Human Factors*, 1982, S. 1-22; Strickler, *Accident Prevention: The Role of Education and Training*, 1982, S. 23-49; vgl. Jensen, *Pilot Judgement: Training and Education*, 1982, S. 50-66; Wiener & Curry, *Flight-Deck Automation: Promises and Problems*, 1982, S. 67-86; vgl. Hurst & Hurst, *Flugunfälle*, 1987, S. 13-46; vgl. Häusler, Klampfer, Amacher, & Naef, *Behavioral Markers in Analyzing Team Performance of Cockpit Crews*, 2004; vgl. Abbott, *Human Factors*, 2001, Kap. 9; vgl. Mosier, *The Human in Flight*, 2010, S. 147-174.

<sup>414</sup> Vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 95, 251-252; Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 180-181; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 146; vgl. Illman, *Controlling Pilot Error: Communications*, 2001, S. 13-15; vgl. Allnut, *Human Factors*, 1982, S. 1-22; vgl. Jensen, *Pilot Judgement: Training and Education*, 1982, S. 50-66; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 11ff.

<sup>415</sup> Vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 95; vgl. Patankar & Sabin, *The Safety Culture Perspective*, 2010, S. 95.

---

Crew Coordination Concept (CCC) und das Crew Resource Management (CRM) umfasste. Das CCC und das CRM wurden in den 1980er Jahren in die Pilotenausbildung integriert und sind seither Standard.<sup>416</sup>

Ein wichtiger Punkt, der betrachtet werden muss, ist die Tatsache, dass der Pilot strategische, taktische und leitende Entscheidungen bei einem Zwischenfall innerhalb weniger Sekunden zu treffen hat. Er hat nicht die Möglichkeit, das System anzuhalten und bewusst über die Situation nachzudenken, wie es etwa dem Autofahrer in vielen Situationen möglich ist. Er kann zum Beispiel am Straßenrand halten und sich neu orientieren. Auf dem Flight Deck müssen wichtige Entscheidungen sofort getroffen und korrekt umgesetzt werden.<sup>417</sup>

Ein erschwerender Faktor war für viele Piloten, dass die Luftfahrtunternehmen nach dem Zweiten Weltkrieg oft nicht über homogene Flugzeugflotten verfügten. Das bedeutete für die Piloten, dass sie bisweilen mehrmals am Tag das Flugzeugmuster wechseln mussten, und da die Flugzeughersteller je nach Nation andere Standards hatten, mussten sie sich jeweils neu auf die Instrumentenanordnung, Anzeigen und Bedienphilosophien einstellen. Dies führte besonders in Stresssituationen zu Konfusionen und oft auch zu Unfällen.<sup>418</sup>

### *Schnittstelle zwischen Pilot und Flugzeug*

Das Fliegen von Flugzeugen ist eine körperlich und sensorisch orientierte Tätigkeit. Die erste Generation von Flugzeugen war sehr instabil und benötigte ständige Steuereingaben. Im Laufe der Jahre wurden die Flugzeuge seitens ihrer aerodynamischen und flugmechanischen Eigenschaften immer einfacher zu steuern. Jedoch wuchs die Anzahl der Systeme, die durch den Piloten bedient werden mussten, so dass die Schnittstelle zwischen dem Mensch und der Maschine immer komplexer wurde. Der gebräuchliche Begriff „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ (Man-Machine-Interface) referenziert auf eine imaginäre Grenze zwischen dem Flugzeug auf der einen Seite und

---

<sup>416</sup> Vgl. Grote, Zala-Mezö, & Grommes, *Effects of Standardization*, 2004, S. 39-54; vgl. Häusler, Klampfer, Amacher, & Naef, *Behavioral Markers*, 2004; S. 25-38.

<sup>417</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 181; vgl. Dismukes, *Understanding and Analyzing Human Error in Real-World Operations*, 2010, S. 335-374.

<sup>418</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 162-164; vgl. Hallion, *Test Pilots*, 1988, S. 140.

---

dem Bediener oder Piloten auf der anderen Seite. Diese Grenze wird von Informationen vom Flugzeug zum Piloten und umgekehrt überschritten. Die andere Wechselbeziehung besteht aus den Steuereingaben des Piloten und der Reaktion des Flugzeugs auf diese Steuereingaben. Diese Beziehung ist stark vom Gefühl des Piloten zum Flugzeug abhängig. Heute verfügt die zivile Luftfahrt über eine breite Wissensbasis der Beziehung zwischen Piloten und Flight Deck, während nach dem Zweiten Weltkrieg zunächst nur wenige Informationen über diese Thematik vorhanden waren.<sup>419</sup>

Neben den Instrumenten und Steuerungen auf dem Flight Deck ist für Piloten die Sicht nach Außen in Flugrichtung von zentraler Bedeutung. Dies gilt besonders, wie bereits an anderer Stelle erwähnt, für den Landeanflug. Dazu mussten die Entwickler der Flight Decks die wichtige menschliche Dimension des Augenbezugspunktes berücksichtigen. In den frühen 1950 Jahren wurde diesem Punkt nicht viel Aufmerksamkeit gewidmet. Damit der Pilot bei einer Landung ein adäquates Sichtfeld nach außen hat und gleichzeitig die wichtigsten Fluginstrumente sehen kann, muss er seinen Sitz so arretieren können, dass sein Blickfeld die beiden Bereiche abdeckt. Das Blickfeld von einigen Nachkriegstransportflugzeugen wurde mit Hilfe von Attrappen vermessen und bestimmt. Bei dieser Methode wurde oft nicht berücksichtigt, dass das Flugzeug sich auch in einer Querlage befinden kann, die das Sichtfeld einschränken kann. Dies wurde dann meist erst bei den ersten Flügen mit Prototypen festgestellt. Zusätzlich wurde die Problematik der Fensteranordnung dadurch beeinflusst, dass die Fenster-scheiben bei Flugzeugen mit Druckkabine aus Festigkeitsgründen nicht zu groß dimensioniert werden durften.<sup>420</sup>

Eine Eigenschaft des Menschen führte von Beginn an zu Problemen bei der Steuerung von Flugzeugen: die Bevorzugung der rechten oder der linken Hand. Wie bereits aufgeführt, gab es schon in den Anfangsjahren Probleme mit Piloten, die nicht mit der bevorzugten Hand das Flugzeug steuern konnten. Ein halbes Jahrhundert später waren einige Probleme überwunden, andere blieben erhalten. Da die verbesserte Flug-

---

<sup>419</sup> Vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 149-152; vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 147-148; vgl. Harris, *Human Factors*, 2004, S. 235; vgl. Giesa, *Mensch-Maschine-Systeme*, 2003, S. 40-75; vgl. Mosier, *The Human in Flight*, 2010, S. 149-152; vgl. Coombs, *Das Cockpit*, 1993, S. 50-54.

<sup>420</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 180 und Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 152-197; vgl. Giesa, *Mensch-Maschine-Systeme*, 2003, S. 40-75.

---

Stabilität nicht mit den Pionierflugzeugen vergleichbar war, ermöglichte es nahezu jedermann, die korrekte Steuerung des Flugzeugs zu erlernen, unabhängig ob er Rechts- oder Linkshänder war. Der Standard in der Verkehrsfliegerei war und ist so, dass der Copilot auf der rechten Seite des Flight Decks sitzt und das Flugzeug mit der rechten Hand steuert. Der Kommandant sitzt auf der linken Seite und steuert auch mit der linken Hand, da er die rechte Hand für die Triebwerkssteuerungen verwenden muss, die sich in der Mittelkonsole befinden.

Analog zu der persönlichen Bevorzugung der rechten oder linken Hand ist auch das Verhalten von Richtungseinflüssen geprägt. Viele Piloten, die mit der linken Hand steuern, bevorzugen eine Linkskurve. Die meisten Menschen scannen auch die Fluginstrumente von links nach rechts. Diese Eigenschaft war der Grund dafür, dass alle Ordnungen auf dem Flight Deck von links nach rechts angeordnet sind, wie zum Beispiel die Nummerierung der Triebwerke und die Anordnung der Triebwerksüberwachungsinstrumente.

Die Jettriebwerke konfrontierten die Piloten mit weiteren Herausforderungen. Bei der Vorwärtsbewegung der Leistungshebel stellen Kolbentriebwerke mit Propellern direkt die Mehrleistung zur Verfügung. Die Hebelbewegung zur Leistungserhöhung ist dort linear. Bei den Jettriebwerken, wie zum Beispiel bei der Boeing 707 ist die Leistungssteigerung im ersten Drittel der Hebelbewegung sehr gering. Bei Jets ist das Verhältnis einerseits nicht linear, und andererseits besteht eine gewisse Verzögerung, bis sich die Leistungserhöhung an den Triebwerken einstellt und das Flugzeug beschleunigt wird.

### *Informationen, Instrumente und Interpretation*

Ab 1945 wurden den Piloten mehr Informationen über Fluglage, Position und den Status der Flugzeugsysteme zur Verfügung gestellt als in den Jahren zuvor. Anstelle der Problematik, mit der sich vorherige Generationen von Piloten konfrontiert gesehen hatten, dass sie über zu wenige Informationen verfügt hatten, wurden die Piloten nun mit Informationen überladen. Jede Information bedarf einer entsprechenden Interpretation und einer darauffolgenden Handlung. Wenn die Piloten von den Instrumenten und Anzeigen gleichzeitig viele Informationen erhielten, mussten sie die Informationen gestaffelt interpretieren und der Reihe nach die erforderlichen Handlungen ausführen. Eine

---

Ursache des Problems multipler Informationen waren unzureichende Anzeigen von Funkgeräten sowie defizitäre Navigationsinstrumente und Flugzeugsysteme.<sup>421</sup>

Instrumente sind eines der wichtigsten Elemente zur Kontrolle von Flugzeugen. Daher müssen sie so gestaltet sein, dass Ablesefehler durch den Piloten vermieden werden. Von allen primären Fluginstrumenten besitzt der Höhenmesser bei Fehlinterpretation das größte Potential, um das Flugzeug und die Besatzung in Schwierigkeiten zu bringen. In der Nacht oder beim Flug durch Wolken bleiben die Geräusche des Flugzeugs und das Empfinden des Piloten konstant, unabhängig davon, ob er in 1.000 ft oder 10.000 ft fliegt. Die anderen Instrumente geben keine Auskunft über die Flughöhe. Als die Anzahl der Flugzeuge mit Druckkabine anstieg, waren die meisten damit verbundenen Unfälle der Fehlablesung des Höhenmessers den Piloten zuzuordnen. Flugzeuge mit Druckkabine konnten in einer Flughöhe von mehr als 10.000 ft betrieben werden. Im Interesse des Passagierkomforts sollte dabei die Druckanpassungsgeschwindigkeit, analog zum Steig- oder Sinkflug, 500 ft/min nicht überschreiten. Somit hatte die Flugbesatzung genügend Zeit, die Druckregelung entsprechend zu bedienen. Flugzeuge mit Druckkabine, allen voran die Jets, hatten sogar die Möglichkeit, Sinkraten von über 5.000 ft/min auszuführen.<sup>422</sup>

In Jetflugzeugen mit Druckkabine kam grundsätzlich ein 3-Zeiger Höhenmesser zum Einsatz. Der größte Zeiger zeigt die 100 ft, der mittlere Zeiger die 1.000 ft und der kleine Zeiger 10.000 ft Abschnitte an. Diese drei Zeiger konnten leicht fehlinterpretiert werden, besonders bei Nacht, zumal die Ablesung der Zeiger schwierig ist, wenn diese eng zusammen stehen.<sup>423</sup>

Beim Sinken aus der Reiseflughöhe, oder wenn sich die Besatzung auf das Einfliegen in einen kontrollierten Luftraum vorbereitet, was komplexe Verfahren beinhalten kann, können die Piloten die Konzentration auf die Flughöhe verlieren und kollektiv der Annahme sein, es sei noch ausreichend Flughöhe vorhanden. Trotz der Einführung eines

---

<sup>421</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 147; vgl. Risukhin, *Automation*, 2001, S. 47-48; vgl. Abbott, *Human Factors*, 2001, Kap. 9; vgl. Mosier, *The Human in Flight*, 2010, S. 147-174; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 22ff.

<sup>422</sup> Vgl. Harris, *Human Factors*, 2004, S. 86-87; vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 181-183; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 22ff.

<sup>423</sup> Vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 22ff.

---

10.000 ft Warnlichtes, welches bei Unterschreitung dieser Höhe aufleuchtet, geschahen weiterhin Unfälle, besonders wenn Flugzeuge in Bergen, bei Nacht oder in Wolken operierten. Dies motivierte die Entwickler, einen Höhenmesser zu erstellen, der nur über einen Zeiger verfügt. Die neuen Höhenmesser, die auch heute noch verwendet werden, zeigen die Höhe in großen numerischen Anzeigen an. Der noch verwendete Zeiger dient zur Darstellung der letzten drei Stellen der Gesamtanzeige. Der Vorteil durch die Verwendung des Zeigers besteht darin, dass der Pilot Tendenzen zum Steigen oder Sinken sehr einfach interpretieren kann. Bei sich bewegenden Dezimalzahlen hingegen ist die Interpretation sehr schwierig.

Die Kolbentriebwerke der Nachkriegsjahre waren technisch komplexer als zuvor. Sie besaßen Turbolader, teilweise mit Höhen- oder Tiefenlader, Vergaservorwärmung, Kühlluftklappen und weitere Subsysteme. Ihre Einstellung gestaltete sich als sehr aufwendig, und die Einstellungstoleranzen waren sehr gering, sodass die Arbeitsbelastung dadurch besonders hoch war. Die Grundlage für die richtigen Einstellungen waren die zugehörigen Instrumentenanzeigen auf dem Flight Deck. Neben der Drehzahl gehörten auch der Ladedruck, Öldruck, Öltemperatur und die Abgastemperatur zu den primären Triebwerksanzeigen. Beim Flug durch schlechtes Wetter oder bei hoher Luftfeuchtigkeit musste die Besatzung ständig darauf achten, dass es nicht zu einer Vergaservereisung kam. Diese hatten einen hohen Leistungsverlust oder gar den Stillstand des Triebwerks zur Folge.<sup>424</sup>

Der Höhenmesser war nicht das einzige Instrument, das zu Fehlinterpretation verleitet. Auch die Triebwerksinstrumente wurden oft fehlinterpretiert. Bei einer Untersuchung von Unfällen von zweimotorigen Flugzeugen mit Kolbentriebwerken wurde festgestellt, dass im Fall eines Triebwerksproblems häufig das falsche Triebwerk abgestellt wurde. Die Öldruckanzeigen im Instrumentenpanel waren 2-Zeigergeräte, wobei ein Zeiger das linke und der andere das rechte Triebwerk anzeigte. Die Piloten betrachteten das Instrument auf der rechten Seite mit ihrem linken Zeiger und nahmen den Bezug des linken Zeigers zum rechten Triebwerk. Nachdem sie das störungsfreie Triebwerk abgestellt hatten, setzten sie den Flug oft mit dem defekten Triebwerk fort, bis dieses dann ganz ausfiel.

---

<sup>424</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 19-21.



---

Die Entwicklung neuer Instrumente und Anzeigen, deren Konzeption und Design Fehlinterpretation oder Ablesefehler der Flugbesatzungen reduzierten, dauerte bis in die 1970er Jahre hinein. Die oben aufgeführten Einflüsse, speziell bei Landeanflügen mit schlechter Sicht, konzentrierten sich auf akustische, visuelle und mentale Prozesse der Piloten. Diese Prozesse umfassen die Überwachung der ILS Anzeigenadeln, die Beobachtung der Sinkrate, die Anpassung der Triebwerksleistung (sofern erforderlich), das Überprüfen des Flugzeuganstellwinkels, des Höhen- und des Fahrtmessers sowie den Versuch, Sichtkontakt mit der Landebefeuerung herzustellen.<sup>425</sup>

Viele Transportflugzeuge, die nach 1960 entwickelt wurden, verfügten bereits über zentrale Warnsysteme. Diese Systeme etablierten sich im folgenden Jahrzehnt als Standard aller großen zivilen Flugzeuge. Das typische Warnsystem lenkt die Aufmerksamkeit der Besatzung auf das betroffene System durch ein Aufleuchten oder Blinken einer Warnanzeige. Zum Beispiel zeigt die zentrale Warnanzeige (Warning Panel) ein Aufleuchten von „GEN 1“. Dies bedeutet für die Besatzung, ihre Aufmerksamkeit auf die Generatoranzeigen des linken Triebwerks zu richten. Die Anzeigen für den linken Generator selbst müssen sich dabei nicht im normalen Blickfeld der Besatzung befinden. Sie können sich zum Beispiel auf dem Overheadpanel über den Köpfen der Piloten befinden.

### *Wie viele Piloten werden benötigt?*

Ab den 1950er Jahren bestand die Flugbesatzung der großen Flugzeuge, besonders im Transatlantikeinsatz, aus zwei Piloten, einem Navigator, einem Flugingenieur und einem Funker. In einigen Fällen war der Navigator auch ein Pilot. Die große Flugbesatzung war notwendig, um die vielen speziellen Aufgaben wie die Navigation, inklusive der Astronavigation, der Triebwerks- und Treibstoffsystemüberwachung sowie der Kommunikation über große Distanzen durchführen zu können.

Im Einzelfall wich die Zusammenstellung der Flugbesatzung von diesem Muster vielfach ab. Beispielsweise bestand die Flugbesatzung der DC-3 auf inneramerikanischen Flügen nur aus zwei Piloten. Da die Navigation anhand von Funkfeuern erfolgte und

---

<sup>425</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 147; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 22ff.; vgl. Abbott, *Human Factors*, 2001, Kap. 9.

---

das Flugzeug mit zwei Triebwerken über nicht zu komplexe Systeme verfügte, reichten diese aus, um diese Flüge durchzuführen. Wurde der gleiche Flugzeugtyp über Ozeanen operiert, also fernab von Funkfeuern, erweiterte sich die Flugbesatzung um einen Navigator. Bei der viermotorigen DC-4 kam zu dem Navigator und Funker auch noch ein Flugingenieur hinzu. Dieser nahm auf einem Notsitz in der Mitte zwischen den beiden Piloten Platz, da das Flugzeug nicht über ein separates Triebwerksinstrumentenpanel verfügte.<sup>426</sup>

Diese Beispiele zeigen, dass die Anzahl der Flugbesatzungsmitglieder nicht primär vom jeweiligen Flugzeugtyp abhing. Vielmehr wurde diese von den zu fliegenden Strecken und deren technischer Infrastruktur wie etwa Funknavigationseinrichtungen bestimmt. Dazu zählte auch zum Beispiel die Verwendung eines Sextanten zur Astronavigation oder der Umstand, dass die Funkkommunikation noch sehr störanfällig war und die Bedienung der Geräte die volle Aufmerksamkeit eines Besatzungsmitglieds erforderte. Auch das Flugzeuggewicht war ein Faktor für die Stärke der benötigten Flugbesatzung. Die amerikanische Luftfahrtbehörde, die Federal Aviation Agency (FAA), ordnete 1948 an, die Flugbesatzung von Flugzeugen mit einer maximalen Startmasse von 36 Tonnen müsse mindestens über ein drittes Besatzungsmitglied, einem Flugingenieur, verfügen. Die Begründung für die Personenstärke der Flugbesatzung liegt nach Robert Buck darin, dass Forderungen nach Redundanzen aufkamen.

Neben den Redundanzen von wichtigen Systemen oder Instrumenten war auch eine Redundanz an Personal auf dem Flight Deck erforderlich. Zum Beispiel konnte der Copilot bei Ausfall des Kapitäns das Flugzeug noch fliegen und auch sicher landen.<sup>427</sup>

Eine Reihe von Unfällen bei denen eine hohe Arbeitsbelastung der beiden Piloten die Ursache war, führte zu dieser Anordnung seitens der Behörde. Dabei war die Festlegung der Startmasse von 36 Tonnen (80.000 lbs) willkürlich. Auch Flugzeuge mit der

---

<sup>426</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 19-27 und Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 189-190 sowie Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 198; vgl. Jordanoff, *Instrument Flying*, 1938, S. 325-337.

<sup>427</sup> Vgl. Wiener & Curry, *Flight-Deck Automation: Promises and Problems*, 1982, S. 67-86; vgl. Wiener & Curry, *Automation im Cockpit*, 1987, S. 108-135; Mosier, *The Human in Flight*, 2010, S. 147ff.; Sheridan, *The System Perspective on Human Factors in Aviation*, 2010, S. 23-64; vgl. Hitt & Mulcare, *Fault Tolerance Avionics*, 2001, Kap 28; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 22ff.

---

Hälfte dieser Masse können aufgrund einer unübersichtlichen Anordnung der Instrumente und Steuerungen die Arbeitsbelastung der Piloten an die physischen und psychischen Grenzen heranführen.<sup>428</sup>

Der schrittweise Verzicht auf den Navigator ist das Ergebnis der ständigen Verbesserungen der Navigationseinrichtungen. Dazu zählten die gerichteten Funkfeuer (VOR) und das Entfernungsmessgerät (DME). Mit dem Ende der 1940er Jahre war die primäre Frage nicht mehr, wo man sich befand oder wie man zu einem bestimmten Ziel kam, sondern wie ein definierter Flugweg eingehalten werden konnte. Dieser Flugweg konnte indirekt sein, da er von der Flugverkehrskontrolstelle vorgegeben wurde. Die Flugnavigation war nicht mehr ein diskontinuierlicher Prozess, bei dem die aktuelle Position nach bestimmten Zeitintervallen bestimmt wurde und im Anschluss der Kurs gegebenenfalls korrigiert wurde. Die Navigationsinformationen waren durch elektronische Systeme mittlerweile kontinuierlich verfügbar. Wichtiger aber war, dass diese Informationen nicht zuvor durch einen Navigator ausgewertet oder interpretiert werden mussten. Die Piloten konnten die Informationen nun von Instrumenten ablesen, die sich direkt vor ihnen befanden.

Seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs ersetzten Funkgeräte, die im VHF<sup>429</sup> Bereich senden und empfangen, zunehmend die älteren Systeme. Etwa zur gleichen Zeit wurde die Radartechnik praktisch angewendet. Durch die Verwendung der VHF-Frequenzen konnten die notwendigen Antennen verkleinert werden, was die Integration in das Flugzeug stark vereinfachte. Zudem standen mehr nutzbare Frequenzen zur Verfügung. Durch die Weiterentwicklung der Geräte wurde die Bedienkomplexität so stark vereinfacht, dass auf die Position des Funkers auf dem Flight Deck verzichtet werden konnte.

Zur Reduzierung der Besatzungsmitglieder auf dem Flight Deck trug auch das Inertial Navigation System (INS) bei. Das INS ist ein System aus Kreisel-, Beschleunigungs-

---

<sup>428</sup> Vgl. Grote, Zala-Mezö, & Grommes, *Effects of Standardization*, 2004, S. 39-54; vgl. Helmreich & Sexton, *Group Interaction*, 2004, S. 9-24.

<sup>429</sup> VHF – Very High Frequency (30 – 300 MHz).

---

messer und Computern, das den Piloten die Flugzeugposition mit Längen- und Breitengrad anzeigt. Es beantwortet die Frage nach der aktuellen Position des Flugzeugs und machte dadurch auf technischem Wege die Fähigkeiten des Navigators obsolet.<sup>430</sup>

Der sich in den 1960er Jahren verstärkende Wettbewerbsdruck des sich mit wachsendem Tempo globalisierenden Luftverkehrs veranlasste die Luftfahrtunternehmen, die „Operationellen Betriebskosten“ zu minimieren. Dies förderte das Bestreben, die Flugbesatzung auf zwei Piloten zu reduzieren, sofern dies mit den geltenden Vorschriften zu vereinbaren war. Die Luftfahrtunternehmen mussten ihre Rationalisierungsmaßnahmen auch gegenüber den Pilotenvereinigungen vertreten. Sie argumentierten damit, dass sich alle Instrumente im Sichtfeld der Piloten und alle zu bedienenden Elemente in deren Reichweite befänden. Zudem reduziere man mit der Einsparung von Besatzungsmitgliedern das Fluggewicht. Die Piloten, vertreten durch Vereinigungen wie zum Beispiel der IFALPA, setzten diesen Argumenten entgegen, dass die Sicherheit durch ein erhöhtes Arbeitsaufkommen gemindert werde. Im Fall des Ausfalls eines Piloten müsse der verbleibende Pilot alle Aufgaben allein übernehmen, wodurch die Flugsicherheit ernsthaft gefährdet würde, besonders wenn der verbleibende Pilot noch unerfahren ist. Besonders kritisch sei dies, wenn mehr als eine Störung auftrete, wie zum Beispiel bei einem Triebwerksausfall mit ausgefallenem Piloten, schlechter Sicht und unzureichenden Navigationsmitteln am einzigen Flugplatz, der eine Landung ermögliche.<sup>431</sup>

Die Rationalisierung des Flight Deck-Personals auf zwei Piloten und zwei Piloten plus Flugingenieur wurde in den 1960er Jahren dadurch erleichtert, dass die Beschäftigungsaussichten der Piloten sich infolge des rasch wachsenden Weltluftverkehrs nicht verschlechterten. Die Position des Flugingenieurs, wie bereits die des Navigators und Funkers zuvor, wurde immer instabiler, wobei dieser seine Daseinsberechtigung am längsten verteidigte. Die mehrmotorigen Verkehrsflugzeuge mit Kolbenantrieb machten den Flugingenieur lange Zeit unersetzlich. Die Steuerung und Regelung der Triebwerke verlangte eben ein entsprechendes technisches Verständnis und die notwendige Konzentration. Aber auch die ersten Verkehrsflugzeuge mit Jetantrieb

---

<sup>430</sup> Vgl. Walker, Navigationssysteme, 1993, S. 151-152.

<sup>431</sup> Vgl. Humpheys, Pilot Incapacitation on Boeing 737, 2004, S. 1-13; vgl. Bennett, Pilot Incapacitation and Aircraft Accidents, 1988, S. 21-24; vgl. Liebing, Flugsicherheit, 1968, S. 22ff.; vgl. Jackson, 1998, S. 75-80, 188.

---

brauchten einen Flugingenieur, denn die Anzahl und Komplexität der Systeme wie das Kraftstoffsystem, das Hydrauliksystem und das elektrische System stiegen enorm an. Viele Großflugzeuge, darunter die Boeing 707 und die Douglas DC-8, hatten für den Flugingenieur ein separates Instrumentenbrett sowie einen eigenen Sitzplatz auf dem Flight Deck.<sup>432</sup>

Mit der Einführung der Boeing 737 bei der Lufthansa wurden die Piloten auch entsprechend ausgebildet. Viele Piloten wurden nach ihrer Flugausbildung direkt als Copilot auf der Boeing 737 eingesetzt. Im Laufe ihrer fliegerischen Karriere wechselten sie dann häufig auf Langstreckenflugzeuge, wie zum Beispiel die Boeing 707 oder 747, bei denen die Besatzung auf dem Flight Deck auch den Flugingenieur beinhaltete. Besonders bei Störungen oder Fehlfunktionen der Flugzeugsysteme war der Flugingenieur eine starke Entlastung für die Piloten. Bei der Lufthansa war die Aufgabenverteilung so geregelt, dass im Falle einer Störung diese vom Flugkapitän und vom Flugingenieur gemäß den Checklisten abgearbeitet wurde, während der Copilot das Flugzeug flog. Für diese Aufgabenverteilung gab es praktische Argumente. Der Flugkapitän konnte sich in seinem Sitz auf der linken Seite des Flight Decks so drehen, dass er Einsicht in das Instrumentenbrett des Flugingenieurs hatte. Der Copilot hingegen konnte dies nicht. Somit konnte er sich auf das Fliegen konzentrieren, während der Kapitän und der Flugingenieur die Störung in Teamarbeit in Angriff nehmen konnten.<sup>433</sup> Auch im normalen Flugbetrieb wurden die Piloten durch den Flugingenieur dadurch entlastet, dass zum Beispiel die Checklisten von ihm vorgelesen wurden. Die Piloten hatten mit dem Aufschlagen und Suchen der Checklisten wenig zu tun. Diese wurden vom Flugingenieur verwaltet.<sup>434</sup>

Bei der Boeing 737-130 hingegen war die Rollenverteilung eine ganz andere. Bei der Lufthansa war die Aufgabenverteilung durch entsprechende Verfahren so geregelt, dass der fliegende Pilot sämtliche Schalter betätigte. Dieses Verfahren wurde auch bei Störungen entsprechend angewendet. Der zweite Pilot hingegen hatte eine passive

---

<sup>432</sup> Vgl. Vicenzi, *Early American Jetliners*, 1999, S. 19.

<sup>433</sup> Interview mit Steffen, 2012.

<sup>434</sup> Interview mit Kennerknecht, 2012.

---

Rolle. Er saß nahezu regungslos auf seinem Platz und beobachtete nur. Gegebenenfalls gab er dem handelnden Akteur verbale Unterstützung durch entsprechende Hinweise beziehungsweise durch Vorlesen der Checklisten.<sup>435</sup>

Bis in die späten 1960er Jahre hinein entwickelten Boeing und Lockheed große Flugzeuge, wie die Boeing 747 und die Lockheed L1011 TriStar, die über ein Flight Deck für zwei Piloten und einem Flugingenieur verfügten. Erst entsprechende Weiterentwicklungen wie zum Beispiel die Boeing 747-400 verfügten über ein Flight Deck für nur zwei Piloten trotz einem Abfluggewicht von über 400 Tonnen und einer Reichweite von 13.450 km. Auch andere Weiterentwicklungen von bereits existierenden Flugzeugmustern verfügten ab circa 1970 meist über ein Flight Deck für nur zwei Piloten.

Die Kontroverse zwischen den Luftfahrtunternehmen und den Interessenvertretungen des fliegenden Personals über die Reduzierung der Flugbesatzung auf zwei Piloten endete in den 1970er Jahren, als sich das auf zwei Piloten reduzierte Flight Deck weltweit durchsetzte. Die Grundlage für diese Personalreduzierung lag in der technischen Evolution der Systeme. Diese wurden mit automatischen Steuerungen versehen, und auch die Überwachung wurde in wachsendem Maße autonom geregelt. Zudem wurden entsprechende Redundanzen und Sicherungen installiert. Die Piloten konnten jederzeit entsprechende Parameter abrufen und wurden bei einer Abweichung oder Störung direkt informiert.

### *Entwurf des Flight Decks*

Die Haltung der Piloten zu Vor- und Nachteilen von bestimmten Flugzeugen bzw. speziell dem Flight Deck sind ebenso vielfältig wie die Fülle der technischen Systeme. Die Beurteilungen hängen von den persönlichen Vorlieben, Gewohnheiten und vor allem der Erfahrung mit dem jeweiligen Flugzeugmuster ab. Auch gegensätzliche Meinungen über die Bedienung, Ergonomie und Anordnung von Instrumenten, Schaltern und Kontrollen sind keine Seltenheit. Nicht von ungefähr, denn die Gestaltung des Flight Decks steht im engen Kontext zum Flugverhalten des Flugzeugs, und auch Faktoren,

---

<sup>435</sup> Interview mit Steffen, 2012 sowie Kennerknecht, 2012.

---

wie die durchschnittliche Einsatzdauer, spielen eine tragende Rolle. Zum Beispiel stehen bei kurzen Flugzeiten von circa zwei Stunden ergonomische Faktoren wie der Sitzkomfort nicht so im Fokus wie bei Transatlantikflügen.<sup>436</sup>

Die Möglichkeit einer umfassenden Bewertung des Flight Decks jenseits subjektiver Bewertungen einzelner Akteure bietet die Analyse von Störungs-, Unfall und Flugsicherheitsberichten. Diese wurden von den Luftfahrtunternehmen sowie zuständigen Behörden ausgewertet. Bei Anordnungen von Kontrollen oder Instrumenten, die häufig zu Fehlern, Fehlbedienung oder Unfällen geführt haben, lässt sich das Flight Deck mit einer messbaren Größe beurteilen, die auch von Piloten und Herstellern als eine solche akzeptiert werden.<sup>437</sup>

Dadurch haben sich ab 1960 für Transportflugzeuge, unabhängig vom Passagier- oder Frachttransport, die folgenden Kriterien für ein verbessertes Flight Deck herauskristallisiert:<sup>438</sup>

1. einen verstellbaren und komfortablen Sitz für jedes Flugbesatzungsmitglied auf dem Flight Deck
2. eine gute Rundumsicht in der horizontalen Ebene, inklusive der Sicht zu beiden Flügelspitzen von jedem Pilotensitz aus
3. eine gute Sicht nach unten über die Flugzeugnase hinweg, um im Anflug die Anflug- und Landebefeuerung sowie die Landebahn vollständig und gut sehen zu können
4. eine gute Sicht aufwärts, um bei Querlagen eine vorausschauende Sicht zu haben
5. alle primären und sekundären Kontrollen, Schalter müssen sich in Reichweite beider Piloten befinden
6. beide Piloten müssen die primären Fluginstrumente in Front des anderen Piloten visuell überprüfen können
7. beide Piloten müssen, bei Ausfall eines Piloten, das Flugzeug kontrollieren können, ohne den Platz zu wechseln

---

<sup>436</sup> Siehe dazu auch Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 192.

<sup>437</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 192; vgl. Sheridan, *The System Perspective on Human Factors in Aviation*, 2010, S. 23-64; vgl. Curtis, Jentsch, & Wise, *Aviation Displays*, 2010, S. 439-478.

<sup>438</sup> Vgl. für nachfolgend aufgeführten Punkte Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 192-193.

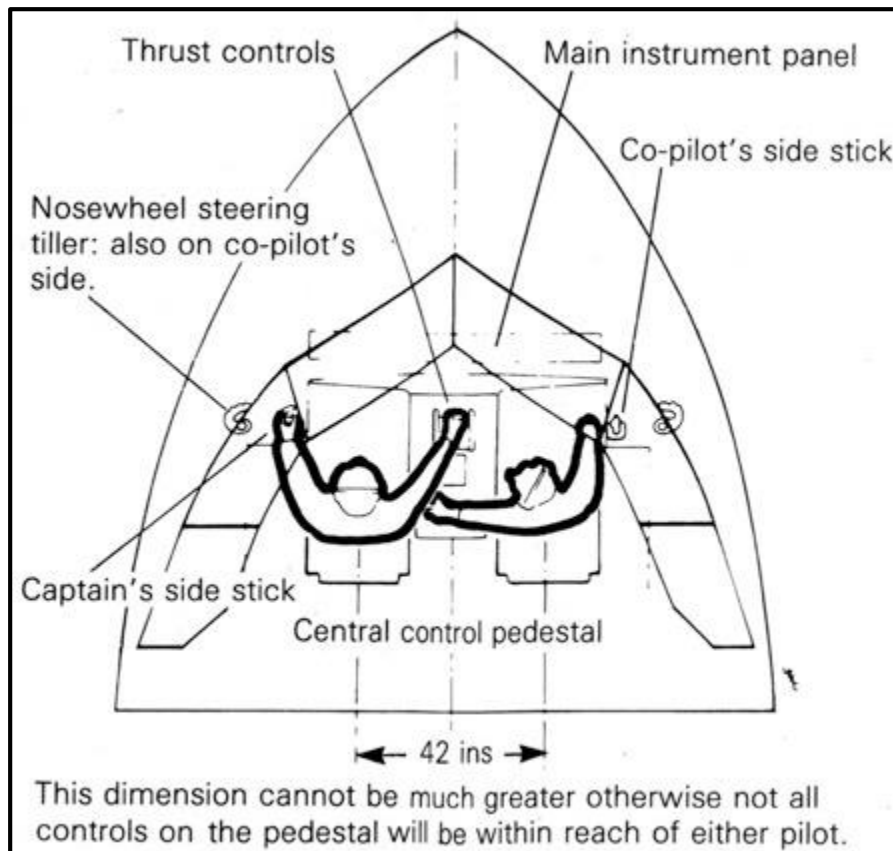


Abbildung 18: Flight Deck Dimensions (Quelle: Coombs, 1990, S. 193)

Während der Entwicklung der Boeing 737, aber auch der nachfolgenden Muster 757 und 767, verfolgte Boeing die Strategie, die Systeme nach folgender Prioritätenliste zu konstruieren: „simplicity, redundancy, and automation“. Besonders die Reihenfolge spielte dabei einen wesentlichen Faktor. Einfache Systeme haben einen großen Effekt auf das Wissen der Piloten als Bediener und den Entwurf von betrieblichen Verfahren und Anforderungen. Redundante Systeme können die Flugbesatzung im Falle von Fehlern stark entlasten und eventuelle Fehlbedienungen ausschließen. Aber ebenso wie eine fortschreitende Automation die Flugbesatzung von komplexen Regelaufgaben entlastet, kann die Arbeitsbelastung zur Überwachung und Programmierung dieser Systeme auch zunehmen. Die fortschreitende Automatisierung wurde vor allem von den Piloten und ihren Interessenverbänden kritisch betrachtet, da sie aufgrund



---

menschlicher Eigenschaften wie Ermüdung und Unaufmerksamkeit die Sicherheit im Flugbetrieb minderte.<sup>439</sup>

### *Der Wandel der Rolle des Piloten*

Als Orville Wright 1903 den ersten erfolgreichen Motorflug absolvierte, war das Ziel des Piloten recht einfach zu beschreiben. Es galt den Flug erfolgreich zu absolvieren. Es mussten keine Passagiere befördert, keine Fracht transportiert und keine militärische Mission erfüllt werden. Im folgenden Jahrhundert änderte sich die Rolle der Luftfahrt in der Gesellschaft dramatisch. Das Wachstum im Passagieraufkommen in den USA war im Zeitraum von 1950 bis 1970 bis zu fünfmal größer als das Bevölkerungswachstum. Während dieser Periode des explosiven Wachstums in der Luftfahrt entwickelte sich die Rolle des Menschen innerhalb des Luftfahrtsystems ebenfalls weiter. In „The Pilot’s Burden“ beschreibt Robert Buck auf eloquente Weise die Veränderung der Rolle und der Verantwortung der Piloten im Zeitraum von 1930 bis 1990. Buck hatte einen Gutteil seiner fliegerischen Karriere in einmotorigen Doppeldeckern mit offenen Cockpits verbracht. Diese waren mit minimaler Instrumentierung und ohne Funkgerät ausgerüstet. Er beschreibt das Fliegen während seiner Zeit als Postflieger wie folgt: „Imagine flying across New York City through the northeast corridor with no traffic, no ATC, no two-way radio, not a thing to think about except those key basics: fly the airplane, navigate, and avoid the terrain. It was a beautiful, simple life“<sup>440</sup>. 1937 wurde Buck Verkehrsflugzeugführer bei der Fluggesellschaft TWA. Er berichtet, dass die Triebwerke in Leistung, Komplexität und Anzahl anstiegen und die Aufgabe der Piloten, die Systeme zu überwachen und zu kontrollieren, ebenfalls größer wurde. Neue Systeme wie zum Beispiel Landeklappen oder Schubumkehr wurden in die Flug-

---

<sup>439</sup> Vgl. Harris, Human Factors, 2004, S. 14-15; vgl. Risukhin, Automation, 2001, S. 10-22; Wiener & Curry, Automation im Cockpit, 1987, S. 108-135; vgl. Wiener & Curry, Flight-Deck Automation: Promises and Problems, 1982, S. 67-86; vgl. Abbott, Human Factors, 2001, Kap. 9.

<sup>440</sup> Buck, The pilot’s burden, 1994, S. 8.

---

zeuge installiert und verlangten von den Piloten eine höhere Aufmerksamkeit. Zusätzlich erforderten Lärminderungsverfahren bei Start und Landung die Einhaltung von definierten Flugwegen und Triebwerksleistungseinstellungen.<sup>441</sup>

Die Verschiebung der Aufgaben der Piloten vom reinen Steuern und Navigieren des Flugzeugs zum Überwacher von automatisierten Systemen erforderte von vielen Piloten ein Umdenken. Hinzu kam auch die schnelle Entwicklung von technischen Systemen sowie die immer weiter ansteigenden Flugleistungen.

Der erste Schritt zur Automation im zivilen Luftverkehr hatte bereits in den 1930er Jahren mit der Verwendung des 3-Achs-Autopiloten begonnen. Die ersten Autopiloten hatten die Besatzung jedoch nur teilweise entlastet, weil sie ständig überwacht werden mussten, denn bei einer Fehlfunktion mussten die Piloten den Autopiloten auskoppeln und das Flugzeug wieder von Hand in die korrekte Fluglage und Flugrichtung ausrichten. Die erste Generation der Verkehrsflugzeuge mit Jetantrieb wie die DeHavilland Comet, die Boeing 707 und die Douglas DC-8 und DC-9 verfügten dann über einen 3-Achs-Autopiloten mit Yaw Damper.<sup>442</sup> Der Autopilot und Flight Director der Boeing 707 beinhaltete sogar bereits ein System, das es dem Piloten zum Beispiel erleichterte, ein ILS abzufliegen. Dieses wurde von den Piloten auch als eingebaute „Intelligenz“ bezeichnet.<sup>443</sup> Die neuen Systeme entlasteten die Piloten von der Aufgabe, das Flugzeug ständig von Hand auf einem vordefinierten Kurs zu halten. Dadurch wurden Kapazitäten frei, sodass auch andere Systeme bedient und überwacht werden konnten. Jedoch verlangte auch der Autopilot eine regelmäßige Überwachung.

Die nächste Generation von Verkehrsflugzeugen, zu denen die Boeing 727, die Boeing 737-100 und 200, die Boeing 747-100 bis 300 sowie die Douglas DC-10, die Lockheed L1011 TriStar und der Airbus A300 gehörten, besaßen bereits Flächennavigationssysteme, Flight Director, VHF Navigationsinstrumente, Warnsysteme für die Flugzeug-

---

<sup>441</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 10-11; vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 176-177; vgl. Vidulich, Wickens, Flach, & Tsang, *Information Processing in Aviation*, 2010, S. 176-214.

<sup>442</sup> Vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 151; vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 84-85; vgl. hierzu und im Folgenden Wiener & Curry, *Automation im Cockpit*, 1987, S. 108-135 sowie Hurst & Hurst, *Flugunfälle*, 1987, S. 13-46; vgl. Mosier, *The Human in Flight*, 2010, S. 147-174.

<sup>443</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 102, 182-183; Wiener & Curry, *Automation im Cockpit*, 1987, S. 108-135; vgl. Wiener & Curry, *Flight-Deck Automation: Promises and Problems*, 1982, S. 67-86.

---

konfiguration sowie Alarmmeldungen für Systemfehler. Die Flugzeugkontrollen wurden auch teilweise automatisiert. So kamen zum Beispiel automatische Störklappen zum Einsatz.<sup>444</sup>

Die aufgrund der Komplexität des Flugzeugs ansteigende Anzahl an Systemen zeigt nicht die gesamte Zunahme der Arbeitsbelastung auf. Hinzu kam, dass der weltweite Luftverkehr stetig zunahm und man sich über die exakte Position des eigenen Flugzeugs sowie der anderen Flugzeuge in der Umgebung gewiss sein musste, um Unfälle zu vermeiden. Auch der Funkverkehr nahm entsprechend zu, sodass ständig mit Ablenkungen über Funk zu rechnen war.<sup>445</sup>

Die technische Entwicklung sorgte aber auch für entsprechende Erleichterungen in der Flugzeugsteuerung. Die flugmechanischen Eigenschaften der Flugzeuge wurden soweit verbessert, dass sie von den Piloten leicht zu beherrschen waren. Die Steuerungssysteme entwickelten sich von rein mechanischen hin zu elektro-hydraulischen Systemen, wodurch der Kraftaufwand für Steuerbewegungen nahezu eliminiert wurde.

Der Wandel der Rolle der Piloten, vom Fliegen der Flugzeuge durch physische Steuereingaben zum Manager eines komplexen Verkehrsmittels, machte sich besonders auf längeren Flügen bemerkbar. Die Kurskorrekturen wurden direkt am Autopiloten eingestellt. Von Hand gesteuert wurde meist nur noch bei Start und Landung. Dies sorgte für eine geringere Ermüdung der Piloten während des Fluges. Aber aufgrund der steigenden Leistungsfähigkeit der Flugzeuge wurden Langstreckenflüge zum Standard, bei denen mehrere Zeitzonen ohne Zwischenlandung überwunden wurden.

Die Besatzung auf Langstreckenflügen konnte aus einem Kapitän, zwei Copiloten, zwei Flugingenieuren, einem Funker, einem Navigator und den Flugbegleitern bestehen. Der Kapitän war der Leiter dieser Gruppe. Allerdings gehörte das Leiten eines Teams nicht unbedingt zur Pilotenausbildung.<sup>446</sup> Am Beispiel der Lufthansa ist zu sehen, dass die Kapitäne der ersten Jets, wie der Boeing 707, meist über 50 Jahre alt

---

<sup>444</sup> Vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 151; vgl. Abbott, *Human Factors*, 2001, Kap. 9; vgl. Mosier, *The Human in Flight*, 2010, S. 147-174.

<sup>445</sup> Siehe zu Ablenkungen im Sprechfunkverkehr auch Illman, *Communications*, 2001; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 11ff.; vgl. Durso & Alexander, *Managing Workload, Performance, and Situation Awareness in Aviation Systems*, 2010, S. 217ff.; vgl. Ferris & Sarter, *Cockpit Automation: Still Struggling to Catch Up...*, 2010, S. 479-504.

<sup>446</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 34-35; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 11ff.; vgl. Durso & Alexander, *Managing Workload*, 2010, S. 217-248.

---

waren. Einige waren Kriegsveteranen, die bereits die Ju 52 oder die Dornier Wal geflogen sind. Diese verbreiteten bisweilen den Habitus eines Patriarchen auf dem Flight Deck. Die Copiloten wurden weitestgehend zum Schriffführer degradiert und durften nur selten einen Streckenabschnitt selbst fliegen.<sup>447</sup>

Diese Hierarchie änderte sich durch die zunehmende Technisierung des Flight Decks. Wie oben beschrieben, reduzierte sich die Besatzungsstärke aufgrund automatisierter Systeme auf schließlich nur noch zwei Piloten. Die Arbeit der Piloten, besonders des Kapitäns, verlagerte sich vom Fliegen selbst zum Manager von automatischen Systemen und der Leitung von Kollegen auf dem Flight Deck. Unterstützt wurde diese Entwicklung auch durch entsprechende Verfahren der Luftfahrtunternehmen, welche auf dem Flight Deck eine entsprechende Teamarbeit erforderten.<sup>448</sup>

Trotz der Weiterentwicklungen im Bereich der Erfassung und Verarbeitung von Daten sowie der Kommunikationstechnologie, die die Kontrolle eines komplexen Flugzeugs in Echtzeit zuließ, blieb die Informationsverarbeitung durch den Piloten weiterhin ein wesentlicher Bestandteil der Flugsicherheit und Effizienz. Das schöne und einfache Leben der Piloten, wie es Robert Buck beschrieben hatte, bei dem der Pilot mit dem Flugzeug auf individuellem Weg seinen Flug absolvierte, ging nun endgültig zu Ende. Der Pilot entwickelte sich mehr und mehr zu einem integrierten Bestandteil eines komplexen Systems der sicheren Flugdurchführung.<sup>449</sup>

## Neuerungen in der Flugführung

### *Neue Wege in der Instrumentenanordnung*

Die Anordnung der Fluginstrumente blieb auch in der zweiten Jahrhunderthälfte ein zentrales Thema der Flugzeugtechnik. Während sich in Großbritannien die Basic Six-Anordnung der primären Fluginstrumente etablierte, ging man in den USA andere

---

<sup>447</sup> Interview mit Steffen, 2012; zur Ausbildung von Flugzeugführern im zweiten Weltkrieg siehe Kehrt, *Moderne Krieger*, 2010, S. 221-281.

<sup>448</sup> Siehe dazu auch Turner, *Controlling Pilot Error*, 2001; vgl. Salas, Shuffler, & DiazGranados, *Team Dynamics at 35,000 Feet*, 2010, S. 249-292.

<sup>449</sup> Vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010, S. 177-178; vgl. Vidulich, Wickens, Flach, & Tsang, *Information Processing in Aviation*, 2010, S. 175-216.

---

Wege. Das Civil Aeronautics Board veröffentlichte 1953 Bau- und Ausrüstungsvorschriften für Flugzeuge. Diese legten auch eine minimale Fluginstrumentierung fest, zu der folgende Instrumente gehörten: Fahrtmesser, Höhenmesser (Feinhöhenmesser), Uhr mit Sekundenanzeige, Außenluftthermometer, Kreiselgestützte Quer- und Nicklagenanzeige, Wendezeiger, Magnetischer Kurszeiger und Variometer. Flugzeuge, deren Höchstgeschwindigkeit aufgrund von Verdichtungsstößen limitiert wurde, benötigten zusätzlich noch eine entsprechende Anzeige. Diese Anzeige entsprach einem Machmeter. Weiterhin gehörte auch ein Zwei-Wege Funkgerät und ein Funknavigationsgerät zur Mindestausrüstung. In der Vorschrift wurden letztere aber nicht weiter spezifiziert.<sup>450</sup>

Die Flug-, Navigations- und Triebwerksinstrumente mussten so angeordnet werden, dass die Instrumente, die von beiden Piloten eingesehen werden mussten, bei einer minimalen Abweichung von der normalen Sitzposition gut sichtbar waren. Diese Forderung betraf grundsätzlich die Triebwerksinstrumente, da diese im mittleren Bereich des Instrumentenbretts installiert wurden. Die primären Fluginstrumente wurden direkt vor den Piloten angeordnet. Hier verlangte die Vorschrift, dass diese sich in der normalen Sichtlinie der Piloten befanden, sodass, wenn sie geradeaus durch das Fenster schauten, nur eine geringe Kopf- beziehungsweise Augenbewegung zur Ablesung erforderlich war.<sup>451</sup>

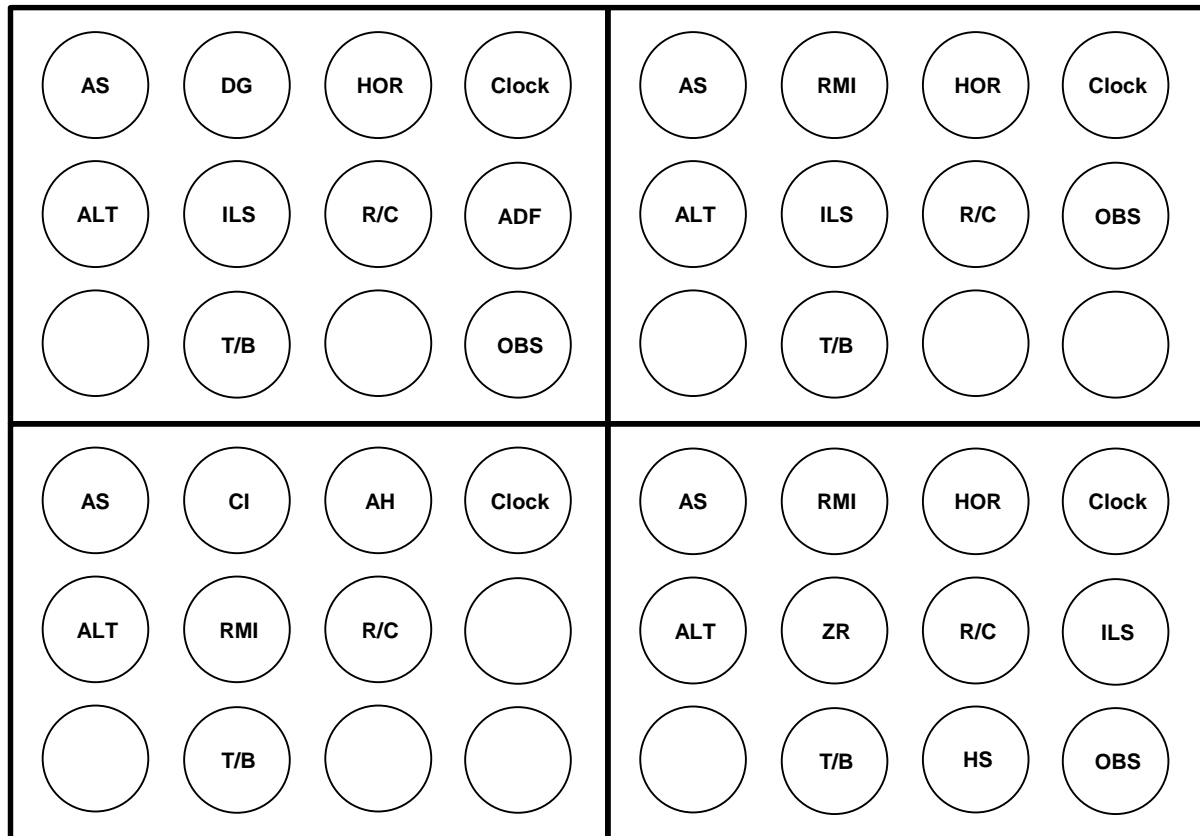
Die Anordnung der erforderlichen Instrumente selbst war den Flugzeugherstellern beziehungsweise den Betreibern nahezu selbst überlassen. Das Civil Aeronautics Board lies vier unterschiedliche Varianten für die primären Flug- und Navigationsinstrumente zu. Diese unterschieden sich hauptsächlich in der Art und Anordnung der Kreisel- und Funknavigationsinstrumente. Für den Fahrtmesser, Höhenmesser, Uhr und Wendezeiger war stets die identische Platzierung vorgesehen.<sup>452</sup>

---

<sup>450</sup> Vgl. Civil Aeronautics Board, 1953, S. 38-39, §4b.603, §4b.605.

<sup>451</sup> Vgl. ebd. S. 39, §4b.611.

<sup>452</sup> Vgl. ebd. S. 39-40, §4b.6011 (b).



ADF - Automatic Direction Finder  
 AH - Approach Horizon  
 ALT - Altimeter  
 AS - Air Speed  
 CI - Course Indicator  
 DG - Direction Gyro  
 HOR - Artificial Horizon (Bank and Pitch)

HS - Heading Selector  
 ILS - Instrument Landing System  
 OBS - Omni-Bearing Selector  
 R/C - Rate of Climb  
 RMI - Radio Magnetic Indicator  
 T/B - Turn and Bank  
 ZR - Zero Reader

Abbildung 16: Mögliche Instrumentenanordnung 1953 (Quelle: CAB, 1953, S. 39)

Diese vier Instrumente allein hätten eine kontrollierte Steuerung des Flugzeugs ohne Sicht nach außen ermöglicht. Da Kreiselinstrumente wie der Wendezweiger ihre Energie häufig durch Unterdruckpumpen an den Triebwerken gewinnen, wäre sogar die Fortsetzung eines Fluges bei Versagen der Bordelektrik möglich gewesen. Es ist anzunehmen, dass die Anordnung der genannten Instrumente mit diesem Szenario begründet wurde.

Bis 1955 hatten sich auf den Flight Decks dann die folgenden 10 Instrumente, bestehend aus je einem Paar für Pilot und Copilot, etabliert:

- 
- Attitude Direction Indicators (ADI)<sup>453</sup>
  - Fahrtmesser (ASI)
  - Höhenmesser (ALT)
  - Horizontal Situation Indicator (HSI)<sup>454</sup>
  - Variometer (VSI)

Jede Gruppe von ADI, ASI und ALT war an einem eigenen, von einander unabhängigen Pitot-Statik-System für den ASI und ALT sowie an einem Referenzgyrometer für den ADI angeschlossen. Beide Piloten mussten regelmäßig die Instrumente des anderen überprüfen, um sicherzustellen, dass sie selbst keine Fehlanzeigen hatten. Die US-Luftfahrtbehörde (FAA) bestand zunächst nicht auf Stand-by Instrumente, die bei einem Ausfall der Hauptsysteme immer noch die Fluglage, Höhe und Fahrt anzeigten. Erst ab 1967 wurden Stand-by Instrumente in die Boeing 707 eingerüstet.<sup>455</sup>

Mit der Einführung der Jets, die andere Flugcharakteristika wie Flugzeuge mit Propeller und Kolbentriebwerk aufweisen, wurden weitere Lücken in der Standardisierung von Instrumentenanordnungen geschlossen, wobei vor allem die primären Fluginstrumente in den Fokus gerieten, die vor den Piloten angebracht waren. Die amerikanische SAE<sup>456</sup> schlug einen Standard vor, die International Federation of Air Line Pilots Association (IFALPA)<sup>457</sup> einen weiteren, und auch die Air Line Pilots Association (ALPA)<sup>458</sup> wartete mit eigenen Ideen auf. Der einzige, bis dato durchgesetzte Standard war die britische Basic Six-Anordnung, die zumindest die Cockpits der RAF Flugzeuge prägte. Über das beste Layout wurde viel diskutiert. Schließlich entschied sich die United States Air Force (USAF) für eine Anordnung, welche als Basic-T weltweit zum Standard wurde, da die debattierenden Parteien sich auch für die Einführung der Basic-T Anordnung in zivilen Flugzeugen entschieden. Die Federal Aviation Agency revidierte die Bauvorschriften ihrer Vorgängerorganisation, dem Civil Aeronautics Board, dahingehend, dass sie die Anordnung der Instrumente entsprechend der Basic-Philosophie veröffentlichte. Die zugrundeliegende Philosophie der Basic-T-Anordnung war,

---

<sup>453</sup> In der deutschen Literatur wird der Attitude Direction Indicator auch mit Leithorizont bezeichnet.

<sup>454</sup> In der deutschen Literatur wird der Horizontal Situation Indicator auch mit Leitkursanzeige bezeichnet.

<sup>455</sup> Vgl. Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 188-189.

<sup>456</sup> Society of Automotive Engineers.

<sup>457</sup> Zu IFALPA siehe auch Jackson, 1998, IFALPA - The History of the First Decades - 1948-1975.

<sup>458</sup> Zu ALPA siehe auch Hopkins, 1982, Flying the Line: The First Half Century of the Air Line Pilots Association.

dass der ADI und das HSI in einer vertikalen Linie angeordnet sind. Der Fahrtmesser und der Höhenmesser bildeten dabei den Querbalken des T.<sup>459</sup>



Abbildung 17: Basic-T Anordnung (Quelle: Autor)

Abhängig vom Flugzeugtyp existierten Variationen bezüglich der Anordnung des Wendezweigers, des RMI sowie des Variometers.

In den späten 1950er Jahren konzentrierten sich die Instrumentenentwickler auf zwei Dinge. Zum einen verbesserten sie die Zifferblätter der Instrumente in der Hinsicht, dass diese klare und eindeutige Anzeigen unter allen Lichtbedingungen boten. Dies umfasste die dunkle Nacht sowie das ungefilterte Sonnenlicht am Tag in großen Flughöhen. Die zweite Verbesserung war die Kombination von mehreren Anzeigen in einem Instrument, wie zum Beispiel dem Attitude Direction Indicator. Diese Kombinationsinstrumente waren technisch sehr komplex und somit sehr schwierig zu reparieren, und die Zeichen sowie die Symbole der Anzeige konnten nicht geändert werden.

<sup>459</sup> Vgl. Federal Aviation Agency, 1962, S. 54, §4b.611; vgl. Federal Aviation Administration, 1964, Sec. 25.1321; vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, Control in the Sky, 2005, S. 164-167, 188-190; vgl. Federal Aviation Agency, 1959, S. 4-9.



---

Dies war die maßgebliche Begründung zur Entwicklung elektronischer Anzeigeinstrumente.

Immer wieder wurden auch Instrumente mit linearen Skalen entwickelt. Sie unterschieden sich von den linearen Anzeigen, die bereits vor dem Zweiten Weltkrieg gebaut worden waren, dadurch, dass diese eine bewegliche Skala und eine fixe Anzeigenadel oder -linie besaßen. Diese, auch als Bandanzeigen bezeichneten Geräte wurden für Flug- und Systemparameteranzeigen gleichermaßen verwendet. Verglichen mit einem Rundinstrument benötigten die Bandanzeigen weniger Platz im Instrumentenbrett und waren sehr gut geeignet, um Abweichungen von einer definierten Linie zu signalisieren. Sie eigneten sich jedoch weniger, um Abweichungen, zum Beispiel anhand von Tendenzen, zu bewerten. Die Piloten mussten sehen können, wie sich die Anzeigewerte veränderten, um zum Beispiel vor dem Erreichen des Sollwertes entsprechende Maßnahmen zu treffen, damit dieser nicht überschritten wurde. Einige Piloten bevorzugten die Bandanzeigen, andere nicht. Auch gab es Diskussionen über die Reihenfolge der Zahlen auf den Anzeigebändern. Die meisten bevorzugten dabei eine von unten nach oben aufsteigende Skalierung. Diese eignete sich zum Beispiel beim Einsatz als Höhenmesser, bei denen sich die Bandanzeige mit zunehmender Flughöhe von oben nach unten bewegt.

Wie erwähnt, war die Akzeptanz der Bandanzeigen unterschiedlich. Zum Beispiel verfügte der Concorde Prototyp über Bandanzeigen, die British Overseas Airways Corporation (BOAC) aber baute wieder konventionelle Rundinstrumente ein. Pan American bestellte bei Boeing Rundinstrumente für die Triebwerksanzeigen der Boeing 747. TWA hingegen setzte auf Bandanzeigen.

Ab Mitte der 1950er Jahre wurde damit begonnen, Instrumentenanzeigen elektronisch darzustellen. Eine der ersten Anzeigen dieser Art war das Wetterradar. Die Anzeigen und der Informationsgehalt des ADI und HSI wurden immer komplexer, so dass analoge Anzeigen durch Nadeln, Zeiger oder Flaggen technisch immer aufwändiger wurden. Daraus resultierte einerseits eine höhere Störanfälligkeit. Andererseits hatten die digitalen Anzeigesysteme den Vorteil, die anzuzeigenden Informationen jederzeit selektieren zu können, sodass die Informationen angezeigt wurden, die der Pilot aktuell benötigte. Die erste Anzeigetechnik war die klassische Kathodenstrahlröhre (CRT).

---

Diese wurden später durch modernere und platzsparende Systeme wie zum Beispiel LED ersetzt.<sup>460</sup>

## *Flächennavigation*

Nach dem Zweiten Weltkrieg fanden die Radio Range Stationen zunächst weiterhin Verwendung. Abgesehen von der Beschränkung der nur jeweils vier vorhandenen Leitstrahlen, die direkte Flüge von A nach B nur selten zuließen, waren sie auch störungsanfällig bei bestimmten atmosphärischen Ereignissen. Die Notwendigkeit für Systeme, die später als Flächennavigationssysteme (R-NAV) bekannt wurden, war gegeben. Ziel war es, die Flugzeugposition ohne Papier, Bleistift, Karten und Berechnungen zu ermitteln. Die RAF verwendete das zivil genutzte GEE. Weiterentwicklungen von GEE, wie zum Beispiel LORAN, verlangten vom Bediener die Interpretation von Anzeigen auf einer Kathodenstrahlröhre oder wie beim System CONSOL die Interpretation von akustischen Punkten und Strichen. Diese Systeme konnten nicht direkt vom Piloten genutzt werden.<sup>461</sup>

Der Nachfolger von GEE war Decca, das ab 1946 bei den Luftfahrtunternehmen zum Einsatz kam. Auch das Decca Navigator System bedurfte einer großen Aufmerksamkeit. Um die aktuelle Flugzeugposition abzulesen, musste der Pilot die Werte des Deccometers auf eine Karte übertragen. Um die Arbeitsbelastung des Piloten zu reduzieren, wurde ab 1955 das Decca Flight Log verwendet. Eine weitere Verbesserung war das Decca / HARCO Navigator System. Dieses System zeichnete den Flugweg in Echtzeit auf. Eine Karte bewegte sich unter einem Stift, ähnlich wie ein x-y-Schreiber, und markierte die Position sowie die geflogene Strecke. Dadurch musste der Pilot keine Übertragungen oder Berechnungen durchführen, um die aktuelle Position zu ermitteln. Dieses System trug viel zur Effizienz des Lufttransports bei. Der Nachteil bestand aber darin, dass es viel Platz auf dem Flight Deck in Anspruch nahm. Abhilfe schaffte das Decca Omnitrac System, das über eine automatische Kartenanzeige ver-

---

<sup>460</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 175-176; vgl. Gunston, *Avionics*, 1990, S. 205-206.

<sup>461</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 190-192; vgl. Wilson, *Avionik*, 1993, S. 19ff.; vgl. Walker, *Navigationssysteme*, 1993, S. 147-151.

---

fügte. Zudem konnte das System mit dem Autopiloten und dem Flight Director gekoppelt werden. Das Gerät konnte Distanzen, Flugzeiten und vertikale Richtungsinformationen zu entsprechenden Wegpunkten anzeigen.

In den USA wurde GEE zum LORAN System weiterentwickelt. Ziel der Entwicklung war eine höhere Reichweite. Die höhere Reichweite wurde durch Erhöhung der verwendeten Wellenlängen, die dann von der Ionosphäre wieder reflektiert wurden, erzielt. Ab 1951 wurde das LORAN C System für den Nordamerikanischen Luftverkehr wichtig. Die Systeme wurden oft in Boeing 707 und DC-8 installiert.<sup>462</sup>

Obwohl diese Flächennavigationssysteme viele Vorteile boten, konnten sie sich langfristig nicht durchsetzen. Die USA, die ein verbessertes Radio Range System wollten, setzten das VOR (VHF Omnidirectional Range) System als weltweiten Standard für die Markierung von Luftwegen durch. Versuche, die Flächennavigationssysteme weiter zu verbessern, konnten den Siegeszug der VOR-Anlagen nicht aufhalten. Ab 1950 zum Beispiel wurden in den USA VOR-Anlagen zur Markierung von Luftwegen verwendet. Die VOR-Drehfunkfeuer sendeten ein Signal aus, mit dem ein Empfänger im Flugzeug die genaue Richtung zum Drehfunkfeuer ermitteln und anzeigen konnte. VOR eignet sich sehr gut zum Folgen von vordefinierten Luftwegen. Bei einer direkten Punkt-zu-Punkt Navigation, bei der sich keine Anlagen in der direkten Verbindungslinie befinden, eignen sich diese Systeme weniger. Die Instrumente im Cockpit oder auf dem Flight Deck, die auf VOR-Drehfunkfeuersignale zugreifen, werden auch als VOR bezeichnet. Ferner können die Signale der VOR-Anlagen unter anderem mit dem Horizontal Situation Indicator (HSI) oder dem Radio Magnetic Indicator (RMI) ausgewertet und entsprechend angezeigt werden. Allerdings ist auch zu bemerken, dass VOR keine Informationen über Distanzen zur Verfügung stellen. Diese müssen auf anderem Wege ermittelt werden, wie zum Beispiel dem Distance Measuring Equipment (DME). Neben den gerichteten Funkfeuern können aber auch Non Directional Beacon (NDB) Stationen verwendet werden.<sup>463</sup> NDB senden Signale in alle Richtungen, vergleichbar

---

<sup>462</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Gunston, Avionics, 1990, S. 52-55; vgl. Wilson, Avionik, 1993, S. 19ff.; vgl. Walker, Navigationssysteme, 1993, S. 147-151.

<sup>463</sup> Vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 175-176; vgl. Wilson, Avionik, 1993, S. 19ff.

---

mit Radiosignalen, und können von mehreren Geräten wie zum Beispiel dem Automatic Direction Finder (ADF oder Radiokompass)<sup>464</sup> oder dem RMI empfangen werden. Grundsätzlich zeigen diese Instrumenten die direkte Peilung zur Station an.

Die Navigation bei Kurz- und Mittelstrecken erfolgte meist anhand von VOR / DME. Bis 1952 wurden in den USA nahezu alle zur Streckennavigation eingesetzten Radio Range Stationen durch VOR Stationen ersetzt. Bis zum Ende des Jahrzehnts sollten VOR-Anlagen zur Standardnavigationsanlage innerhalb der ICAO-Staaten werden. Auf Langstrecken hingegen wurden Hyperbelnavigationsverfahren angewandt, bis diese in den 1990er Jahren durch Satellitennavigation ersetzt wurden.<sup>465</sup>

Ein revolutionäres Navigationssystem war das INS (Inertial Navigation System). Das INS war das erste von Bodeneinrichtungen vollkommen unabhängige Navigationssystem. Die einzige Voraussetzung war, dass vor dem Start die korrekte Position des Flugzeugs einprogrammiert wurde. Das Instrument zeigte dann die aktuelle Position in Längen- und Breitengradkoordinaten an. Diese Daten konnten auch von anderen Systemen, wie zum Beispiel dem Autopiloten genutzt werden.<sup>466</sup>

Auch das Inertial Navigation System (INS) hatte wichtige Effekte auf das Design des Flight Decks sowie auf die angewendeten Verfahren und auf die Anzahl der Flugbesatzung. Das INS wurde erstmals 1967 bei der Boeing 707 für eine zivile Verwendung von der amerikanischen FAA zugelassen. Nach Einführung des INS verzichtete zum Beispiel die American Airlines fortan auf den Navigator als Flugbesatzungsmitglied.<sup>467</sup>

Abschließend sollen noch zwei weitere Flächennavigationssysteme genannt werden. Das Omega System war eine Weiterentwicklung des Decca Systems und benötigte für eine weltweite Abdeckung acht Bodenstationen. Außer in Flugzeugen wurde Omega auch von Schiffen verwendet. Im Luftverkehr wurde Omega besonders für ozeanische Flugrouten eingesetzt. Ein weiteres Navigationssystem, dessen Installation im September 1959 begann, war das Navstar GPS (Global Positioning System).

---

<sup>464</sup> Siehe auch Kramar, *Funksysteme für Ortung und Navigation und ihre Anwendung in der Verkehrssicherheit*, 1973, S. 58ff.

<sup>465</sup> Vgl. Kramar, 1969, Sonderdruck aus *Interavia* Heft 2/1969; vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 72-73; vgl. Wilson, *Avionik*, 1993, S. 19ff.

<sup>466</sup> Vgl. Walker, *Navigationssysteme*, 1993, S. 151-152.

<sup>467</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 175-176; vgl. Walker, *Navigationssysteme*, 1993, S. 151-152.

---

Dieses sollte 1974 in Betrieb gehen, war aber erst Mitte der 1990er Jahre voll funktionsfähig. Beide Systeme Omega und GPS wurden anfangs nur militärisch genutzt. Die Freigabe für die zivile Nutzung erfolgte erst später.<sup>468</sup>

### *Die Kontrolle der Flugbahn*

Die Notwendigkeit von schnellen Reaktionen auf besondere Ereignisse auf dem Flight Deck wird von der Tatsache untermauert, dass sich über die Hälfte der Unfälle während des Anflugs oder der Landung ereigneten. Dabei spielten die Wetterbedingungen eine untergeordnete Rolle, da die Unfälle auch bei ruhiger Luft und sehr guten Sichten vorkommen. Weiterhin ist zu verzeichnen, dass sich die Unfallraten konzentrierten, je näher die Flugzeuge sich am Flugplatz beziehungsweise am Boden befanden. Durch die recht hohen Anfluggeschwindigkeiten bleibt für Korrekturen des Anflugwinkels kaum Zeit. Für Jets kommt erschwerend hinzu, dass die Triebwerke einige Sekunden benötigen, um im Bedarfsfall den vollen Schub wieder aufzubauen. Aus diesen Gründen müssen Piloten von Jetflugzeugen recht vorausschauend fliegen. Sie benötigen präzise und eindeutige Instrumentenanzeigen über die Fluglage, die Position sowie die Konfiguration des Flugzeugs. Die Durchsetzung von automatischen Systemen, welche die Piloten während kritischer Fluglagen entlasten, wurde auch von dem steigenden Flugaufkommen vorangetrieben. Aber diese automatischen Systeme entlasteten die Piloten nicht von der Verantwortung sowie der Entscheidung, die automatischen Systeme im Bedarfsfall zu übersteuern und manuell zu fliegen.<sup>469</sup>

Während der Evolution des Flight Decks kam die Frage auf, wann und in welchem Umfang dem menschlichen Piloten die Steuerung überlassen werden sollte. Diese Frage bezieht sich auf die Qualität und den Umfang an Informationen, die dem Piloten anhand der Instrumente vermittelt werden können, sowie der Sicht des Piloten auf die reale Welt. Die reale Welt wird dem Piloten anhand von Analogien und Nachbildungen auf dem Instrumentenbrett angezeigt. Bevor die Probleme der Informationsübertra-

---

<sup>468</sup> Siehe auch Kramar, *Funksysteme für Ortung und Navigation und ihre Anwendung in der Verkehrssicherheit*, 1973, S. 83ff.; vgl. Wilson, *Avionik*, 1993, S. 19ff.; vgl. Walker, *Navigationssysteme*, 1993, S. 147-151.

<sup>469</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 183-185, 226-229; vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 188.

---

gung bei Anflug und Landung näher betrachtet werden, ist es angebracht, die grundsätzlichen Variablen zu betrachten, die vom Piloten interpretiert, koordiniert und verknüpft werden müssen, um das Flugzeug auf einer vorberechneten Flugbahn zu halten. Diese Parameter sind die Abweichung von der Anfluggrundlinie, die als Verlängerung der Landebahn zu interpretieren ist, die Abweichungen oberhalb oder unterhalb der Gleitwegs und die aktuelle Entfernung zur Landebahn. Ebenso sind die entsprechenden Korrekturwinkel wichtig, sofern sich das Flugzeug nicht auf der optimalen Flugbahn befindet. Alle diese Abweichungen vom Optimum müssen vom Piloten korrigiert werden, damit das Flugzeug den Aufsetzpunkt in dem richtigen Winkel mit der passenden Geschwindigkeit erreicht.<sup>470</sup>

Beim manuellen Anflug mit Sicht auf die entfernte Landebahn ist es für den Piloten kein großes Problem, den Anflugkurs einzuhalten. Auch das Fliegen mit einem permanenten Schiebewinkel zur Korrektur des Seitenwindes stellt keine große Herausforderung dar. In der vertikalen Ebene aber benötigt auch eine Landung mit visuellem Kontakt zur Landebahn ein gewisses Maß an Übung. Die korrekte Interpretation durch den Blickwinkel und der Anfluglichter bedarf einer Menge an Erfahrung und Urteilsvermögen. Der meist optimale Gleitwinkel beträgt 3°. Um diesen unter Sichtflug einzuhalten, bedarf es viel Übung. Eine Abweichung von einem Grad ist nur marginal und bei eingeschränkter Sicht nur sehr schwer wahrzunehmen. Beim Durchstoßen einer geschlossenen Wolkendecke im Anflug, zum Beispiel beim ILS, hat der Pilot oftmals nur einige Sekunden Zeit, den richtigen Anflugwinkel zu verifizieren und entsprechende Entscheidungen wie eine Korrektur des Anflugwinkels oder ein Durchstarten durchzuführen.

Bei der Gestaltung des Flight Decks war der Übergang von der Sicht auf die Instrumente während des Anflugs zur Sicht nach außen stets ein kritischer Punkt. Bei dem Wechsel von der Sicht auf die Instrumente musste sich der Pilot mental von einer Flugführung durch künstlichen Horizont auf einen realen Horizont umstellen. Die neue Fokussierung durch das Auge benötigte bis zu zwei Sekunden. Weitere zwei bis drei

---

<sup>470</sup> Vgl. Vidulich, Wickens, Flach, & Tsang, *Information Processing in Aviation*, 2010, S. 175-216; vgl. Durso & Alexander, *Managing Workload*, 2010, S. 217-248.

---

Sekunden wurden darauf verwendet, die Fluglage und Position entsprechend zu bewerten. Weitere Zeit ist notwendig, um eventuelle Korrekturen der Flugbahn einzuleiten und die Reaktion des Flugzeugs auf diese zu bekommen.<sup>471</sup>

Als in den 1940er Jahren das ILS eingeführt wurde, nutzte der Pilot eine Anzeige von zwei gekreuzten Nadeln, um den Anflug- und Gleitwinkel einzuhalten. Ein Ausschlag der Nadel nach links zeigte ihm an, dass er sich rechts des Anflugkurses befand und entsprechend nach links korrigieren musste. Analog funktionierte auch die Anzeige für den Gleitpfad. Die Anzeige zeigt dem Piloten die relative Position des Flugzeugs zu dem ILS Leitstrahl, hilft ihm aber nicht, die optimale Position einzuhalten. Nur mit Erfahrung, Konzentration und gutem Koordinationsvermögen ist es dem Piloten möglich die ILS Informationen zusammen mit den andern Instrumenten zu interpretieren und das Flugzeug auf optimaler Flugbahn zu steuern. Als eine enorme Innovation dieses Instruments ist aber die Kommandoanzeige zu verstehen. Im Vergleich zu früheren Navigationsinstrumenten wird oft nur eine Ablage vom Sollkurs angezeigt. Beim ILS sowie späteren Entwicklungen wie dem Flight Director oder dem Sperry Zero Reader erhält der Pilot auch eine Information, wie er den Kurs korrigieren muss, um auf den Sollwert zu gelangen.<sup>472</sup>

Sperrys Zero Reader, der 1948 eingeführt wurde, war ein hochentwickeltes ILS-Anzeigegerät. Es wurde durch einen elektromechanischen Computer angetrieben, der Roll- und Nicksignale vom Gyroskop des künstlichen Horizonts und des Kurskreisels erhielt. Die beiden gekreuzten Nadeln des Instruments zeigten dem Piloten nicht die relative Position zum Landeleitstrahl, sondern sie zeigten ihm die Richtung an, wohin er die Steuerung bewegen musste. Wenn er die Kreuzung der beiden Nadeln im Zentrum des fixen Kreises, welcher das Flugzeug symbolisierte, im Instrument hielt, wurde der Landekurs sanft eingefangen und am Landeleitstrahl gleichmäßig entlanggeflogen. Damit hatte Sperry in einem Instrument die Informationen des künstlichen Horizonts, des Kurskreisels und des Gyrokompasses vereint. In den folgenden Jahren wurde der Zero Reader mit der Anzeige des künstlichen Horizonts kombiniert und bildete den Flight Director. Dieses Instrument nahm die zentrale Position des Basic-T ein. Im Laufe der Jahre wurde, um auch mit den steigenden Flugleistungen der Flugzeuge mithalten

---

<sup>471</sup> Vgl. Liebing, Flugsicherheit, 1968, S. 22ff.

<sup>472</sup> Vgl. Smallman, Instrumentation, 1961, S. 26-27; vgl. Sperry Gyroskope Company Limited, 1956, S. 101-109.

zu können und die Arbeitsbelastung der Piloten zu verringern, der Flight Director immer weiter verfeinert. Auch die Informationsleistung wurde erweitert. Aus dem Instrument wurde der Attitude Director (AD).<sup>473</sup>

Der Anstieg des Luftverkehrs in den Nachkriegsjahren führte zu einer Vergrößerung des Streckennetzes der Luftwege. Dies verlangte einen größeren Bedarf an verbesserten Navigationsinstrumenten. So wurde der Kurskreisel mit den Anzeigen der Funknavigationsanzeigen kombiniert. Das Ergebnis war der Radio Magnetic Indicator (RMI). Dieses Instrument erlaubte es dem Piloten, den Kurs und den Winkel zur eingestellten Navigationsanlage abzulesen. Eine weitere Entwicklung endete im Horizontal Situation Indicator, welcher auch in der Lage war, den Gleitweg eines ILS anzuzeigen. Der Attitude Director bildete gemeinsam mit dem Horizontal Situation Indicator (HSI) die primären Sollwertanzeigen der Basic-T-Anordnung. Die dargestellten Informationen der beiden Instrumente sind sehr umfangreich und beinhalten präzise Angaben über Fluglage und Richtung.<sup>474</sup>



Abbildung 18: Attitude Director (Quelle: Coombs, 1990, S. 186)

<sup>473</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 146; ebd. S. 164-167; vgl. Sperry Gyroscopes Company Limited, 1956, S. 101-109.

<sup>474</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 146, 164-167; vgl. Coombs, *Das Cockpit*, 1993, S. 57.





Abbildung 19: Horizontal Situation Indicator (Quelle: Coombs, 1990, S. 186)

Neben den Instrumenten für die Anzeige des optimalen Kurses oder der Ablage vom designierten Flugweg sind auch noch andere Instrumente für die Auswahl und Kontrolle der besten Flugbahn von Bedeutung. Ein System, das während des Zweiten Weltkriegs verbessert wurde und in der Nachkriegszeit weitere Entwicklungsschritte hinter sich brachte, war der Autopilot. Grundlage für die Stabilisierung von Flugzeugen waren jetzt grundsätzlich Kreisel. Durch technische Verbesserungen sowie gute Abstimmungen mit dem jeweiligen Flugzeugmuster wurde der Autopilot zum wichtigsten Hilfsmittel für die Flugbesatzung. Der Funktionsumfang umfasste mehr als nur das Halten des Steuerkurses und der Flughöhe. Autopiloten waren im Stande, alle Achsen des Flugzeugs zu regeln. Ferner konnten die Autopiloten mit dem Flight Director gekoppelt werden und voreingestellte Höhen und Kurse selbstständig ansteuern und halten. Auch das Einhalten von ILS-Leitstrahlen gehörte zu ihrer Weiterentwicklung.<sup>475</sup>

Neben kreiselgestützten Instrumenten wurden zunehmend auch Instrumente auf Grundlage der Radartechnik verwendet. Zum einen war da das Wetterradar, welches, wie bereits erwähnt, ab 1946 seinen Weg in die Instrumentenbretter ziviler Flugzeuge fand. Das Wetterradar war primär konzipiert worden, um Regentropfen beziehungsweise Wolken aufzufinden. Eine Gefahr bestand in der Anwendung darin, dass Piloten

<sup>475</sup> Vgl. Kracheel, Flugführungssysteme, 1993, S. 161-170; vgl. Wilson, Avionik, 1993, S. 12ff.

---

in Labyrinth einfliegen, aus denen sie keinen Ausweg mehr fanden. Es war aber auch möglich, feste Objekte wie zum Beispiel Gebirge anzuzeigen. Ab 1962 forschte man bereits an Lasern, die es ermöglichen sollten, Turbulenzen in klaren Luftmassen darzustellen.

Ein weiteres Instrument, welches auf der Radartechnik beruht, ist der Radarhöhenmesser. Dieser misst den vertikalen Abstand vom Flugzeug zum Erdboden. Die Radarhöhenmesser boten eine große Erleichterung für die Piloten beim Endanflug. Barometrische Höhenmesser weisen oft eine zeitliche Verzögerung aufgrund ihrer Bauweise auf, sodass die tatsächliche Flughöhe im Endanflug geringer sein kann als die angezeigte Höhe. Der Radarhöhenmesser hingegen zeigt die Flughöhe über Grund nahezu verzögerungsfrei an.<sup>476</sup>

Um Zusammenstöße in der Luft zu vermeiden, startete 1956 die Entwicklung eines Systems, das den Piloten sich annähernde Flugzeuge anzeigt und sie entsprechend warnt. Dieses TCAS (Threat-Alert/Collision-Avoidance System) wurde von der amerikanischen FAA zum industriellen Standard erhoben. Jedoch galt es, das TCAS zunächst noch zur Einsatzreife weiter zu entwickeln. Mit zunehmender Luftverkehrsdichte wurde es immer wichtiger, eine entsprechende Ausweichrichtung vorgegeben zu bekommen. Es sollte damit verhindert werden, dass Ausweichflugmanöver andere Flugzeuge gefährdeten.

## *Automatische Landungen*

Schon seit dem Ersten Weltkrieg waren automatische Landungen Gegenstand vieler Patente und Testflüge in Deutschland, Frankreich und den USA. Während des Zweiten Weltkriegs wurde besonders in den USA und Großbritannien nach Lösungen gesucht, ein Flugzeug automatisch bis zum Aufsetzpunkt zu führen. Die RAF zielte damit auf eine verbesserte Rückführung ihrer Bomber bei schlechten Witterungsbedingungen ab. Die Entwicklung militärischer Systeme für automatische Landungen wurde nach dem Zweiten Weltkrieg fortgesetzt und die Forschung auch auf zivile Flugzeuge und Verfahren ausgedehnt. Mit der Erhöhung der Anfluggeschwindigkeiten und der Ent-

---

<sup>476</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 146, 164-167, 190-192.

---

wicklung von wetterunabhängigen Flugplänen wurde die Entwicklung von automatischen Landesystemen weiter vorangetrieben. Gleichzeitig wurden auch die Anflug- und Landebefeuerung auf den Flugplätzen verbessert, sodass die Piloten bei schlechtem Wetter eine maximale Orientierungshilfe zur Verfügung hatten. Dies führte dazu, dass die Anzahl der Unfälle, die aufgrund des erhöhten Flugaufkommens, schnelleren Anfluggeschwindigkeiten und schlechter manövrierbaren Flugzeugen angestiegen war, wieder abnahm.<sup>477</sup>

Ein weiteres System war das vom Militär verwendete Verfahren, den Anflug per Radar zu überwachen. Bei diesem Ground Control Approach (GCA) Verfahren erhielt der Pilot über Funk Anweisungen für Korrekturen des Anflugwinkels sowie der Sinkrate von einer am Boden befindlichen Radarstation. Das Militär belieferte nach dem Zweiten Weltkrieg auch zivile Flugplätze mit diesem System. Nachdem aber in London Heathrow eine DC-3 bei einer Landung mit Sichten von 200 Metern verunglückt war, deklarierte die britische zivile Luftfahrtbehörde das GCA Anflugverfahren nicht als Blindlandesystem, sondern nur als Hilfe für den Piloten. Eine weitere Problematik für die Piloten bestand darin, dass sie von der Präzision des Radars sowie den Fähigkeiten des Radarbedieners abhängig waren. Bei dem ILS hingegen haben sie die volle Übersicht über die Abweichung vom Idealkurs.

Am 10. Juni 1965 landete der erste Airliner vom Typ Hawker Siddeley Trident in London Heathrow, mit zahlenden Passagieren an Bord, vollkommen autonom. Die Flugbesatzung überließ die Kontrolle des Flugzeugs dem automatischen Landesystem, das von der Firma Smith entwickelt worden war. Automatische Landesysteme erforderten nur wenige zusätzliche Kontrollen und Instrumente auf dem Flight Deck.<sup>478</sup> Die automatischen Landungen waren ein wesentlicher Schritt in der Entwicklung des vollkommen automatischen Flugs. Zu den Grundlagen gehört die einfache automatische Seitenrudersteuerung, wie es bereits die Ju 52 im Passagierverkehr verwendet hatte. In einem Punkt war die automatische Landung aber ein besonderer Schritt in der Automation des Luftverkehrs, denn diesem System war es erlaubt, die Kontrolle über das Flugzeug in Bodennähe zu übernehmen. Alle anderen bisherigen Systeme, wie zum Beispiel dem Autopiloten, wurde die Verwendung erst in einer Flughöhe gestattet, in

---

<sup>477</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 186 und Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 167-168, 198.

<sup>478</sup> Aus den Britischen Nachrichten vom 29. Juni 1965.

---

der die Flugbesatzung im Falle einer Störung die Steuerung sicher übernehmen konnte.

Automatische Landesysteme wurden von den Piloten akzeptiert und von den zuständigen Behörden zugelassen. Die Begründung lag in den Tatsachen, dass Störungen in diesem System theoretisch höchstens alle zehn Millionen Betriebszyklen auftreten können. Weiterhin konnten die Piloten zu jeder Zeit und ohne Verzögerung die Steuerung übernehmen, ohne das System zuvor zu deaktivieren. Automatische Landesysteme wurden soweit weiterentwickelt, dass die Mindestsicht auf der Landebahn nur 75 m betragen musste. Nach dem Aufsetzen muss der Pilot die Kontrolle des Flugzeugs wieder übernehmen, bis die normale Rollgeschwindigkeit erreicht ist, sodass die Landebahn gefahrlos verlassen werden kann. Andererseits bietet eine Sichtweite von nur 75 m dem Piloten kaum die Möglichkeit, das Flugzeug sicher zu kontrollieren. Deshalb wurden für automatische Landungen zwei weitere Instrumente installiert. Es sind der Para-Visual-Director (PVD) und der Ground-Roll-Monitor (GRM). Das PVD bezieht seine Signale vom Landeleitstrahl, der auch vom Automatic-Landing-System (ALS) verwendet wird, sowie einem System von Gyroskopen. Das PVD gibt dem Piloten Informationen über die Flugzeugposition auf der Landebahn, um gegebenenfalls nach rechts oder links korrigieren zu können. Das GRM System bietet ihm Informationen über die verbleibende verfügbare Landebahnlänge sowie die Rollgeschwindigkeit.<sup>479</sup>

### *Welche Instrumente wurden benötigt?*

Die Flight Decks der Verkehrsflugzeuge wurden im Laufe der Jahre immer ähnlicher, da jeder Flugzeughersteller und Entwickler dieselben Probleme lösen musste und von den Flugbesatzungen ähnliche Wünsche und Empfehlungen übermittelt wurden. Zusammen mit den Bauvorschriften auf der nationalen Ebene, welche aber im Bereich der Instrumente weltweit nahezu identisch waren, wurde die Mindestinstrumentenausstattung international standardisiert.

Daraus resultierte für die Nachkriegszeit, dass vor jedem Piloten sich folgende Instrumente befinden müssen: Fahrtmesser, Höhenmesser, Variometer, ein Wendezeiger

---

<sup>479</sup> Vgl. VDO Smiths, 1960, Technische Mitteilung S. 3-8; vgl. Flight, 1960, Smiths Para-Visual Director, S. 652-655.

---

mit Scheinlot, Roll- und Nickwinkel, meist durch den künstlichen Horizont oder Attitude Director dargestellt, sowie ein Kurskreisel, der oftmals durch den Horizontal Situation Indicator integriert ist. Bei Jets, die im transsonischen Geschwindigkeitsbereich operieren, ist auch ein Machmeter vorgeschrieben. Weiterhin müssen die Piloten die Möglichkeit besitzen, die Außentemperatur, die Zeit und den Magnetkompass ohne Verlassen des Sitzes einsehen zu können.<sup>480</sup> In der Praxis wurden die Verkehrsflugzeuge aus Redundanzgründen weiterhin mit einem dritten Satz von primären Fluginstrumenten ausgerüstet.

Jets und Flugzeuge mit Propellerturbinen mussten mit den folgenden Triebwerksinstrumenten ausgerüstet sein: Kraftstoffdruckanzeige, Ölquantität, Öldruck, Öltemperatur, Feuerwarnanzeige, Abgastemperaturanzeige, Kraftstoffdurchfluss, Drehzahl und Enteisungsanzeige sowie Kraftstoffmengenanzeigen für die Tanks als ein weiteres wichtiges Element. Die Triebwerksinstrumente mussten von beiden Piloten gut einsehbar sein.

Die aufgeführten Instrumente waren nur ein kleiner Teil der Instrumente, die sich auf dem Flight Deck befinden mussten. Navigation, Kommunikation, Flugzeugsysteme, Passagierkomfortsysteme sowie die Notsysteme benötigten alle weitere Anzeigen und Instrumente.

## Lessons Learned – Unfälle als Innovationsmotor

Mit neuen Technologien gehen auch immer neue Risiken einher. Bernhard Rieger beschreibt zum Beispiel das Risikobewußtsein der Briten und Deutschen mit den Worten: „No matter how enthusiastically the British and German public welcomed innovations, they were also aware of their potential and actual dangers“.<sup>481</sup> Risiken führen zu Zwischenfällen im normalen Betrieb, die in den schlimmsten Fällen in Unfällen enden. Unfälle waren seit je her für die Medien ein wichtiges Ereignis. Berichte und Veröffentlichungen, besonders von Unfällen, waren seit den Flügen der Wright's schon immer von gesellschaftlichem Interesse. Obwohl sich die Luftfahrt stark verändert hatte, blieb

---

<sup>480</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 188-189.

<sup>481</sup> Rieger, *Technology and Culture*, 2005, S. 51.

---

das Interesse der Gesellschaft an ihr stets erhalten. Zunächst waren es Pioniere und Abenteurer, die ihr Interesse an die Fliegerei oft teuer bezahlten. Ab 1950, wo sich das Flugzeug als ein Transportmittel für einen breiteren Personenkreis herausstellte, änderten sich zwar die Motive, nicht aber das Interesse.

In den ersten zehn Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg stieg das zivile Luftverkehrsaufkommen stark an. Die Unfallrate blieb aber nahezu konstant. Allerdings stieg die Anzahl der Todesfälle aufgrund der Vervielfachung der Passagierkapazität der Flugzeuge auch wieder an.<sup>482</sup>

### *Unfallquelle: Flight Deck*

Flugzeugunfälle von 1950 und 1970 lassen sich in drei unterschiedliche Kategorien einteilen. An erster Stelle stand der Verlust der Kontrolle über das Flugzeug, häufig als Resultat eines Strömungsabrisses oder der Überschreitung der Betriebsgrenzen. Meist geht ein solcher Kontrollverlust mit einem rapiden Verlust an Flughöhe einher. Besonders kritisch ist ein Kontrollverlust in Bodennähe. Zum Beispiel gerät ein Flugzeug kurz nach dem Start in einen Strömungsabriss, wenn der Pilot anstelle des Fahrwerks die Landeklappen einfährt, da sich beide Hebel nahe beieinander befinden. Sollten diese noch die gleiche Form haben, sind Bedienungsfehler nicht auszuschließen. Grundsätzlich war die Verwechslung von Schaltern oder anderen Steuerungen eine häufige Unfallursache.<sup>483</sup>

Heute befinden sich der Fahrwerks- und der Landeklappenhebel immer noch, aus Redundanzgründen bei Ausfall eines Piloten, in Reichweite beider Piloten. Der Fahrwerkshebel besitzt aber einen runden Knauf, in Form eines Rades, wobei der Hebel für die Landeklappen wie ein Flügelprofil geformt ist. Dadurch ist es möglich, die Hebel zu bedienen, ohne hinzusehen.

Eine zweite Kategorie von Unfällen waren Zusammenstöße in der Luft. Hierfür gab es grundsätzlich zwei Ursachen: erstens eingeschränkte Sichtfelder durch die Form und

---

<sup>482</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 146-147; zum Umgang der Gesellschaft mit Flugunfällen bzw. Risiken siehe auch Rieger, *Technology and Culture*, 2005, S. 35ff., 51ff.; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 11-22.

<sup>483</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 147 sowie Wiener & Curry, *Automation im Cockpit*, 1987, S. 108-135 und Roscoe, *Vernachlässigte menschliche Faktoren*, 1987, S. 207-241.

---

Größe der Fenster und zweitens Kommunikationsprobleme mit den Flugverkehrskontrollstellen aufgrund von schlechter Ausrüstung auf dem Flight Deck.

Die dritte Kategorie waren kontrollierte Flüge in den Boden (CFIT = Controlled Flight Into Terrain). Diese ereigneten sich, obwohl der Pilot das Flugzeug grundsätzlich unter Kontrolle hatte. Die Ursachen dafür waren Fehlablesungen oder Fehlinterpretationen von Instrumenten, besonders des Höhenmessers. Aber auch Fehlinterpretationen von Navigationsinstrumenten gehören in diese Kategorie. Oft waren sich die Piloten nicht bewusst, dass eine irreführende Anzeige auch an defekten Instrumenten liegen konnte.

Bei allen drei genannten Kategorien gehörte eine unzureichende Ergonomie der Flight Decks zu den Einflussfaktoren. Eine andere Sicht entsteht aus dem Umkehrschluss. Eine unzureichende Gestaltung des Flight Decks ist einem Unfall gleichzusetzen, der erst noch geschehen muss. Den Entwicklungsbüros allein die Verantwortung für eine unzureichende Gestaltung des Flight Decks zu übertragen ist aber nicht gerechtfertigt. Bis 1945 gab es keine ausführliche Literatur, die sich mit der Fehlerminimierung in der Gestaltung von Flight Decks befasste. An dieser Stelle wird dann die Frage aufgeworfen, warum die Meinung der Piloten als Nutzer nicht stärker in der Entwicklung und Gestaltung von Flight Decks berücksichtigt wurde? Die Antwort liegt in der Qualifikation der Piloten. Die meisten Piloten, die bei der Entwicklung von Flight Decks als Berater hinzugezogen wurden, waren sehr erfahrene Flieger. Während ihrer Karriere in der zivilen Luftfahrt hatten sie aus Zwischenfällen infolge unzureichender Instrumente, Steuerungen oder deren schlechter Platzierung gelernt. Aufgrund ihres breiten Erfahrungswissens waren erfahrene Piloten jedoch nicht die besten Ratgeber, denn sie hinterfragen selten ihre Gewohnheiten. Nicht so erfahrene Piloten wären in diesem Fall weit besser geeignet gewesen, da sie die Hintergründe für die Anordnung und die Gestaltung der Instrumente und Anzeigen vorbehaltlos analysieren konnten.

---

## *Der Einfluss von Unfällen auf die Instrumentierung*

Im Nachfolgenden werden Unfallbeispiele aufgezeichnet, deren Konsequenzen Änderungen der Instrumentierungen oder des Flight Deck Designs nach sich zogen. Luftfahrtunfälle zeichnen sich meist dadurch aus, dass sie einer klassischen Fehlerkette entstammen.<sup>484</sup>

Am 19. Januar 1960 verunglückte eine SE210 Caravelle 1 der dänischen Fluggesellschaft SAS auf einem Linienflug von Kopenhagen nach Kairo. Um diese Strecke zu bewältigen, musste das Flugzeug in Ankara zwischenlanden. Bei schlechtem Wetter streifte das Flugzeug im Landeanflug mit ausgefahrenem Fahrwerk einen Hügel, der sich 6 Kilometer vor der Landebahn auf der verlängerten Pistenmittellinie befand. Die genaue Unfallursache konnte nicht geklärt werden, auch deshalb, da alle an Bord befindlichen Personen starben. Der Untersuchungsbericht der dänischen Flugunfalluntersuchung weist aber darauf hin, dass in der Caravelle Höhenmesser unterschiedlichen Typs eingebaut waren. Vor dem Kommandanten war ein neuer Trommelhöhenmesser installiert, bei dem die Zeiger nur zehn und hundert Fußschritte anzeigten. Die Tausenderschritte wurden auf einer rotierenden Trommel in der Mitte des Instruments als Zahlenwert angezeigt. Es ist wahrscheinlich, dass die ungewohnte Darstellung zu Ablesefehlern führte, da sich das Flugzeug 1.100 Fuß unterhalb des Gleitwegs befand.<sup>485</sup>

Ein weiteres Beispiel für eine Fehlinterpretation des Höhenmessers ereignete sich am 12. September 1961. Eine SE210 Caravelle 3 der Air France, auf dem Weg von Paris-Orly nach Rabat-Sála in Marokko, streifte ebenfalls ein Plateau acht Kilometer vor dem Flugplatz. Das Flugzeug befand sich in einer Landekonfiguration mit ausgefahrenem Fahrwerk und 10° gesetzten Landeklappen. Die Landeklappenstellung lies darauf schließen, dass die Besatzung dachte, sie befinde sich noch in einer größeren Flughöhe. Daraus war wiederum abzuleiten, dass sie sich beim Ablesen der Kollsmann Höhenmesser um 1.000 Fuß verlesen hatte. Die Ablesungen von diesem Messgerät führten bei anschließenden Versuchen mit mehreren Besatzungen zu solchen Fehlern. Gestützt wurde diese Theorie auch dadurch, dass der Flugweg genau eingehalten

---

<sup>484</sup> Wiener & Curry, *Automation im Cockpit*, 1987, S. 108-135, vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 8; vgl. Roscoe, *Vernachlässigte menschliche Faktoren*, 1987, S. 207-241; vgl. Salas & Maurino, *Human Factors in Aviation*, 2010.

<sup>485</sup> Vgl. Richter & Wolf, *Jet-Airliner-Unfälle seit 1952*, 1997, S. 21.



---

worden war. Nur die Flughöhe war konstant 1.000 Fuß zu niedrig gewesen. Als Konsequenz aus diesem Unfall änderte die Firma Kollsmann die Ableseflächen ihrer Höhenmesser. Ein ähnlicher Unfall ereignete sich auch am 17. April 1964 in Daharan am Persischen Golf.<sup>486</sup>

Ablese- und Interpretationsfehler von Fluginstrumenten führten zwar nicht immer zu fatalen Unfällen, waren aber oft ein Grund für Zwischenfälle, welche die Flugsicherheit ernsthaft gefährdeten. Die meisten dieser Zwischenfälle blieben in den Archiven der Luftfahrtunternehmen vor den Augen der Öffentlichkeit verborgen, sofern sie überhaupt dokumentiert wurden. Auf Schwachstellen im Instrumenten- oder Flight Deck Design wurden die Flugbesatzungen meist erst bei schlechtem Wetter oder geringen Sichten aufmerksam. Die erhöhte Arbeitsbelastung führte häufig dazu, dass Piloten ihre erfahrungsgestützten Vorannahmen in die Instrumentenanzeigen hineininterpretierten. Dies galt besonders für Anzeigen, die zweideutige Aussagen zuließen.

## Organisationen und Behörden

Nachfolgend wird ein kurzer Abriss der Entwicklung der wichtigsten Luftfahrtbehörden und Organisationen gegeben, deren Wirken sich auf die Entwicklung, Gestaltung und Zulassung von Flugzeugen und deren Instrumentierungen niederschlug. Wie groß war der Einfluss seitens der Luftfahrtbehörden und -organisationen auf technische Entwicklungen und Innovationen? Wie waren ihre Wirkungskreise, Standardisierungen und Verfahren, die global und regional angewendet werden sollten?

In Großbritannien – und in einem geringeren Maße in den USA – ignorierten die Flugzeughersteller meist die Entwürfe der Konkurrenz, sodass die erforderliche Standardisierung nicht von den Unternehmen selbst vorgenommen wurde. Wer stellte also die Anforderungen an eine entsprechende Zertifizierung? Kamen die wichtigsten Parameter von der Luftfahrtbehörde, welche die Zertifizierung der konstruierten Flugzeuge vornahm? Wenn zum Beispiel die Lufttüchtigkeitsforderungen oder Bauvorschriften vorsahen, dass beide Piloten die Möglichkeit haben müssen, das Ein- und Ausfahren des Fahrwerks zu steuern, hatten die Entwickler kaum Variationsmöglichkeiten. Sie

---

<sup>486</sup> Vgl. Richter & Wolf, Jet-Airliner-Unfälle seit 1952, 1997, S. 27-28, 49-51.

---

konnten nur die Wahl zwischen einem Schalter oder einem Hebel treffen. Im Falle eines Hebels war die Form des Kopfes entweder kugel-, spatel- oder radförmig.<sup>487</sup>

Neben der Entwicklung der Internationalen Zivilen Luftfahrtorganisation ICAO werden auch die US-amerikanische Luftfahrtbehörde FAA sowie das deutsche Luftfahrt-Bundesamt in ihrer Entwicklung kurz vorgestellt.

### *Die Internationale Zivile Luftfahrtorganisation (ICAO)*

Das Pariser Abkommen über Luftfahrt vom 13. Oktober 1919 legte international fest, dass der Luftraum oberhalb eines Staatsgebietes unter dessen Staatsgewalt stand. Eine internationale Luftverkehrsfreiheit war nicht mehr gegeben. Ein Ergebnis dieser Festlegung war die bilaterale Regelung sämtlicher Einflüge fremder Luftfahrzeuge zwischen den betroffenen Staaten. Um die zahlreichen Vereinbarungen bezüglich der Anbahnung, Verhandlungen und Abschluss zu erleichtern, entstand eine internationale Organisation von Staaten. Diese „Convention internationale portant réglementation á la navigation aérienne“ (CINA), die am 11. Juli 1922 in Kraft trat und ursprünglich globalen Charakter hatte, wirkte aber vornehmlich in Europa. Das Abkommen wurde in den USA nicht ratifiziert, und die Sowjetunion sowie China zeigten kein Interesse am Beitritt. Andere nichteuropäische Länder, wie zum Beispiel Brasilien, Ecuador, Persien und Liberia, traten bald wieder aus. Die CINA regelte erstmals die Rechte der Staaten auf Lufthoheit und untersagte fremden Luftverkehrsunternehmen die Kabotage<sup>488</sup>. Ferner legte die CINA einheitliche Richtlinien für die Verkehrstechnik fest, wie zum Beispiel für Navigation und Signalwesen. Dazu gehörte auch die Standardisierung der Maßeinheiten wie große Distanzen, kleine Distanzen, Höhe, horizontale Geschwindigkeit, vertikale Geschwindigkeit, Sichten, Windgeschwindigkeit und -richtung, Masse und Temperatur.<sup>489</sup> Um das Abkommen entsprechend durchzusetzen, wurde die internationale Organisation „Commission Internationale de Navigation Aérienne“ (ebenfalls CINA), mit dem Sitz in Paris, gegründet. Ihre Lebensdauer wurde auf 25 Jahre festgelegt. Sie blieb bis zum 04. April 1947 in Kraft und wurde dann von der International

---

<sup>487</sup> Vgl. Coombs, *Control in the Sky*, 2005, S. 151.

<sup>488</sup> Unter Kabotage ist der kommerzielle Luftverkehr zwischen zwei Zielen eines fremden Landes zu verstehen.

<sup>489</sup> Vgl. Coombs, *The Aircraft Cockpit*, 1990, S. 161; vgl. Anderson, *Navigational Equipment*, 1978, S. 851-853; vgl. Liebing, *Flugsicherheit*, 1968, S. 26.

---

Civil Aviation Organization (ICAO) abgelöst. Zunächst wurde Deutschland nicht Mitglied der CINA, da dies nach dem Ende des Ersten Weltkriegs von den Gründerstaaten so gewünscht war. Jedoch wurde gegen Ende der 1920er Jahre immer deutlicher, dass hieraus eine Behinderung des besonders in Europa stärker international ausgerichteten Luftverkehrs erwuchs. So wurde Deutschland ab 1926 wiederholt zum Eintritt in die CINA aufgefordert. Deutschland wollte aber vor seinem Eintritt noch einige Änderungen in der CINA-Satzung durchsetzen. Die eingereichten Änderungsvorschläge wurden auf der CINA-Konferenz vom Juni 1929 in Paris weitgehend akzeptiert, sodass dem Beitritt nun nichts entgegen stand. Die Ratifizierung der Änderungen durch die 43 Mitgliedstaaten zog sich bis Ende 1932 hin. Obwohl die Gründe für einen Nichtbeitritt nicht mehr bestanden, erfolgte der Beitritt aufgrund der nationalsozialistischen Macht ergreifung nicht. Erst 1939 bemühte sich Deutschland wieder um einen Beitritt, der nach dem Beginn des Zweiten Weltkriegs von der CINA verhindert wurde.<sup>490</sup>

Neben der CINA entstanden weitere internationale, zumeist regionale Luftverkehrsabkommen. Zu ihnen zählten die „Convenio ibérico-americano de navegación aérea“ (CI-ANA) und ihr Nachfolger, die am 28. Februar 1928 in Havanna gegründeten „Pan-American Convention on Commercial Aviation“, an der auch die USA beteiligt war. Das Havanna-Abkommen ging nicht so weit wie die CINA. Es enthielt keine technischen Vorschriften und sah nicht vor, eine internationale Behörde zu schaffen. Auch das Havanna Abkommen wurde erst durch die ICAO abgelöst.<sup>491</sup>

Die dynamische Entwicklung der Luftfahrttechnik während des Zweiten Weltkrieges schuf neue Bedingungen für die zivile Luftfahrt. Besonders die Zunahme der Flugleistungen, die größere Geschwindigkeit, Höhe und erheblich größere Reichweite der Flugzeuge, führte zu einer enormen Steigerung des Luftverkehrs und einer engeren Vernetzung der einzelnen Länder. Waren 1939 Transatlantikflüge noch nicht praktikabel, wurden sie in der Logistik der Alliierten im Zweiten Weltkrieg zur Normalität. Die nun verfügbare Technologie wurde auch in der Zivilluftfahrt genutzt, und das anhaltende Wachstum des Luftverkehrs erforderte eine Reform der Regelungen auf inter-

---

<sup>490</sup> Vgl. Dierikx, *Clipping the Clouds*, 2008, S. 9-21, 41-44; vgl. Reul, *Planung und Gründung der Deutschen Lufthansa AG - 1949 bis 1955*, 1995, S. 29-30; vgl. Mackenzie, *ICAO - A History of the International Civil Aviation Organization*, 2010, S. 6, 13-16.

<sup>491</sup> Vgl. Reul, *Gründung der Deutschen Lufthansa*, 1995, S. 30; vgl. Mackenzie, *ICAO*, 2010, S. 15-17.

---

nationaler Ebene. Vor allem Großbritannien und die USA vertraten vehement die Auffassung, dass eine einschneidende Änderung notwendig sei, wenngleich die Motive beider Staaten differierten. Die USA sahen sich aufgrund der Entwicklungen des Krieges in einer Vormachtstellung. Um einen Nutzen aus dieser Position ziehen zu können, mussten die USA ihre Isolation gegenüber dem europäischen Luftverkehrsraum aufgeben. Sie forderten eine Internationalisierung der Luftfahrt und der wichtigsten Flughäfen. Zudem plädierten sie für die Gründung einer internationalen Luftfahrtbehörde. Großbritannien dagegen forderte am 14. Oktober 1943 auf der Commonwealth-Konferenz die Einberufung einer internationalen Luftfahrtkonferenz. Deren Zweck sollte die Schaffung einheitlicher Regelungen sein, mit denen die US-amerikanische Vormachtstellung in der zivilen Luftfahrt gedämpft werden konnte.<sup>492</sup>

Schließlich kam es vom 01. November bis 17. Dezember 1944 auf Einladung der USA zu der von Großbritannien geforderten Konferenz in Chicago. Bis auf Deutschland und seine Verbündeten, Saudi-Arabien sowie die Sowjetunion nahmen alle 52 Luftfahrtstaaten an der Konferenz teil. Die Sowjetunion sagte ihre Teilnahme recht kurzfristig ab, da mit der Schweiz, Spanien und Portugal drei Staaten beteiligt waren, die keine diplomatischen Beziehungen zur Sowjetunion unterhielten. Das Ziel der Konferenz bestand darin, neue Luftverkehrsregeln zu schaffen und die Verkehrsrechte festzulegen.<sup>493</sup>

Auf der Konferenz wurde durch die später als „Chicagoer Abkommen“ bezeichnete Internationale Zivilluftfahrt-Konvention (Convention on International Civil Aviation) von 32 Teilnehmerstaaten als neue internationale Organisation der Zivilluftfahrt mit Sitz in Montreal gegründet. In den Jahren zwischen 1944 bis 1947 blieb diese Organisation ein Provisorium (Provisional International Civil Aviation Organisation - PICA) gemäß dem ebenfalls auf der Chicagoer Konferenz unterzeichneten vorläufigen Übereinkom-

---

<sup>492</sup> Vgl. Dierikx, *Clipping the Clouds*, 2008, S. 41-44; vgl. Reul, *Gründung der Deutschen Lufthansa*, 1995, S. 30-31; vgl. Mackenzie, ICAO, 2010, S. 5, 10-13.

<sup>493</sup> Vgl. Reul, *Gründung der Deutschen Lufthansa*, 1995, S. 31; vgl. Mackenzie, ICAO, 2010, S. 10-13, 24-26.

---

men über die internationale Zivilluftfahrt (Interim Agreement on International Civil Aviation). Somit blieb allen Vertragsstaaten Zeit, die notwendige Ratifizierung durchzuführen.<sup>494</sup>

Die ICAO nahm dann am 04. April 1947 ihre Arbeit auf und löste damit endgültig die CINA ab. Die ICAO erhielt den Status einer Spezialorganisation der UNO. Sie verfolgte von Beginn an weitergehende Ziele als die CINA. Sie sollte internationale Grundsätze für den Luftverkehr erarbeiten, von der sich die Unterzeichnerstaaten viele positive Effekte erhofften. Sie hatte von Beginn an das Recht, sich zu jeder Fachfrage des zivilen Luftverkehrs zu äußern. Dies betraf technische sowie rechtliche Probleme. Die Fachfragen des internationalen Luftverkehrs wurden in entsprechenden Ausschüssen bearbeitet. Die technischen Probleme wurden von der Air Navigation Commission (Luftnavigationausschuß) bearbeitet.<sup>495</sup>

1958 entschied die ICAO, ein Standard-Funknavigationssystem einzuführen. Ein Jahr später wurde in Montreal eine von Delegierten aus 37 Ländern besuchte Versammlung einberufen, um die Entscheidung zu treffen, welches System genutzt werden sollte. Dabei hatte sich schon seit längerem ein Kopf an Kopf-Rennen der des US-amerikanischen Systems VOR und des technisch ausgereifteren britischen Systems Decca abgezeichnet. Die Debatte wurde zum politischen Thema, und technische Argumente verloren ihr Gewicht. Die Versammlung entschied daraufhin, zwei Komitees zu gründen. Das Komitee A sollte die betrieblichen Probleme und Anforderungen auflisten sowie die Aufgaben einer Funknavigationshilfe aufzeigen. Dabei war streng darauf zu achten, dass nicht die Flächennavigation in den Fokus geriet. Vielmehr sollte das Komitee nur die Punkt zu Punkt-Navigation berücksichtigen. Das Komitee B hatte zu evaluieren, welche aktuell am Markt verfügbaren Systeme die Anforderungen erfüllten. Das Komitee B wartete jedoch nicht ab, bis Komitee A die Anforderungen definierte, sondern legte sich direkt auf die beiden Systeme Decca und VOR fest. Aufgrund

---

<sup>494</sup> Vgl. Dierikx, *Clipping the Clouds*, 2008, S. 41-44; vgl. Reul, *Gründung der Deutschen Lufthansa*, 1995, S. 31; vgl. Mackenzie, *ICAO*, 2010, S. 60-80; vgl. Anderson, *Navigational Equipment*, 1978, S. 851-853.

<sup>495</sup> Vgl. Mackenzie, *ICAO*, 2010, S. 81ff.; vgl. Reul, *Gründung der Deutschen Lufthansa*, 1995, S. 32-34.

---

des politischen Drucks der US-Regierung fiel die Entscheidung für das VOR System.<sup>496</sup>

### *Die Federal Aviation Administration (FAA)*

Bis 1926 unterlag der zivile Luftverkehr in den USA, abgesehen von den Postfliegern, keinen Regularien. Die führenden amerikanischen Industriellen erkannten dann jedoch rasch, dass es, um das Potential des Flugzeugs voll ausschöpfen zu können, einheitlicher Verfahren und Standards für den Luftverkehr bedurfte. Allem voran stand der Faktor Sicherheit. Am 20. Mai 1926 unterzeichnete Präsident Calvin Coolidge den Air Commerce Act. Dieses Gesetz instruierte das Wirtschaftsministerium, den Luftverkehr in den USA aktiv zu fördern. Dazu gehörten die Festlegung und Bezeichnung von Flugrouten, die Unterhaltung von Navigationshilfen sowie deren Weiterentwicklung, die Lizenzierung von Piloten, die Ausstellung von Lufttüchtigkeitszeugnissen und der sich daraus ergebenden Bauvorschriften für Luftfahrzeuge und deren Komponenten sowie die Untersuchung von Flugunfällen. Auch die Festlegung von Luftverkehrsregeln gehörte zu den angewiesenen Aufgaben.<sup>497</sup>

Um den steigenden Bedürfnissen des wachsenden Luftfahrtmarktes nachzukommen, wurde die Luftfahrtabteilung des Wirtschaftsministeriums 1934 in das Bureau of Air Commerce umstrukturiert, das mit erweiterten Regulierungskompetenzen ausgestattet war. Zu dessen vorrangigen Aufgaben zählte es, eine Gruppe von Luftfahrtunternehmen zu ermutigen, erste Luftverkehrskontrollzentren einzurichten. Die Aufgaben dieser Zentren bestanden darin, den Streckenflugverkehr zu koordinieren. 1936 wurden die Luftverkehrskontrollstellen dann vom Bureau of Air Commerce übernommen.<sup>498</sup>

Die mächtige US-Luftfahrtlobby widersetzte sich lange einer Ausweitung der bundesstaatlichen Regulierungskompetenz, sah sie doch die Freiheit der Luftfahrt gefährdet.

---

<sup>496</sup> Vgl. Gunston, Avionics, 1990, S. 56.

<sup>497</sup> Vgl. Conway, Blind Landings, 2006, S. 57; vgl. Preston, FAA Historical Chronology: Civil Aviation and the federal government, 1926-1996, 1998, S. 1-2; vgl. Preston, Federal Aviation Administration, 2005.

<sup>498</sup> Vgl. Preston, FAA, 1998, S. 2-4; vgl. Preston, Federal Aviation Administration, 2005.

---

Um den bundesstaatlichen Charakter im Bereich der Sicherheit zu sichern, unterzeichnete Präsident Franklin Roosevelt 1938 im Kontext des New Deal den Civil Aeronautics Act. Dieses Gesetz sah die Einführung einer unabhängigen Luftfahrtbehörde, der Civil Aeronautics Authority (CAA) vor. Zwei Jahre später teilte Roosevelt die CAA in zwei Agenturen, die Civil Aeronautics Administration und den Civil Aeronautics Board auf. Die Civil Aeronautics Administration wurde wieder dem Wirtschaftsministerium unterstellt. Ihr unterstanden weiterhin die Zuständigkeiten für die Flugsicherung (Air Traffic Control – ATC), die Luftfahrer- und Luftfahrzeugzulassungen sowie die Entwicklung der Luftverkehrswege. Das Civil Aeronautics Board, war zuständig für die Sicherheitsvorschriften, die Flugunfalluntersuchungen und die wirtschaftlichen Regelungen der Luftfahrtunternehmen. Während des Zweiten Weltkrieges dehnte die CAA ihre Aktivitäten im Bereich der Flugsicherung auch auf die Flugplätze aus und übernahm neben der Koordination des Streckenflugverkehrs die der An- und Abflüge.<sup>499</sup>

Die Ausweitung der bundesstaatlichen Kompetenz hielt auch nach dem Zweiten Weltkrieg an, trotz des erbitterten Widerstands der Luftfahrtverbände. Eric Conway hat nachgezeichnet, dass es einer Reihe von spektakulären Unfällen, darunter einem direkten Zusammenstoß zweier Linienmaschinen über dem Grand Canyon, bedurfte, um deren Widerstand gegen eine Zentralisierung der Sicherheitskompetenzen auszuhebeln.<sup>500</sup> Am 23. August 1958 unterzeichnete Präsident Dwight D. Eisenhower den Federal Aviation Act, der die Civil Aeronautics Authority in die neue, unabhängige Federal Aviation Agency (FAA) transferierte. Die FAA war nunmehr für die gesamte Sicherheit im zivilen Luftverkehr verantwortlich.

US-Präsident Lyndon B. Johnson beklagte sich über Unzulänglichkeiten in der Koordination des nationalen Transportsystems und favorisierte die Gründung eines Ministeriums, das umfassende Regularien für den Transport entwickeln und umsetzen sollte. Dieses Ministerium sollte alle Transportwege wie Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Luftverkehr umfassen. Im April 1967 nahm das neu gegründete Ministerium, das Department of Transport (DOT), seinen Betrieb auf. Die FAA wurde ihm unterstellt und in

---

<sup>499</sup> Vgl. Buck, *The pilot's burden*, 1994, S. 71; vgl. Preston, *FAA*, 1998, S. 4-5; vgl. Preston, *Federal Aviation Administration*, 2005; vgl. Dailey, *Instrument Flight*, 2004, S. 70; vgl. McCormick, *Certification of Civil Avionics*, 2001, Kap. 23.

<sup>500</sup> Vgl. Conway, *Blind Landings*, 2006, S. 168-176; vgl. Conway, *Echoes in the Grand Canyon: Public Catastrophes and Technologies of Control in American Aviation*, 2004, S. 115-134.

---

Federal Aviation Administration umbenannt. Zur gleichen Zeit wurden die Aufgaben des CAB dem neugegründeten National Transportation Safety Board übertragen.<sup>501</sup>

Die FAA entwarf entsprechende Vorschriften für den Luftverkehr. Dazu zählten auch Bauvorschriften für Luftfahrtgerät. Diese beinhalteten zum Beispiel die Anweisung, dass die primären Fluginstrumente gut sichtbar für den Piloten angebracht werden mussten. Sie sollten möglichst in Blickrichtung des Piloten in Flugrichtung verbaut sein. Ebenso wurde die Basic-T-Konfiguration von Fahrtmesser, Höhenmesser, Fluglage- und Navigationsanzeige sowie die verwendeten Farben Rot für Warnungen, Gelb für Vorsicht und Grün für sicheren Betrieb definiert. Die Vorschriften berücksichtigten auch Ausfälle im Instrumentensystem des Flugzeugs. Seither müssen einige Instrumente in Redundanz, d.h. mindestens doppelt alternative Informationsquellen verfügbar sein.<sup>502</sup>

### *Das Luftfahrt-Bundesamt (LBA)*

Auch in Deutschland wurde die Regulierungskompetenz nach dem Zweiten Weltkrieg zunehmend zentralisiert, wie insbesondere die Entwicklung des Luftfahrt-Bundesamtes zeigt. Mit dem Gesetz über das Luftfahrt-Bundesamt vom 30. November 1954 wurde dieses als Oberbehörde für Aufgaben der Zivilluftfahrt errichtet. Es war dem Bundesminister für Verkehr direkt unterstellt. Als Sitz wurde die Stadt Braunschweig bestimmt. Die Aufgaben des Luftfahrt-Bundesamtes, die in §2 des Gesetzes aufgeführt waren, bestanden aus unterschiedlichen organisatorischen und technischen Herausforderungen. Dazu zählten auch die Musterzulassung von Luftfahrtgerät, Verkehrszulassungen sowie die Zulassung und Überprüfung von Luftfahrtpersonal und Organisationen.<sup>503</sup>

Die alliierten Restriktionen im Bereich der Forschung, Entwicklung und des Baus von Flugzeugen galten bis 1955. Bereits seit dem Frühjahr 1951 durfte jedoch wieder Segelflug betrieben werden. Um die Verkehrssicherheit der Segelflugzeuge zu gewährleisten, wurde in München eine Prüfstelle eingerichtet. Eine zweite Prüfstelle folgte in

---

<sup>501</sup> Vgl. Preston, FAA, 1998, S. 7-10; vgl. Preston, Federal Aviation Administration, 2005.

<sup>502</sup> Vgl. Coombs, The Aircraft Cockpit, 1990, S. 188-189; vgl. McCormick, Certification of Civil Avionics, 2001, Kap. 23.

<sup>503</sup> Vgl. Luftfahrt-Bundesamt, 1984, Gesetz über das Luftfahrt-Bundesamt vom 30. November 1954 (BGBl I 354) i. d. F. der Gesetze vom 16. Mai 1968 (BGBl I 397) und 18. September 19080 (BGBl I 1729).



---

Darmstadt. Die Schaffung eines bundesweit funktionierenden Prüfwesens für Segelflugzeuge basierte auf der Hilfe von ehrenamtlichen Prüfern. Als Vorbereitung zur Schaffung einer Bundesoberbehörde für Aufgaben der zivilen Luftfahrt bildete Bundesverkehrsminister Hans-Christoph Seebohm im Sommer 1953 die „vorläufige Bundesstelle für Luftfahrtgerät und Flugunfalluntersuchung“ (VBL) mit Sitz in Bonn. Die VBL befasste sich mit Fragen der Bau- und Prüfvorschriften, daneben aber auch mit der Untersuchung von Unfällen, die sich mit zivilen Luftfahrzeugen auf dem Gebiet der Bundesrepublik ereigneten. Die Prüfstellen in München und Darmstadt wurden in die VBL eingegliedert.<sup>504</sup>

Das Luftfahrt-Bundesamt nahm seine Arbeit im Februar 1955 auf. Anfangs bestand die Behörde aus 28 Mitarbeitern. Wie rasch ihr Arbeitsaufkommen wachsen sollte, war zu diesem Zeitpunkt noch nicht abzusehen. Bis zum Jahresende 1955 wurden bereits 95 motorgetriebene Luftfahrzeuge zum Verkehr zugelassen. Mit der Souveränität vom 5. Mai 1955 wurde auch die Lufthoheit vollständig an Deutschland zurückgegeben. Die Tätigkeiten des Amtes beschränkten sich zunächst noch auf Musterzulassungen von Luftfahrtgerät, Verkehrszulassungen von Hubschraubern und Flugzeugen, die Führung der Luftfahrzeugrolle, die Erteilung der Prüferlaubnisse für Prüfer von Luftfahrtgerät, die Vorbereitung der Bau- und Prüfvorschriften sowie die Untersuchungen von Flugunfällen. Für die Durchführung der Musterprüfungen wurden die Deutsche Forschungsanstalt für Luftfahrt in Braunschweig und die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt als „Prüfstellen für Luftfahrtgerät“ (PfL) anerkannt.<sup>505</sup> Um die Musterprüfungen zu erleichtern, waren bereits im November 1954 die Bauvorschriften des US-amerikanischen Civil Aeronautics Board zur Durchführung einer vereinfachten Musterprüfung anerkannt worden. Der Grund dafür lag unter anderem in der Tatsache, dass viele bedeutende Flugzeugmuster wie zum Beispiel die Verkehrsflugzeuge CV-340 „Convair“, Lockheed L-1049 „Super Constellation“ sowie die Douglas DC-3 nach amerikanischen Bauvorschriften gebaut und bereits von anderen Behörden zum Verkehr zugelassen worden waren.

---

<sup>504</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Luftfahrt-Bundesamt, 1984, S. 3-13.

<sup>505</sup> Vgl. Luftfahrt-Bundesamt, 1984, S. 4 sowie Gesetz über das Luftfahrt-Bundesamt vom 30. November 1954 (BGBl I 354) i. d. F. der Gesetze vom 16. Mai 1968 (BGBl I 397) und 18. September 1980 (BGBl I 1729).

---

Die Aufgaben des LBA blieben nahezu unverändert, bis 1959 die Überprüfung der technischen und flugbetrieblichen Grundlagen von Luftfahrtunternehmen hinzukam. Im Januar 1962 wurde dieses Gebiet noch um die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit von Luftfahrtunternehmen ergänzt. Gleichzeitig wurde das Amt zuständig für die Erteilung der Erlaubnisse für Berufsflugzeugführer 1. Klasse, Linienflugzeugführer, Flugingenieure und Flugnavigatoren sowie die Genehmigung der entsprechenden Ausbildungsbetriebe.

Bei dem schnellen Wachstum der zivilen Luftfahrt zeigte sich mehr und mehr, dass die Verteilung der Aufgaben auf dem Gebiet Lufttüchtigkeit des Geräts auf mehrere Institutionen (LBA, Forschungsanstalten, Länderbehörden) auf die Dauer nicht zweckmäßig war. Mit der neuen Prüfordnung für Luftfahrtgerät von 1968 wurden die bisher geltenden Grundsätze weitgehend aufgegeben. Prüfungen zur Feststellung der Lufttüchtigkeit wurden aus dem Bereich staatlicher Regulierung herausgenommen und den Betrieben der Luftfahrtindustrie in eigener Verantwortung übertragen. Diese mussten über entsprechende Prüf- und Kontrolleinrichtungen verfügen und bedurften einer besonderen Anerkennung durch das LBA.

### *Die International Air Transport Association (IATA)*

Bereits vor dem Ersten Weltkrieg entstanden Bestrebungen, sich über Landesgrenzen hinaus im Luftverkehr abzustimmen. Auf Anregung des Leiters der englischen Zivilluftfahrt, Sir Sefton Brackner, lud die britische Aircraft Transport Travel Ltd. im Juni 1919 die Deutsche Luftreederei, die Koninklijke Luchtvaart Maatschappij (KLM), die Det Danske Luftfahrt Selskab, die Det Norske Luftfahrt-Rederi und die Svenska Lufttrafik AB zu einer Konferenz über Luftverkehrsfragen ein. Die Teilnehmer schlossen sich unter dem Namen „International Air Traffic Association (IATA)“ zu einer internationalen Organisation zusammen. Deren Aufgaben bestanden darin, den Luftverkehr in Europa zu fördern und sich untereinander abzustimmen. Die Gründungsversammlung fand am 28. August 1919 in Den Haag statt. Erste Gespräche zur Einrichtung von Luftverkehrsstrecken im Norden Europas wurden geführt, und nachdem später belgische und französische Luftfahrtunternehmen der Organisation beigetreten waren, kam es zu einem

---

Gedankenaustausch über einen gemeinsamen Luftverkehr in Richtung Westen. Allerdings trug dieser erst 1926 Früchte.<sup>506</sup>

Die IATA wurde ein fester Bestandteil des Weltluftverkehrs und zu einem maßgeblichen Akteur der Intensivierung internationaler Zusammenarbeit. Sie spiegelt die Ausweitung transnationaler Regulierung politischer und ökonomischer Handlungsfelder in der Zwischenkriegszeit und zerfiel wie so viele internationaler Organisationen während des Zweiten Weltkriegs.<sup>507</sup> Nach Kriegsende wurde sie in Havanna wiederbelebt und am 18. Dezember 1945 als internationale Körperschaft mit Sitz in Montreal unter dem neuen Namen „International Air Transport Association (IATA)“ eingetragen.<sup>508</sup> Die IATA arbeitet eng mit der ICAO zusammen. Vertreter der ICAO besuchen regelmäßig die Versammlungen und Ausschüsse der IATA.<sup>509</sup>

Da die IATA ein Zusammenschluss kommerzieller Unternehmen ist, kann sie seit ihrer Gründung als Interessenverband des Luftverkehrs betrachtet werden. Die Aktivitäten der IATA wirkten sich auf die Gestaltung von Flight Decks oder Instrumenten nur passiv aus. Durch den Austausch von Erfahrungen und Informationen mit anderen nationalen Luftfahrtunternehmen konnten aber viele Verfahren harmonisiert werden, da einheitliche Standards wiederum besondere Anforderungen an die Flugzeugausrüstung stellten. So wurden die Flugzeughersteller durch die Luftverkehrsunternehmen ermutigt, den Arbeitsplatz der Flugbesatzung nach deren Vorgaben zu optimieren. Die IATA ist neben einigen anderen Organisationen und Luftverkehrsunternehmen die zentrale Stimme, die den Flugzeugherstellern und Behörden eine Rückmeldung über die Stärken und Schwächen der Flugzeuge, Flugstrecken und Vorschriften gibt. Seit der Gründung der IATA, deren Mitglieder anfangs nur Luftfahrtunternehmen waren, hat sich der Mitgliederkreis auch auf Flugplätze, Bodenbetriebs-, Fracht-, Passagier- und Postdienstleister ausgedehnt. Durch enge Zusammenarbeiten wurden viele Prozesse in der Luftfahrt optimiert und sogenannte Standards and Recommended Practices (SARPs) veröffentlicht. Im Bereich der Flugdurchführung steht auch das Flight Deck im Fokus der branchenübergreifenden Regulierung, denn die von der IATA für jedes

---

<sup>506</sup> Vgl. Wagner, Luftverkehr, 1987, S. 36; vgl. Brooks, Aircraft Operation, 1978, S. 807-810.

<sup>507</sup> Zur Transnationalität in der Zwischenkriegszeit siehe u.a. Bernecker, Europa zwischen den Weltkriegen 1914-1945, 2002 sowie Blom, Die zerrissenen Jahre: 1918-1938, 2014.

<sup>508</sup> Vgl. Wagner, Luftverkehr, 1987, S. 36; vgl. Brooks, Aircraft Operation, 1978, S. 807-810.

<sup>509</sup> Vgl. Mackenzie, ICAO, 2010, S. 180-181.

---

Mitglied verlangten Sicherheitsstandards beinhalten auch viele Aspekte der Flugzeugausrüstung.

### *Die Rolle der Organisationen und Behörden*

Die Luftfahrtorganisationen und Behörden entwickelten sich parallel zum Luftverkehr und wurden stets dem Bedarf des wachsenden Marktes angepasst. Im Bezug auf die Gestaltung des Flugdecks spielten sie aber immer nur eine sekundäre, beratende Rolle. Die Luftfahrtbehörden auf nationaler Ebene entwarfen entsprechende Bauvorschriften, die beinhalteten, welche Anforderungen das Luftfahrzeug erfüllen musste, um im jeweiligen Land zum Verkehr zugelassen zu werden. Internationale Richtlinien oder Regularien, wie zum Beispiel die der ICAO, dienten dabei als Wegweiser, um sicherzustellen, dass internationale Standards eingehalten wurden. Ein Garant für die Einhaltung von Standards war die Erarbeitung durch viele beteiligte Parteien.<sup>510</sup>

Mit Blick auf die flugbetrieblichen Verfahren sowie die Luftverkehrsregeln stand die Bedeutung der Luftfahrtbehörden und -organisationen außer Frage. Ein sicherer Verkehrsfluss mit Flugzeugen, besonders an stark frequentierten Flugplätzen und bei schlechten Witterungsbedingungen, verlangte nach klaren Regeln und Verfahren, die international gültig waren. Dazu mussten die Flugzeuge entsprechend ausgerüstet sein. Die Regulierung der Ausrüstung befand sich wiederum im Verantwortungsbereich der Luftfahrtbehörden, die die Zulassung zum Luftverkehr vornahmen.

Die in der Luftfahrt zahlreichen nichtstaatlichen Organisationen hatten ihre Stärke in der Interessenvertretung ihrer Mitglieder. Allerdings hatten sie nur einen beratenden Charakter. Inwieweit deren Eingaben von den Flugzeugherstellern, Luftfahrtunternehmen, Flugsicherungsorganisationen oder Behörden umgesetzt wurden, war Ergebnis eines komplexen Aushandlungsprozesses, auf den diese nur teilweise Einfluss hatten.

---

<sup>510</sup> Bei Versammlungen der verschiedenen Organisationen waren häufig Vertreter der Industrie, Behörden, Pilotenvereinigungen (z.B. IFALPA) etc. anwesend. Grundsätzlich sind keine Isolierungen einzelner Organisationen zwecks Ausarbeitung von Empfehlungen und Richtlinien erkennbar.

---

# Kapitel 6 – Die Markteinführung der Boeing 737

## Boeing 737 – Die Geburt einer Legende

In diesem Kapitel soll am Beispiel von führenden Luftverkehrsunternehmen, im besonderen der Lufthansa, dargestellt werden, in welcher Position sich der Luftverkehrsmarkt ab 1965 befand. Es wird erläutert, welche Anforderungen die Luftfahrtunternehmen an die Flugzeughersteller stellten, welche Flugzeuge auf dem Markt verfügbar waren und welche Motivation von Boeing vorhanden war, ein neues Flugzeug zu entwickeln.

Die tragende Rolle der Lufthansa in der Ko-Konstruktion der Boeing 737 steht im nachfolgenden im Vordergrund. Als Grundlage für die nachfolgenden Betrachtungen dienen die Hypothesen von Eric von Hippel zu Innovationsprozessen, in denen Unternehmen als „lead user“ eine tragende Rolle für den Innovationverlauf spielen.<sup>511</sup> Es soll festgestellt werden, ob diese Hypothesen auf die Lufthansa angewendet werden können, da diese bislang fast nur auf produzierende Industriezweigen angewendet worden sind. Die Lufthansa ist als Luftfahrtunternehmen dagegen der Dienstleistungsindustrie zuzuordnen, deren Produkt darin besteht, auf Linienflügen Sitzplätze anzubieten.

Gilt für die Lufthansa und die Boeing 737 die Hypothese, dass eine erfolgreiche Innovation eine bessere Positionierung am Markt erlaubt? Erwartete die Lufthansa durch

---

<sup>511</sup> Vgl. von Hippel, Lead Users: An Important Source of Novel Product Concepts, 1986, S. 791-805.

---

Innovationen und ihr Einwirken auf das Produkt größeren wirtschaftlichen Erfolg oder diente dies nur zur Festigung der Marktposition?<sup>512</sup>

Da die Lufthansa zu den Erstkunden der Boeing 737 zählte, werden in den folgenden Abschnitten, basierend auf dem Kaufvertrag sowie den nachfolgenden Änderungen, die Anforderungen der Lufthansa für das Flight Deck der Boeing 737 erläutert. Dabei soll vor allem auch auf die Thesen von Eric von Hippel eingegangen werden, die den Kunden Lufthansa als Innovator der Boeing 737 aufzeigen. Als Quellengrundlage dient dabei die interne Kommunikation zwischen Lufthansa und Boeing, die sich insbesondere in der Ausgestaltung der Verträge manifestiert. Im Kern der Analyse steht dabei die Einflussnahme des Luftfahrtverkehrsunternehmens auf die Gestaltung des Instrumentenbretts.

### *Die beginnende Dominanz der Jetairliner*

Das amerikanische Unternehmen Boeing wurde nach dem Erstflug der legendären Boeing 707 im Jahr 1954 zum Synonym für den erfolgreichen Einsatz von Düsenflugzeugen im zivilen Luftverkehr. Mit Ende des Zweiten Weltkriegs entwickelten sich die Propellerflugzeuge von Convair, Douglas und Lockheed zu den primären Verkehrsteilnehmern auf den weltweiten Luftstraßen. Nach dem Erstflug der „Dash-80“, des aus einem militärischen Transportflugzeug abgeleiteten Prototyps der vierstrahligen Boeing 707, sollte sich die Marktlage gravierend ändern. Das Unternehmen aus Seattle im Bundesstaat Washington an der Nordwestküste der USA stieg innerhalb kürzester Zeit zum weltgrößten Hersteller von Verkehrsflugzeugen auf. Schnell folgte nach der Boeing 707, die im Oktober 1958 den Liniendienst aufnahm, die ebenfalls vierstrahlige Boeing 720 und schließlich im Jahr 1962 die mit drei Triebwerken ausgerüstete Boeing 727. Der Boeing 727 fiel eine Pionierrolle im rasch wachsenden Marktsegment des Mittelstreckenverkehrs zu. Mehr als 1800 Flugzeuge dieses Typs verließen die Werkshallen in Renton und machten den Dreistrahler zu dem bis dato bestverkauften Passagierjet.<sup>513</sup>

---

<sup>512</sup> Vgl. von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 43-44.

<sup>513</sup> Vgl. Gerresheim, *Boeing 737*, 1995, S. 7; vgl. Pelletier, *Boeing - The Complete Story*, 2010, S. 125-129, 138; vgl. Sharpe & Shaw, *Boeing 737-100 and 200*, 2001, S. 8-13; vgl. Yenne, *Boeing Company*, 2010, S. 152-153, 156-158, 200.

---

Seit Beginn der Firmengeschichte im Jahr 1916 hatte man sich bei Boeing zwar nie gescheut, neue Wege zu beschreiten, doch ging man äußerst behutsam, ja oft sogar zögernd vor. So kann es kaum überraschen, dass das Unternehmen sich auch lange damit zurückhielt, mit der Boeing 737 in das Kurzstreckengeschäft einzusteigen. Als die Produktion der „Baby-Boeing“ Anfang 1965 begann, schien die Konkurrenz den Flugzeugbauern aus Seattle bereits davongelaufen zu sein. Die britische BAC 1-11 befand sich bereits kurz vor dem kommerziellen Einsatz, und die Douglas DC-9 stand schon in der Flugerprobung. Doch Boeing nutzte geschickt den Vorteil, auf eine bereits gut etablierte Produktpalette zurückgreifen zu können. Auf der Basis der Boeing 727, die ihrerseits in großen Teilen mit der Boeing 707 übereinstimmte, entwickelte man innerhalb kurzer Zeit ein Flugzeug, das rasch zum unbestrittenen Bestseller unter den Verkehrsflugzeugen wurde.<sup>514</sup>

### *Boeing und die Kurzstrecke*

Bereits zu Beginn der 1960er Jahre zeichnete sich ab, dass Flugzeuge mit Jetantrieb die Propellerflugzeuge vom Markt der Kurz- oder Zubringerstrecken verdrängen würden. Verbesserungen in der Triebwerkstechnik und im Materialwesen führten zu kleineren und leichteren Jettriebwerken, die dann auch in kleineren Flugzeugen installiert werden konnten. Vor allem in Europa zeichnete sich schon aufgrund der Bevölkerungsdichte früh die Notwendigkeit ab, auch weniger weit entfernte Metropolen auf dem Luftweg zu verbinden. Die Entwicklung war auf diesem Gebiet bereits weit fortgeschritten und der erste, auch auf kurzen Strecken wirtschaftliche Airliner war die mit Propellerturbinenantrieb ausgerüstete Vickers Viscount. Sie flog schon ab 1948. Ab April 1959 verband zudem der französische Jet Caravelle Städte in Europa im Liniendienst.<sup>515</sup>

In den USA hingegen konzentrierte man sich allzu lange auf die Entwicklung von Lang- und Mittelstreckenjets und investierte große Summen in militärische Entwicklungen. Auch Mitte der 1960er Jahre hatte sich die Situation kaum verändert. Ab 1962 befand sich Boeing mit seinem äußerst erfolgreichen Mittelstreckenjet, der Boeing 727, in der

---

<sup>514</sup> Vgl. Sharpe & Shaw, Boeing 737-100 and 200, 2001, S. 8-13; vgl. Gerresheim, Boeing 737, 1995, S. 7-8; vgl. Yenne, Boeing Company, 2010, S. 200-201.

<sup>515</sup> Vgl. Gerresheim, Boeing 737, 1995, S. 9.

---

Serienproduktion. Doch dieses Flugzeug war mit seiner dreistrahligen Auslegung auf kürzeren Strecken keineswegs wirtschaftlich einsetzbar. Zwar verkaufte sich dieses Flugzeug auch in Europa gut, deckte aber den Bedarf der Luftfahrtunternehmen nach einem kleineren Flugzeug, das als Zubringer für die Langstreckenflüge eingesetzt werden sollte, nicht ab.<sup>516</sup>

In dieser Phase schienen der britische Luftfahrtkonzern British Aircraft Corporation (BAC) und das im kalifornischen Long Beach beheimatete Unternehmen Douglas den Markt für die Produktion von Mittelstreckenjets unter sich aufteilen zu können.<sup>517</sup> Die zweistrahlige BAC 1-11 aus Großbritannien stand bereits seit August 1963 in der Flugerprobung und hatte sich sogar einige lukrative Aufträge in den USA sichern können, was zur damaligen Zeit eine Sensation war. Braniff International Airways hatte bereits im Oktober 1961, also lange vor dem Erstflug, sechs BAC 1-11 bestellt. Im Juli 1962 folgte die Mohawk Airlines mit vier weiteren Bestellungen. Die Entwicklung und Produktion der mit zwei Triebwerken und T-Leitwerk ausgerüsteten Douglas DC-9 wurde am 26. Juli 1963 offiziell angekündigt. Boeing wurde dadurch entsprechend unter Druck gesetzt und fürchtete, aufgrund der rasanten Entwicklungen den Anschluss an den sich verändernden Markt zu verlieren. Genährt wurde diese Befürchtung auch durch die Tatsache, dass sich bereits große amerikanische und europäische Luftverkehrsunternehmen stark für den zweistrahligen Douglas Jet zu interessieren schienen. Allem voran stand die Delta Airlines mit 15 Bestellungen. Da auch American Airlines, als einer der wichtigsten amerikanischen Luftfahrtunternehmen, bereits 15 BAC 1-11 bestellt und eine Kaufoption auf 15 weitere Flugzeuge besaß, blieben auf dem amerikanischen Markt nur noch Eastern und United Airlines als Repräsentanten der großen heimischen Luftfahrtunternehmen, die für ein neues Flugzeugprojekt zur Verfügung standen. Zur gleichen Zeit zeichnete sich bei Boeing ein Rückgang in den Rüstungsaufträgen ab, sodass Wege gefunden werden mussten, Überkapazitäten im Produktions- und Entwicklungsbereich anders zu nutzen. Nach umfangreichen Marktanalysen,

---

<sup>516</sup> Vgl. Gerresheim, Boeing 737, 1995, S. 9; vgl. Sharpe & Shaw, Boeing 737-100 and 200, 2001, S. 8-9.

<sup>517</sup> Die Definitionen für Kurz-, Mittel- und Langstrecken werden von den Luftfahrtunternehmen unterschiedlich gehandhabt. Gemäß VERORDNUNG (EG) Nr. 261/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Februar 2004 werden die Strecken wie folgt definiert: Kurzstrecke entsprechen Strecken bis 1500 km, Mittelstrecken entsprechen Strecken über 1500 km bis 3500 km und Langstrecken entsprechen Strecken über 3500 km.



---

die einen weltweiten Bedarf an Kurzstreckenjets bestätigten, kündigte die Boeing Geschäftsleitung im November 1964 offiziell die Entwicklung der Boeing 737 an. Sofort meldeten zwei Kunden ihr Interesse an. Die Deutsche Lufthansa war der designierte Erstkunde für das Basismuster der Serie 100 und United Airlines der Zweitkunde für die leicht vergrößerte Serie 200.<sup>518</sup>

### *Neue Wege durch Innovation*

Um sich gegen die Konkurrenz aus Europa und den USA zu behaupten, musste man bei Boeing konsequent neue Wege gehen, um mit einem innovativen Flugzeugmuster bei einem breiten Spektrum von potentiellen Kunden Interesse zu wecken. Das Flugzeug musste zugleich ein konventionelles, unkompliziertes und somit preiswertes Gerät sein. Der Schlüssel für diese Vorgaben lag darin, viele Teile der weltweit bewährten Boeing 727 zu verwenden. Man setzte die Strategie fort, eine Familie von Verkehrsflugzeugen zu schaffen, die alle Einsatzbereiche des Luftverkehrs abdecken konnte. Dabei sollte ein großer Teil der benötigten Ersatzteile zwischen den unterschiedlichen Typen und Varianten austauschbar sein. Das Unternehmen analysierte zudem auch den Betrieb der Boeing 737 bereits vor und während der Entwicklung im Detail. Das Flugzeug sollte nicht auf komplexe Infrastrukturen am Boden angewiesen sein und somit das Interesse von Kunden wecken, die es in weniger gut entwickelten Regionen betreiben wollten. Dabei wurde für die Betreiber die Strategie vorgesehen, die kleine Boeing zunächst für die Eröffnung und Erprobung neuer Flugstrecken einzusetzen. Bei wirtschaftlichem Erfolg sollte das neue potentielle Streckennetz zum Absatz weiterer Flugzeuge dienen. Boeing hoffte auch auf eine Ausdehnung auf das Mittel- und Langstreckennetz, was dann auch den Absatz größerer Flugzeuge zur Folge haben sollte. Um auch auf Flugplätzen mit kurzen Landebahnen operieren zu können, musste das Flugzeug zudem über gute Start- und Landeeigenschaften sowie über eine effektive Schubumkehr verfügen, die sich bereits bei der 727 bewährt hatte. Um weitestgehend unabhängig von der bodenseitigen Infrastruktur operieren zu können, sollten zwei bordeigene Treppen sowie ein Hilfsaggregat zur Stromerzeugung, zum Anlassen

---

<sup>518</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Sharpe & Shaw, *Boeing 737-100 and 200*, 2001, S. 8-13; vgl. hierzu und im Folgenden Gerresheim, *Boeing 737*, 1995, S. 9-11 sowie Figgen & Plath, *Boeing Verkehrsflugzeuge*, 2006, S. 58-64.

---

der Triebwerke und für den Betrieb der Klimaanlage am Boden vorhanden sein. Auch die Betriebskosten waren ein wichtiger Bestandteil des Konzeptes. Ziel war, das Flugzeug bei einer Sitzplatzauslastung von 35% auf Strecken zwischen 600 km und 1600 km wirtschaftlich operieren zu können.

Zur Umsetzung dieses komplexen Projekts waren auch entsprechende technische Innovationen gefordert. Ab Mitte Mai 1964 entwickelten zwei konkurrierende Teams von Konstrukteuren in Seattle unabhängig von einander ein zunächst 50 bis 60-sitziges Verkehrsflugzeug. Eine Variante verfügte, wie bei der BAC 1-11 und die DC-9 über zwei Triebwerke am Heck und ein T-Leitwerk. Bei der anderen Variante befanden sich die beiden Triebwerke unter den Tragflächen. In den folgenden 4½ Monaten wurden beide Varianten analysiert und Windkanalversuche mit Modellen gefahren. Dabei wurden Vor- und Nachteile bei beiden Modellvarianten gewertet. Im Januar 1965 fiel endgültig die Entscheidung für die Variante mit den Triebwerken unter den Tragflächen. Der Rumpf wurde so vergrößert, dass der zukünftige Einsatzbereich für 80 Passagiere ausgelegt war. Damit war Boeing den Anforderungen vieler Luftfahrtunternehmen voraus, denn diese bevorzugten weiterhin ein kleineres Verkehrsflugzeug, was sich zunächst in schleppenden Verkaufszahlen ausdrückte. Die Fachwelt erwartete einen ähnlichen Ansatz wie bei der Boeing 727. Doch die Vorzüge der ausgewählten Konfiguration der Boeing 737 für den geplanten Aufgabenbereich überwogen eindeutig.

Neben der Triebwerksanordnung und der Passagierzahl bot die Boeing 737 auch noch viele weitere Innovationen wie zum Beispiel einen großen Rumpfquerschnitt, eine bessere Balance und Türen vorne und hinten. Im Fokus dieser Neuentwicklung standen nicht nur die Flugleistungen. Auch das Einsatzgebiet sowie die möglichen Zielflugplätze waren für dieses Flugzeug von elementarer Bedeutung. Die Flugzeughersteller waren nicht mehr reine Produzenten, Entwickler oder innovative Erfinder. Sie wurden als Hersteller von ihren Kunden abhängig und fixierten ihre technische Kreativität auf die Kundenwünsche.

---

## Lufthansa – Der Launching Operator der Boeing 737

### *Lufthansa und Boeing – eine lange Partnerschaft*

Die Beziehungen zwischen der Lufthansa und Boeing hatten eine lange Vergangenheit. Wie bereits erwähnt, war die Deutsche Lufthansa einer der beiden Erstkunden der Boeing 737. Bei der Lufthansa waren bereits ab 1934 Flugzeuge von Boeing im Einsatz: zwei Exemplare des Tiefdeckers Boeing 247.<sup>519</sup> Ab 1960 kam dann mit der Boeing 707 der erste Jet in die Flotte der Lufthansa.<sup>520</sup> Die Boeing 707-430 sollte die langsam veralternde Super Constellation auf den Langstrecken ersetzen. Durch den Erfolg der Jets ermutigt, wurden ab März 1961 auch acht Boeing 720B, eine Abwandlung der Boeing 707, eingesetzt. Aber gerade auf längeren Strecken stellten sich die Vierstrahler als nicht besonders wirtschaftlich heraus. Zwischen März 1964 und Januar 1966 verkaufte die Lufthansa dann die verbleibenden sechs Flugzeuge - zwei stürzten bei Trainingsflügen ab - an die amerikanische Pan Am.

Die Liaison zwischen Boeing und Lufthansa wurde schon bald durch ein weiteres Kapitel ergänzt. Ab April 1964 setzte die Lufthansa 12 Boeing 727 Jets auf innereuropäischen Strecken ein. Neun weitere Jets wurden noch im gleichen Jahr bestellt. Ein Teil davon trug die Typenbezeichnung 727-130QC. QC war die Bezeichnung für „Quick Change“, eine schnelle Umrüstung von der Passagier- zur Frachtkonfiguration und umgekehrt. Im November 1969 folgte schließlich noch eine Bestellung über eine verlängerte und wesentlich überarbeitete Boeing 727-230 für bis zu 146 Passagiere. Damit hatte sich die Lufthansa innerhalb kurzer Zeit zu einem der größten und wichtigsten Kunden für Boeing entwickelt.<sup>521</sup>

Bereits mit Beginn der 1960er Jahre machten sich die Manager der Lufthansa in der Kölner Firmenzentrale Gedanken über einen Ersatz der in die Jahre gekommenen

---

<sup>519</sup> Vgl. Pelletier, Boeing - The Complete Story, 2010, S. 41-46; vgl. Yenne, Boeing Company, 2010, S. 200-201.

<sup>520</sup> Nach Pelletier, Boeing - The Complete Story, 2010, S. 141 war die Lufthansa Erstkunde der Boeing 707-420; vgl. auch Figgen & Plath, Boeing Verkehrsflugzeuge, 2006, S. 46.

<sup>521</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Gerresheim, Boeing 737, 1995, S. 20-26; vgl. Yenne, Boeing Company, 2010, S. 200-201.

---

Propellermaschinen des Typs Convair „Metropolitan“, Vickers „Viscount“ und der auch auf kurzen Strecken eingesetzte Lockheed „Super Constellation“. Diese Flugzeuge bedienten die meisten innerdeutschen Strecken sowie die kurzen Auslandsstrecken. Ab Mitte 1964 hatte man in enger Zusammenarbeit zwischen der technischen, wirtschaftlichen und operationellen Leitung der Fluggesellschaft bereits ziemlich konkrete Vorstellungen entwickelt, wie ein solches Flugzeug aussehen sollte. Das Flugzeug sollte eine Reichweite von circa 900 km besitzen, 82 bis 100 Passagiere plus jeweils 20 kg Gepäck und 450 kg Fracht bzw. Post mit einer Geschwindigkeit von Mach 0.75 wirtschaftlich befördern.<sup>522</sup>

Auf dem Markt standen wenige Flugzeugtypen zur Auswahl, die dieser Spezifikation annähernd entsprachen. Da waren zum Beispiel eine in der Entwicklung befindliche, vergrößerte Variante der DC-9, die britische BAC 1-11-300 und die Fokker F28 aus den Niederlanden. Die geplante Boeing 737 stand zwar auch im Gespräch, schien aber noch nicht weit genug fortgeschritten, um bei der Ausschreibung der Lufthansa ernsthaft in Betracht gezogen zu werden. Die BAC 1-11 und die F28 schieden recht schnell aus der Auswahl, vor allem weil sie über eine zu geringe Passagierkapazität und Leistungsreserven verfügten. Vorerst blieb nur die DC-9 als in Frage kommendes Flugzeugmuster übrig. Zu diesem Zeitpunkt versuchten aber auch Mitglieder der Bundesregierung aus politischen Gründen Druck auf die Lufthansa auszuüben, sich doch für die BAC 1-11 zu entscheiden. Briefe aus dem Lufthansa-Archiv in Köln belegen, dass Verteidigungsminister Kai-Uwe von Hassel sowie das Auswärtige Amt Bundeskanzler Ludwig Erhard bedrängten, die Lufthansa entsprechend unter Druck zu setzen. Man argumentierte mit der größeren Kulanz der Briten beim Devisenausgleich und mit einer angestrebten Verbesserung der Beziehung zu Großbritannien. In Großbritannien war man dadurch verstimmt, dass man, obwohl einige erfolgversprechende Anläufe unternommen wurden, noch nicht in größerem Umfang, weder im zivilen noch im militärischen Bereich, ins Geschäft kommen konnte und forderte mehr europäische Solidarität. Die deutsche Politik argumentierte gegenüber der Lufthansa, dass sie eine staatlich unterstützte Fluglinie sei und sich den politischen Interessen zu beugen hätte. Es kostete dem Vorstand der Lufthansa einige Mühe klarzustellen, dass es sich bei der Lufthansa nicht um Staatseigentum handele, sondern um eine Aktiengesellschaft.

---

<sup>522</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Villa, *Triumph of the '68 Generation*, 2003 und *Der Flugleiter*, 2003; vgl. Sharpe & Shaw, *Boeing 737-100 and 200*, 2001, S. 40-41.

---

Obwohl der Staat die Aktienmehrheit besaß, musste das Unternehmen aber den Interessen aller Aktionäre nachkommen. Dabei mussten wirtschaftliche Argumente in den Vordergrund gestellt werden.

Eindeutiger Favorit der Lufthansa war jetzt die Douglas DC-9. Dieser Typ entsprach in den meisten Bereichen den Vorstellungen der Lufthansa. Sie verfügte zudem über die gleichen bewährten JT8D Triebwerke wie die Boeing 727. Es zeichnete sich weiterhin ab, dass auch andere bedeutende europäische Fluggesellschaften die DC-9 anschaffen würden, sodass es möglich wäre, die Instandhaltung gemeinsam durchführen zu können und entsprechend Kosten zu sparen.

Die Anschaffung der DC-9 schien sicher. Nur eine gewichtige Stimme im Vorstand der Lufthansa, Gerhard Höltje, plädierte für eine Verzögerung, um der sich noch in der Definitionsphase befindenden Boeing 737 eine Chance zu geben. Höltje war ein Lufthansesat der ersten Stunde. Ab 1953 war er ständiges Mitglied des Vorstandes und zuständig für den gesamten technischen Bereich. Da er schon an der Anschaffung der Boeing 707 und 727 beteiligt gewesen war, machte er keinen Hehl aus der Tatsache, dass er die Boeing-Produkte bevorzugte. Gestärkt wurde seine Vorliebe durch seine Argumentation, dass die Boeing 737 auf jeden Fall berücksichtigt werden müsse, um durch eine Flottenhomogenität die Instandhaltungskosten möglichst niedrig zu halten. Aus Seattle wurde zudem bekannt, dass die Boeing 737 zu großen Teilen baugleich mit der Boeing 727 sein sollte. Weiterhin verhiessen die Ähnlichkeiten im Cockpit eine wesentliche Verringerung der Ausbildungskosten für die Piloten.

Lufthansa und United Airlines versuchten Boeing davon zu überzeugen, die Boeing 737 den Bedürfnissen der beiden Fluglinien besonders in puncto Passagierkapazität und Reichweite anzupassen, da Boeing sich das Flugzeug anders vorstellte als die Kunden. Boeing erklärte sich nach langen Verhandlungen bereit, die Wünsche der beiden Kunden zu berücksichtigen, wenn mindestens 50 Bestellungen für die modifizierte Variante eingehen würden. Jedoch schien das Schicksal der Boeing 737 am 25. November 1964 endgültig besiegelt, als der Lufthansa-Aufsichtsrat empfahl, die DC-9 anzuschaffen. Grund dafür war unter anderem, dass seitens Boeing immer noch keine verbindliche Aussage vorlag, die Boeing 737 endgültig zu produzieren. Zudem befürchtete man die Abhängigkeit von einem einzigen Flugzeughersteller. Die Diskussionen im Aufsichtsrat der Lufthansa führten Boeing deutlich vor Augen, dass das Unternehmen die Wünsche der Deutschen Lufthansa in den Entwurf des neuen Jets mit

---

einfließen lassen musste, wollte es das Flugzeug wirklich bauen und verkaufen. Noch am selben Tag, an dem die Planungskommission des Lufthansa-Aufsichtsrats den Ankauf der Douglas-Flugzeuge empfahl, erhielt die Lufthansa einen Brief aus Seattle, in dem Boeing Garantien für die Nutzlast, Reichweite und Startleistung zusicherte. Als auch United Airlines ihr Interesse an der DC-9 und BAC 1-11 verlor, stand einem Produktionsbeginn nichts mehr im Wege, zumal auch Eastern Airlines mittlerweile ein großes Interesse an der 737 entwickelt hatte.

Mitte Februar 1965 entschied der Lufthansa Vorstand einstimmig, die Boeing 737 anzuschaffen. Der Vorstand wurde ermächtigt, mit Boeing über den Kauf von 21 Flugzeugen abschließend zu verhandeln. Einen Monat später wurde dann der Kaufvertrag mit der Nummer 127 über 21 Flugzeuge für die Deutsche Lufthansa sowie drei für das Charterunternehmen Condor unterzeichnet. Damit war die Lufthansa zur ersten europäischen Fluggesellschaft geworden, die als Erstkunde für ein Verkehrsflugzeug aus US-amerikanischer Produktion auftrat.<sup>523</sup>

### *Der Vertrag 127 – Die Anforderungen der Lufthansa*

Wie erwähnt, baute Boeing die Flugzeuge nach den Vorstellungen der Kunden. Daraus resultierte eine fast unübersehbare große Vielfalt, da sich die Kundenwünsche sowohl auf technische Bereiche als auch auf Einrichtung und Kabine auswirkten. Um die Identifikation der ausgelieferten Flugzeuge zu erleichtern, richtete Boeing ein System von Kundennummern ein. Diese Seriennummern wurden einem Flugzeug vom Zeitpunkt der Bestellung zugeordnet und blieb dem jeweiligen Flugzeug erhalten, auch wenn dieses den Besitzer wechselte. Dies erleichterte auch die Identifikation von Ersatzteilen. Die Kundennummer wurde der Serienbezeichnung des Flugzeugs entsprechend angehängt. So ist zum Beispiel eine Boeing 737 der Serie 100 für die Deutsche Lufthansa eine Boeing 737-130, da die Kundennummer der Lufthansa bei Boeing die 30 ist.<sup>524</sup>

Die Lufthansa hatte bereits lange vor der Unterzeichnung des Vertrages 127 genaue Vorstellungen über die Konfiguration und Ausstattung ihrer Boeing 737 entwickelt. Aus

---

<sup>523</sup> Vgl. Kaufvertrag 127 vom 15.03.1965 zwischen Boeing und Lufthansa.

<sup>524</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Rösler, 1965; vgl. Gerresheim, Boeing 737, 1995, S. 131-137, Das System der Boeing-Kundennummern.

---

technischen Gesichtspunkten stand auch die Flottenharmonisierung weit oben auf der Wunschliste. Als Erstkunde bei der Einführung eines neuen Flugzeuges setzt sich ein Luftverkehrsunternehmen immer einem großen Risiko aus, da noch keine verlässlichen Daten über den Linienbetrieb des entsprechenden Modells vorliegen. Aus diesem Grund beinhaltete der Vertrag 127 eine „Service Life Policy“, die schon beim Kauf der Boeing 727 Verwendung gefunden hatte. Diese beinhaltete, dass Boeing bei Bruch oder Versagen von Strukturteilen innerhalb eines Zeitraumes von 30.000 Flugstunden oder 10 Jahren die Teile zu einem anteiligen Preis erstatten würde. Die technische Abteilung der Lufthansa war erstaunt darüber, dass Boeing die identischen Zahlen wie bei der Boeing 727 akzeptierte, besonders was die Flugstunden betraf. Bei dem geplanten Einsatz der Boeing 737 würden 30.000 Flugstunden fast 60.000 Flüge, somit Lastwechsel, bedeuten.<sup>525</sup>

Boeing sicherte zu, die Systeme der Boeing 737 für Instrumentenanflüge der Kategorie II, für automatischen und für manuellen Anflug zuzulassen. Das bedeutete für die Piloten, dass die Entscheidungshöhe im Anflug bei 100 ft (30,5 m) über Grund lag. Spätestens in dieser Höhe musste der Kommandant entscheiden, den Anflug fortzusetzen und zu landen oder ein Durchstartmanöver einzuleiten. Weiterhin musste eine Landebahnsicht am Boden von mindestens 1.200 ft (366 m) vorhanden sein. Das Konstruktionsziel sollte aber sein, die Boeing 737 später für Anflüge nach Kategorie IIIa betreiben zu können. Dies bedeutete eine weitere Reduzierung der Entscheidungshöhe um 50 ft, sowie eine erforderliche Pistensichtweite von 200 m. Anflug und Landung nach Kategorie III wurden nicht mehr von den Piloten manuell durchgeführt, sondern von der automatischen Flugsteuerung, dem Autopiloten. Diese technischen Fähigkeiten erforderten ein entsprechendes Prüfprogramm, das besonders auf die Präzision und Zuverlässigkeit der technischen Systeme einging. Die Erprobungsflüge sollten im Anschluss an das Muster-Zulassungsflugtest-Programm durchgeführt werden. Diese Zusage von Boeing war mehr als von der Lufthansa erwartet wurde, da die Erprobung und Zulassung sehr zeit- und kostenintensiv war. Zudem wurde vertraglich verankert, dass Boeing dem Luftfahrt-Bundesamt (LBA) und der Prüfstelle für Luftfahrtgerät (PfL) entsprechende Unterlagen für die Zulassung sowie entsprechende Testergebnisse zur

---

<sup>525</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Rösler, 1965.

---

Verfügung stellte.<sup>526</sup> Die Boeing 737 erhielt am 15. Dezember 1967 die Musterzulassung der amerikanischen Federal Aviation Administration. Diese Musterzulassung galt für die Boeing 737 der 100er Serie. Die 200er Serie erlangte ihre Musterzulassung wenige Tage später.<sup>527</sup>

Die Möglichkeit, Anflüge und Landungen unter Kategorie IIIa Bedingungen durchführen zu können, war für die Unternehmensziele der Lufthansa von elementarer Bedeutung. Bei einem geplanten Einsatz als Zubringer von kleineren Flugplätzen zu zentralen Hubs, um die Langstreckenflugzeuge mit Passagieren zu versorgen, sowie zur möglichst effizienten Umlaufplanung war es notwendig, dass die Flugzeuge weitestgehend wetterunabhängig operieren konnten. Verzögerungen waren nur schwer aufzufangen. Auch konnten dadurch die Kosten für Ausweich- und Positionierungsflüge, um den Flugplan aufrecht zu erhalten, stark reduziert werden.

Um die Flotten homogen zu halten und die Aus- und Umschulung von Piloten, Instandhaltungs- und Bodenpersonal zu vereinfachen, sicherte Boeing der Lufthansa zu, wesentliche Verbesserungen der Boeing 737 dahingehend zu untersuchen, ob diese auch in die Muster Boeing 707 und Boeing 727 integriert werden könnten. Sollte dies der Fall sein, würde Boeing der Lufthansa entsprechende Angebote unterbreiten. Dieser Punkt war für die Lufthansa besonders beim Nachkauf sowie bei den Nachrüstungen der Boeing 707 und 727-Flugzeuge relevant.<sup>528</sup> Da, wie bereits erwähnt, die Boeing 737 zu großen Teilen baugleich der Boeing 727 sein sollte, war auch die Verringerung des technischen Inventars von wirtschaftlicher Bedeutung. Auch wurde durch eine flottenübergreifende Harmonisierung der technischen Ausstattung die Verfügbarkeit von Ersatzteilen erhöht, um die Bodenzeiten im Fall einer Störung stark zu verringern.

Die Zusammenarbeit von Boeing und Lufthansa drückt sich auch durch die Integration des zukünftigen Betreibers in den Entwicklungsprozess aus. Lufthansa diskutierte mit Boeing insgesamt nicht weniger als 280 technische Spezifikationen. Daraus entstanden bis zur Unterzeichnung des Kaufvertrags eine Fülle an Forderungen, die Boeing

---

<sup>526</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Rösler, 1965; vgl. The Boeing Company, 1967, Change Order 11; vgl. Sharpe & Shaw, Boeing 737-100 and 200, 2001, S. 19-20, 33.

<sup>527</sup> Vgl. Sharpe & Shaw, Boeing 737-100 and 200, 2001, S. 19-20, 127.

<sup>528</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Rösler, 1965.



---

zu erfüllen hatte. Der Großteil von 119 Forderungen wurde in Form von Change Requests in die detaillierte Spezifikation der Flugzeuge in den Kaufvertrag mit aufgenommen und verursachte für die Lufthansa keine weiteren Kosten. Daher ist davon auszugehen, dass dies keine technisch komplexen Punkte waren. 11 Change Requests verursachten zusammen Kosten von \$ 123.390 pro Flugzeug. Neben dem Einbau einer hinteren Passagiertür betrafen viele Punkte das Flight Deck und dessen Instrumentierung. Dazu zählte unter anderem die Installation eines Auto-Throttle Systems, der Einbau eines zweiten Flight Director Systems sowie der Einbau der Boeing 727 Dual Altimeter Differential Pressure-Anzeige.<sup>529</sup>

Bei Vertragsabschluss erkannten Boeing und Lufthansa an, dass die Spezifikationsverhandlungen für die Boeing 737 noch nicht abgeschlossen waren. Diese sollten vielmehr kontinuierlich weitergeführt werden. Folgende Punkte seitens Lufthansa hatten dabei eine sehr hohe Priorität. Zum einen sollte Boeing garantieren, dass die Systeme für den statischen Luftdruck eine maximale Differenz von  $\frac{1}{3}$  hPa zueinander aufwiesen. Der statische Druck wird unter anderem zur Messung von Flughöhe, Fluggeschwindigkeit sowie Steig- und Sinkrate verwendet. Eine Differenz von  $\frac{1}{3}$  hPa würde einer Höhenmesseranzeigendifferenz von 10 ft entsprechen. Zusätzlich sollten die Staurohranbringung sowie die statischen Druckabnahmen ohne wesentliche Veränderungen mindestens 10.000 Flugstunden durchhalten. Weiterhin durfte die Kursabweichung der Flux Valve Übertragung um maximal  $\pm 1^\circ$  abweichen. Boeing bestätigte die bisherigen Anforderungen der Lufthansa gleich am Folgetag mit einem entsprechenden Schreiben.<sup>530</sup>

Zwei Wochen später versandte die Abteilung HAM DI unter Bezugnahme auf dieses Bestätigungsschreiben ein weiteres Memorandum an die Fachabteilungen der Lufthansa, das eine aktuelle Übersicht über die Änderungen im Kaufvertrag beinhaltete. Daraus geht hervor, dass die Spezifikationsverhandlungen bis zum 24. März 1965 andauerten. Insgesamt wurden bis dahin 249 Change Requests mit Boeing verhandelt. Davon wurden 25 zu Master Changes erklärt, wovon 11 bereits mit dem Kaufvertrag angenommen wurden. Weitere 14 waren noch zu entscheiden, und 23 blieben als so

---

<sup>529</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Rösler, 1965.

<sup>530</sup> Siehe Brief von The Boeing Company an Lufthansa vom 16.03.1965 – Technical Matters Relating to Model 737-30 Aircraft.

---

genannte „Study Items“ noch offen. Zu den zu entscheidenden Master Changes zählten auch einige für das Flight Deck interessante Punkte. Zum Beispiel sollte der Master Change für den zweiten Flight Director dahingehend geändert werden, dass das zweite Gerät von der Firma Sperry sein sollte. Neben den fast doppelten Kosten für den Einbau wurde auch das Leergewicht um 13,6 kg erhöht, was eine entsprechende Verringerung der Nutzlast bedeutete. Zudem wurden ein zusätzliches Vertical Gyro sowie ein Instrument Warning System zu weiteren Master Changes erklärt.<sup>531</sup>

Obwohl der Umfang der mit Boeing verhandelten Change Orders oder Master Changes sehr unterschiedlich war, ist zu bemerken, dass die Anzahl der Change Orders, die sich auf die Instrumente, Autopiloten/Flight Director, Navigations- und Funkanlagen bezogen, erheblich war. Mit 86 Punkten für diese Systeme stellten sie ein Drittel der gesamten von Lufthansa geforderten Änderungen dar.

Im Bereich der Flugsteuerung sowie der automatischen Steuerungen wurde mit Boeing eine tiefe Zusammenarbeit vereinbart. Neben dem Flugerprobungsprogramm des Herstellers zur Musterzulassung der Boeing 737 sollten Flugkapitäne der Lufthansa diesen Prozess begleiten. Durch entsprechende Prüf- und Abnahmeflüge musste seitens der Lufthansa sichergestellt werden, dass die Flugeigenschaften den erhofften Parametern entsprechen.<sup>532</sup> Ziel dieser Bemühungen von Lufthansa war es unter anderem auch, sicher zu stellen, dass das neue Flugzeug in der Implementierungsphase voll einsatzfähig war und eventuelle Mängel oder Unzulänglichkeiten noch vor der ersten Auslieferung behoben werden konnten. Ein fehleranfälliges Flugzeug wäre für Boeing und Lufthansa ein schwerer Rückschlag gewesen, da beide Unternehmen entsprechende Marktanteile an Konkurrenten verlieren würden. Daher war die enge Zusammenarbeit der beiden Unternehmen ein Erfordernis, um den Erfolg der Boeing 737 zu garantieren.

---

<sup>531</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Kessner, 1965.

<sup>532</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Kessner, 1965.

---

## Der Kunde als Innovator

Betrachtet man das Verhältnis zwischen der Lufthansa und dem Flugzeughersteller Boeing näher, wird eine interessante Beziehung zwischen beiden Unternehmen deutlich, die sich als Verhältnis zwischen Innovator und Lead User fassen lässt. Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass Boeing die 737 nicht produziert hätte, wenn es nicht zum Vertragsabschluss zwischen den Kunden Lufthansa und American Airlines gekommen wäre. Obwohl alle Flugzeughersteller Marktanalysen durchführten, um ihre Produkte entsprechend platzieren zu können, ist auszuschließen, dass Boeing das Produkt Boeing 737 entwickelt und konstruiert hätte, ohne dass potentielle Kunden vorhanden gewesen wären.

Bereits die Entwicklung des Flugzeugs wurde durch den Kunden Lufthansa stark beeinflusst. Die Lufthansa brauchte ein Flugzeug, das für ihren geplanten Flugbetrieb optimiert war. Nach den Klassifizierungen von Eric von Hippel stellt diese Beziehung ein typisches aktives Kundenvorbild (Customer-active Paradigm) dar.<sup>533</sup> Dabei ist der Kunde der Innovationsmotor für die Entwicklung des Produkts. Untermauert wird diese Betrachtung auch von der Gegebenheit, dass sich Flugzeugentwickler, ähnlich wie viele andere Industriezweige in der Luft- und Raumfahrttechnik, nur einen begrenzten Überblick über die Produktforderungen der Kunden verschafften. Strategische Ausrichtungen von Luftfahrtunternehmen waren meist gut gehütete Betriebsgeheimnisse, da sie das Wachstum und die Effizienz eines Unternehmens sicherstellen. Daher hatten die Flugzeugentwickler nur einen sehr oberflächlichen Eindruck von der zukünftigen strategischen Ausrichtung der Luftfahrtunternehmen. Das benötigte Wissen des Entwicklers beziehungsweise des Flugzeugherstellers ist folglich nicht im eigenen Unternehmen zu finden oder zu generieren. Flugzeuge zu entwickeln und ohne Absatzgarantie zu produzieren, war aufgrund der hohen Kosten sehr riskant, sodass bei einer Fehlkalkulation das Unternehmen schnell in den Ruin getrieben werden konnte.<sup>534</sup>

---

<sup>533</sup> Vgl. von Hippel, A Customer-Active Paradigm for Industrial Product Idea Generation, 1977, S. 2-5; vgl. von Hippel, Successful Industrial Products from Customer Ideas, 1978, S. 39-40.

<sup>534</sup> Vgl. von Hippel, Cooperation between competing firms, 1986, S. 4-5.

---

Die Beteiligung der Lufthansa an der Boeing 737 bestand freilich nur aus einem indirekten Einwirken auf den Innovationsprozess. Lufthansa brachte letztlich keine technischen Innovationen hervor, die in der Boeing 737 Verwendung fanden. Die Lufthansa als Luftverkehrsunternehmen hatte zum Beispiel nicht die Möglichkeit, Prototypen, sei es von Flugzeugen oder von Komponenten, zu entwickeln. Der Einfluss des Kunden auf das fertige Produkt belief sich lediglich auf die Vorgabe beziehungsweise präzise Spezifikation der Anforderungen seitens des zukünftigen Flugzeugbetreibers.<sup>535</sup>

Obwohl die Lufthansa aktiv keine Entwicklungen, auch nicht partiell, durchführen konnte, stellt die Flugzeugentwicklung nicht den traditionellen Ansatz von technischen Innovationen dar. Im traditionellen Entwicklungsansatz nach Eric von Hippel wirkt der Kunde erst nach dem Test von Prototypen wieder auf den Hersteller ein, um eventuell notwendige Änderungen durchzuführen. Beim Kunde-als-Innovator Ansatz hingegen erfolgen die Entwicklung, der Bau von Prototypen und die Tests beim Kunden direkt. Aufgrund der bereits beschriebenen Entwicklung der Boeing 737 trifft auch dieser Ansatz hier nicht zu.<sup>536</sup> Im Fall der Entwicklung der Boeing 737 wirkte die Lufthansa bereits während der Entwicklung und damit vor dem Bau von Prototypen stark auf den Hersteller ein. Daher ist die Entwicklung der Boeing 737, besonders im Bereich des Flight Decks, als eine Ko-Konstruktion anzusehen.

In den nachfolgenden Abschnitten soll die Beziehung zwischen dem Hersteller Boeing und dem Nutzer Lufthansa im Kontext der Fluginstrumentierung erläutert und diskutiert werden. Als Grundlage dienen auch hier Konzepte und Hypothesen der Innovationsforschung von Hippels. Dabei sollen eventuelle Besonderheiten der Luftfahrtindustrie im Vergleich zu industriellen Produktionsbetrieben berücksichtigt werden.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass Boeing das Produkt 737-130 entwickelte und fertigte, damit die Nutzer, die Fluggesellschaften, dem Verbraucher ein neues Produkt anbieten konnten. Das von den Fluggesellschaften bereitgestellte Produkt sollte der Beförderung von Personen und Fracht zu definierten Zielorten dienen. In der folgenden Fallstudie wird von dieser Festlegung etwas abgewichen. Der eigentliche Nutzer, im Sinne des Bedieners, sind die Piloten. Diese haben von der jeweiligen Fluggesellschaft den Auftrag, das Flugzeug auf einer entsprechend vorgegebenen Flugroute zu

---

<sup>535</sup> Vgl. von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 13-19.

<sup>536</sup> Vgl. von Hippel & Thomke, *Customers as Innovators: A New Way to Create Value*, 2002, S. 6.

---

den Zielflugplätzen zu steuern und sicher zu landen. Zur Zeit der Entwicklung der Boeing 737 hatten bereits Jetliner wie die Boeing 707, die Boeing 727 und die Douglas DC-8, um nur einige Beispiele zu nennen, einen festen Platz bei den international und interkontinental operierenden Fluggesellschaften eingenommen. Dennoch konnte die Boeing 737 noch mit einigen Innovationen aufwarten. Gerade das Flight Deck unterschied sich substantziell von den bis dato gängigen Produkten, schon durch den Wegfall des Flugingenieurs. Dies bedeutete für die beiden verbliebenen Piloten, dass sie zusätzlich noch weitere Systeme überwachen und bedienen mussten. Durch den Wegfall des dritten Arbeitsplatzes mussten alle nötigen Anzeigen noch im Sichtfeld und die Bedienelemente in Reichweite der Piloten platziert werden.

Als Ergebnis von über 100 Untersuchungen von Unternehmen in unterschiedlichen Industriebereichen hat Hippel festgestellt, dass 77% der Innovationen durch den Nutzer entwickelt wurden.<sup>537</sup> Im Fall der Instrumentierung des Flugdecks der Boeing 737 brachte Lufthansa dagegen keine technischen Innovationen hervor. Die verwendete Technologie stand bereits zur Verfügung. Da Lufthansa bereits Boeing-Flugzeuge wie die 707 und die 727 in ihrer Flotte betrieb, war es nicht weiter verwunderlich, dass sich das Flight Deck der Boeing 737 nicht wesentlich von den anderen Typen unterschied. Dies vereinfachte die Ausbildung und die Umschulung von Piloten anderer Boeing-Flugzeuge. Durch den Wegfall des Flugingenieurs jedoch musste die theoretische und praktische Ausbildung der Piloten erweitert werden. Von der fliegerischen Seite her betrachtet, war der Umstieg auf die Boeing 737 für Piloten, die bereits Erfahrung auf Jetlinern besaßen, nicht besonders komplex. Jedoch stieg die Arbeitsbelastung aufgrund der Reduzierung der Flugbesatzung wieder an. Auch ist zu erwähnen, dass die Boeing 737 auf kurzen Strecken eingesetzt werden sollte. Dies hatte zur Folge, dass die Reiseflugphasen im Vergleich zu den drei- und viermotorigen Flugzeugen kürzer waren. Auch dadurch stieg die Arbeitsbelastung, da den Piloten zwischen den kritischen Flugphasen, dem Start und der Landung, weniger Zeit zur Verfügung stand.

Im Nachfolgenden wird auf die Änderungen des Kaufvertrags bezüglich der Instrumentierung und des Flight Deck Designs eingegangen.

---

<sup>537</sup> Vgl. von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 13.

---

## *Der Vertrag 127 – Die Nachwirkungen*

Nach Abschluss des Kaufvertrages 127 am 15. März 1965 sowie der finalen Spezifikation durch Boeing und Lufthansa wurden noch viele weitere Change Order verfasst. Die erste Change Order mit der Nummer 1 übersandte Boeing der Lufthansa bereits am 7. April 1965 zur Zeichnung. Durch den Auslieferungsprozess für die bestellten 21 Flugzeuge, der ab November 1967 begann und monatlich ein bis drei Flugzeuge beinhaltete, wurde die Boeing 737 ständig weiter modifiziert. Selbst nach dem ersten Linienflug der 737-130 von Frankfurt nach München am 10. Februar 1968 wurden noch weitere Change Order verfasst und bereits ausgelieferte Flugzeuge wieder umgerüstet oder verändert.<sup>538</sup> Es wird im Folgenden nicht auf jede einzelne Change Order im Detail eingegangen, sondern nur auf die, welche im thematischen Kontext dieser Arbeit relevant sind.

Die Change Order vom 7. April 1965 diente hauptsächlich nur zur Harmonisierung der Spezifikation. Aufgrund der Vielfalt der einzelnen Punkte, die in einzelnen Change Requests aufgeführt wurden, war es offenbar zu Unklarheiten über die besprochenen und beschlossenen Spezifikationsänderungen gekommen. Einige Anforderungen (Change Request) wurden zwischenzeitlich auch wieder geändert. Die Change Order 1 beinhaltete über 100 Change Requests, welche die Spezifikation im Kaufvertrag 127 veränderten. Am 30. April 1965 wurde die Change Order 1 von der Lufthansa unterschrieben und somit verbindlich.<sup>539</sup> Bei den Änderungen an der zukünftigen Lufthansa Boeing 737 wurde neben den zusätzlichen Kosten für die Anschaffung stets auch Wert auf den Faktor Gewicht gelegt. Das operationelle Leergewicht des Flugzeugs ist für die wirtschaftliche und flugbetriebliche Kalkulation von großer Bedeutung, da ein steigendes Leergewicht die Nutzlast bzw. den mitführbaren Treibstoff limitieren kann.

Die Änderungen des Vertrags 127 hatten unmittelbare technische Auswirkungen auf das Produkt. Daher kann weder der traditionelle Entwicklungsansatz noch der Kundenals-Innovator-Ansatz Hippels hier angesetzt werden.<sup>540</sup> Untermauert wird dieses Fazit

---

<sup>538</sup> Vgl. Lufthansa HAM DI Rösler, 1965; vgl. The Boeing Company, 1965; vgl. The Boeing Company, 1968; vgl. Villa, *Triumph of the '68 Generation*, 2003.

<sup>539</sup> Vgl. The Boeing Company, 1965, Change Order 1.

<sup>540</sup> Vgl. von Hippel & Thomke, *Customers as Innovators: A New Way to Create Value*, 2002, S. 6-7.

---

auch dadurch, dass es vor den ersten Change Order noch keinen Prototypen der Boeing 737 gab.

### *Autopilot und Auto-Throttle*

Die automatische Flugsteuerung, der Autopilot, war in vielerlei Hinsicht eines der wichtigsten Systeme für die Flugführung. Besonders bei Jets, bei denen die Besatzung auf dem Flight Deck aus nur zwei Piloten besteht, ist dieser im Liniendienst nahezu unverzichtbar. Jedoch mussten die Autopiloten entsprechende Standards erfüllen. Daher fand vom 22. bis 23. Juni 1965 eine Besprechung zwischen Boeing, Lufthansa und United Airlines statt, in der es um die Standardisierung des Autopiloten beziehungsweise dessen Bedienelemente ging. Ursprünglich sah Boeing vor, die Bedienelemente des Autopiloten zwischen den beiden Piloten in der Mittelkonsole zu platzieren. Als Ergebnis der Besprechung wurde festgelegt, dass für die Boeing 737 die Autopilotenbedienelemente in Front der Piloten unterhalb des Blendschutzes (Glare Shield)<sup>541</sup> und oberhalb der Triebwerksanzeigen mittig angeordnet werden sollten. Diese Anordnung ist vorteilhafter, da die Einstellungen direkter, ohne den Kopf zu senken und die Augen neu zu fokussieren, schneller sichtbar sind. Wenn Beschleunigungen, wie zum Beispiel beim Durchstarten, auf die Besatzung einwirken, kann es zu Schwindelgefühlen (Vertigo) bei größeren Kopfbewegungen kommen. Die Gefahr, dabei kurzzeitig die Orientierung zu verlieren, ist besonders groß. Die Bedienbarkeit durch beide Piloten war dadurch sichergestellt, dass die Abstände so angeordnet waren, dass alle Schalter für den Kommandanten sowie dem Copiloten erreichbar waren. Auch wurde festgelegt, dass die Drehschalter für die Drehbewegung sowie die Nickbewegung so ausgelegt wurden, dass diese mit der Flugzeugbewegung in gleicher Richtung verliefen. Zusätzlich sollte der Autopilot noch über die Einstellungen „Go-Around“ (Durchstarten) und „Turbulence Penetration“ (Erhöhung der Ablagetoleranzen, ggfs. Verringerung der Ruderausschläge) verfügen.<sup>542</sup>

---

<sup>541</sup> In den Vertragsunterlagen wird auch der Begriff „Light Shield“ verwendet. Die Piloten bezeichneten dieses aber grundsätzlich als „Glare Shield. Zur Bezeichnung sowie zur Anordnung der Bedienelemente siehe Interviews mit Kennerknecht, 2012, und Steffen, 2012.

<sup>542</sup> Vgl. The Boeing Company, 1965, Change Order 4.

---

Bei der Festlegung der Autopilotenbedienung ist zu erkennen, dass Lufthansa sich als Flugzeugbetreiber auch Gedanken über die Zusammenarbeit der Piloten auf dem Flight Deck machte. Während eines störungsfreien Fluges wird der Autopilot nahezu in jeder Flugphase verwendet. Daher ist es besonders wichtig, dass beide Piloten diese Einstellungen zu jeder Zeit gut einsehen können.

Boeing erstellte am 9. Februar 1966 die Master Change 3911-2, die beinhaltete, dass der „Supervisory Override“ auch während des Fluges auf einem Leitstrahl wie zum Beispiel VOR oder ILS aktiv sein musste.<sup>543</sup> „Supervisory Override“ bedeutet, dass, wenn der Autopilot das Flugzeug selbsttätig steuert, die Piloten mit Steuereingaben am Steuerhorn die Autopilotensteuerung aussetzen können und das Flugzeug den Steuereingaben der Piloten folgt. Diese Master Change, die in der Change Order 9 zum Kaufvertrag 127 integriert wurde, bezog sich auf alle Flugzeuge der Boeing 737 Flotte.

Boenig stellt der Lufthansa auf der 18. Arbeitssitzung der Schlechtwetterlande-Kommission am 11. Juni 1965 in Frankfurt die Arbeitsweise des „Control Wheel Steering“ vor. Während der Arbeitssitzung wurde die von Boeing vorgeschlagene Systematik jedoch abgelehnt. Boeing sollte das System entsprechend den Vorschlägen der Lufthansa überarbeiten sowie eine entsprechende Master Change vorbereiten. In einem Brief teilte Boeing der Lufthansa mit, dass deren Forderungen in den Basis-Autopilotencomputer integriert, diese aber nicht aktiviert wurden. Mit der entsprechenden Master Change 3911-2 bot Boeing dann die Aktivierung des Systems an.<sup>544</sup>

Lufthansa versprach sich von dieser Änderung eine verbesserte Zusammenarbeit zwischen dem Piloten und dem Autopiloten. Zum Beispiel kann der Pilot zeitweise die Flugzeugsteuerung übernehmen, während der Autopilot weiterhin für die Flugzeugdämpfung und -stabilisierung sorgt. Aus Sicherheitsgründen sollte der Autopilot sich au-

---

<sup>543</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Master Change Proposal 3911-2; vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 9.

<sup>544</sup> Vgl. Lufthansa HAM IE 1, 1966, interne Stellungnahme zur Master Change 3911-2; Brief 6-7320-5588 von Boeing an Lufthansa vom 08. Februar 1966.



---

tomatisch abschalten, wenn der Horizontkreisel, der Kurskreisel, der Air Data Computer oder die VHF Navigationsinstrumente einen Fehler anzeigten.<sup>545</sup> Dies sollte sicherstellen, dass der Autopilot das Flugzeug aufgrund einer fehlerhaften Komponente nicht in einen gefährlichen Flugzustand oder auf einen falschen Kurs bringen konnte.

Neben der Bedienbarkeit und den Funktionen des Autopiloten betrachtete die Lufthansa das System Autopilot weitaus tiefer. Die Boeing 737-130 sollte die Werkshallen von Boeing mit nur einem Autopilotenkanal verlassen und in Dienst gestellt werden. Allerdings hielt sich die Lufthansa die Option offen, einen zweiten Autopilotenkanal nachzurüsten. Daher wurde festgelegt, welche Instrumentendaten vom jeweiligen Autopilotenkanal genutzt werden sollten. Bei der Konfiguration mit einem Kanal waren die Instrumente auf der linken Seite des Flight Decks, die des Kommandanten, für die Einstellungen vorgesehen. Dazu zählten grundsätzlich das VHF/NAV System sowie die Kursvorwahl. Die Daten der Fluglage und Kurskreisel konnten auch von den Instrumenten auf der Copilotenseite verwendet werden. Bei der Installation von zwei Kanälen musste der Kanal A die Instrumente und Daten der linken Seite des Flight Decks und Kanal B die der rechten Seite verwenden.<sup>546</sup>

In der Change Order 12 von Mitte 1967 veröffentlichte Boeing die Toleranz für die automatische Triebwerksleistungseinstellung. Sie wiesen eine Geschwindigkeitstoleranz, vorübergehend oder während Manöver, von  $\pm 5$  Knoten auf. Dieser Punkt wurde bei der Lufthansa intern stark diskutiert. Lufthansa rechnete mit einer Toleranz von  $\pm 3$  Knoten. Daher machte Lufthansa es Boeing zur Auflage, detaillierte Ergebnisse der Flugversuche bezüglich der „Automatic Throttle“-Leistungsfähigkeit zu ermitteln. Weiterhin erwartete man von den Boeing-Ingenieuren eine Erklärung, warum die von Lufthansa erwarteten Geschwindigkeitstoleranzen um 2 Knoten überschritten werden sollten und die ursprünglich erwarteten Grenzwerte nicht eingehalten werden konnten.<sup>547</sup>

Sollte es Boeing nicht möglich sein, die Toleranzen auf das erwartete Minimum zu reduzieren, stand die Lufthansa vor der Entscheidung, unter Umständen auf das System zu verzichten. Um sich aber selbst von der Leistungsfähigkeit des „Automatic

---

<sup>545</sup> Vgl. The Boeing Company, 1967, Change Order 13.

<sup>546</sup> Vgl. The Boeing Company, 1967, Change Order 12.

<sup>547</sup> Vgl. The Boeing Company, 1967, Change Order 12; vgl. Lufthansa HAM IZ Rott, 1967, Change Order 12 zum Kaufvertrag 127 Boeing 737.

---

Throttle“ Systems zu überzeugen, schlug die Lufthansa Boeing vor, entsprechende Erprobungs- und Abnahmeflüge mit Lufthansa-Ingenieuren durchzuführen.<sup>548</sup>

Da die ausgelieferten Flugzeuge über das Automatic Throttle-System verfügten, muss davon ausgegangen werden, dass die Lufthansa mit der Funktion und den Toleranzen des Systems schließlich zufrieden war. In der Praxis funktionierte das Halten der eingestellten Fluggeschwindigkeit sehr gut. Die Piloten sahen einen Nachteil eher darin, dass das Automatic Throttle-System nur die Triebwerke und nicht den Pitch, den Anstellwinkel, steuern konnte. Daher mussten häufig Korrekturen durch den Piloten vorgenommen werden, was in Stresssituationen nur partiell entlastete.<sup>549</sup>

### *Das Instrumentenpanel Design*

Neben der Art, Anzahl und Anordnung der Instrumente auf dem Flight Deck waren für die Lufthansa auch noch andere Parameter von Bedeutung. Dazu zählte auch die Anforderung, die Instrumentenbretter des Kommandanten und des Copiloten sowie das mittlere Instrumentenbrett mit Referenzmarkierungen gegenüber der Struktur zu versehen. Diese Markierungen dienten zur Nivellierung, sodass sichergestellt werden konnte, dass die Instrumentenbretter exakt zur Flugzeugstruktur ausgerichtet waren. Zudem sollten die Instrumente so im Instrumentenbrett befestigt werden, dass ein unbeabsichtigtes Lösen oder gar Herausnehmen nicht möglich war. Dazu mussten selbstsichernde Schrauben verwendet werden. Die Stellen im Instrumentenbrett, an denen Instrumente mit künstlicher Horizontanzeige eingebaut werden sollten, mussten mit Fixierzapfen versehen werden, um eine ordnungsgemäße Ausrichtung des Instrumentes sicherzustellen.<sup>550</sup> Die Nivellierung sowie die Fixierzapfen für Instrumente gingen auf Forderungen der Lufthansa zurück. Dies ist ein weiteres Beispiel für die Customer Active-Paradigmen von Hippels. Die Lufthansa brachte hier eigene Ideen und Vorstellungen für technische Lösungen in die Entwicklung der Boeing 737 ein.<sup>551</sup>

---

<sup>548</sup> Vgl. Lufthansa HAM IZ Rott, 1967, Change Order 12 zum Kaufvertrag 127 Boeing 737.

<sup>549</sup> Interviews mit Kennerknecht, 2012, und Steffen, 2012.

<sup>550</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 5.

<sup>551</sup> Vgl. von Hippel, A Customer-Active Paradigm for Industrial Product Idea Generation, 1977, S. 3-5.

---

Neben der Fixierung der Instrumente wurde auch die Instrumentenanzeige in der Change Order 5 vom 8. März 1966 verändert. Im Speziellen ging es hier um die erweiterte Kurs- und Gleitweganzeige, die im Randbereich des ADI (Attitude Direction Indicator) ihren Platz hat. Befindet sich das Flugzeug im Landeanflug, wird der Landekurs und der Gleitpfad mit einer horizontalen und einer vertikalen Nadel im ADI angezeigt. Am Rand der Anzeige werden die Nadelpositionen nochmals angezeigt. Lufthansa forderte, dass nicht nur die Nadeln in der Instrumentenmitte, sondern auch die erweiterten Anzeigenadeln am Instrumentenrand nicht sichtbar sein sollten, wenn kein Landekurs „eingefangen“ (captured) war. Ferner sollte das Einfangen des rückwärtigen Landekurses (Backcourse Localizer) nicht möglich sein.<sup>552</sup>

Die Begründung für eine solche Modifikation der Anzeige könnte darin liegen, dass im Falle eines Gerätefehlers die Piloten nicht durch die erweiterten Anzeigenadeln verwirrt werden. Dadurch dass die Anzeigenadeln, die normal in der Anzeigemitte sowie die erweiterten am Rand, nur beim „Einfangen“ beziehungsweise beim Anflug auf dem entsprechenden Landekurs sichtbar wurden, wurde eine Anzeigeredundanz geschaffen. So war es auch bei einem mechanischen Gerätefehler noch möglich, den Anflug mit ausreichender Präzision durchzuführen.

Im Zusammenhang mit der ADI-Anzeige stand auch die Forderung, die an den Triebwerksleistungshebeln angebrachten „Go-Around“ Schalter sollten nur funktionsfähig sein, wenn der Wahlschalter für den Flight Director Modus sich in der „RAD“-Position befand.<sup>553</sup>

Welche Art von Modus sich unter der Einstellung „RAD“ verbirgt, konnte vom Autor auch nach aufwändigen Recherchen nicht festgestellt werden. Es ist aber davon auszugehen, dass es sich um einen Anflugmodus handelte, da das Durchstartmanöver nur angewendet wird, wenn der Anflug oder die Landung aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden muss.

Das Instrumentenpanel in der ursprünglichen Version beinhaltete nur einen Radarhöhenmesser. Dieser sollte auf der rechten Seite des Flight Decks vor dem Copiloten

---

<sup>552</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 5; Mitteilung von Denk, 2014, Kapitän Boeing 737 und Airbus A319 bzgl. der Bezeichnungen des Autopilot / Flight Director Mode Selectors; Mitteilung von Dr. Dorn, 2012, Anzeigemodi von Attitude Director Indicator von Boeing Luftfahrzeugen.

<sup>553</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 5; Mitteilung von Denk, 2014, Kapitän Boeing 737 und Airbus A319 bzgl. der Bezeichnungen des Autopilot / Flight Director Mode Selectors.

---

installiert werden. Mit der Change Order 6 vom 9. März 1966 beauftragte Lufthansa Boeing, jeweils einen Radarhöhenmesser für jeden Piloten zu installieren.<sup>554</sup>

Neben Redundanzgründen musste von flugbetrieblicher Seite auch jederzeit mit dem Ausfall eines Piloten gerechnet werden. Besonders bei Anflügen nach Instrumentenflugregeln der Kategorie II oder höher war der Radarhöhenmesser für das finale Abfangen kurz vor dem Aufsetzen fast unverzichtbar. Dadurch, dass jeder Pilot einen Radarhöhenmesser direkt vor sich positioniert hatte, wurde das Ablesen vereinfacht. Das Vertigo-Risiko infolge großer Kopfbewegungen wurde verringert. Ebenso gingen keine wertvollen Sekunden dadurch verloren, das wichtige Instrument zunächst visuell zu suchen.

Ein wichtiger Punkt für eine gute Ablesbarkeit der Instrumente, besonders bei Dämmerung oder beim Flug durch dicke Wolkenschichten, ist deren Beleuchtung. Die Lufthansa änderte die von Boeing vorgesehene dimmbare Instrumentenhintergrundbeleuchtung in eine weißstrahlende und nicht dimmbare fluoreszierende Hintergrundbeleuchtung.<sup>555</sup> Die Instrumentenpanels für den Kommandanten und den Copiloten sollten so beleuchtet sein, dass die Instrumente immer gut ablesbar sein würden. Besonders großen Wert legte die Lufthansa darauf, die Möglichkeit des Dimmens zu unterbinden. Eine Begründung dafür könnte in der Standardisierung der Flight Decks zu finden sein, eine zweite im Vermeiden, dass die Piloten durch die Einstellung der individuellen Beleuchtung vom Flugverlauf abgelenkt würden. Weiterhin konnte eine individuelle Instrumentenbeleuchtung auch die Cross-Check-Verfahren<sup>556</sup> erschweren, da sich die Augen entsprechend auf die neuen Lichtverhältnisse einstellen müssen. Die damaligen Bauvorschriften für Flugzeuge besagten, die Instrumentenbeleuchtung müsse so beschaffen sein, dass die Instrumentierung bei den zu erwartenden Lichtverhältnissen stets gut abzulesen war. Dabei durften die Piloten keinesfalls geblendet werden.<sup>557</sup> Die Vorschriften forderten keine dimmbare Instrumentenbeleuchtung, wenn eine konstante Beleuchtung den erforderlichen Effekt erzielte.

---

<sup>554</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 6.

<sup>555</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 10; vgl. interne Stellungnahme von Lufthansa HAM IZ Rott, 1966.

<sup>556</sup> Cross-Check-Verfahren beinhalten auch die Ablesung und Vergleich der beiden Instrumentenpanels. Cross-Check-Verfahren werden grundsätzlich von beiden Piloten durchgeführt.

<sup>557</sup> Vgl. Civil Aeronautics Board, 1953, S. 41 §4b.630 (b) & (c); vgl. Federal Aviation Administration, 1964; FAR 25.1381.

---

Bei einem Demonstrationsflug Mitte 1967 stellte die Flugbesatzung fest, dass die Einstellung für die Bezugsdruckfläche der Höhenmesser in der Boeing 737 die umgekehrte Drehrichtung aufwies als alle anderen Höhenmesser der bisherigen Lufthansa Flotte. Die Abteilung Flugbetrieb bewertete dies als einen sicherheitskritischen Punkt, was zu intensiven Diskussionen zwischen verschiedenen Abteilungen der Lufthansa führte. Auch die Firmen Boeing und Kollmann, die die Höhenmesser herstellte, wurden an den nachfolgenden Besprechungen beteiligt, die zwischen August und Dezember 1967 stattfanden. Lufthansa bestand darauf, dass die Höhenmesser entsprechend geändert oder ersetzt wurden. Boeing hingegen sah in der divergierenden Drehrichtung des Einstellrads keine sicherheitskritische Gegebenheit. Letztendlich aber war unverkennbar, dass Lufthansa im Linieneinsatz nur Höhenmesser mit einer einheitlichen Drehrichtung des Einstellrads verwenden wollte. In den sich hinziehenden Diskussionen ging es Lufthansa vor allem um das Ziel, die Kosten, die sich im Dezember 1967 auf 1.031 US\$ pro Flugzeug beliefen, nicht übernehmen zu müssen. Lufthansa zog den Kürzeren und erklärte sich Ende 1967 bereit, die Kosten für die Umrüstung der Höhenmesser zu tragen.<sup>558</sup>

### *Die Anordnung der Instrumente*

Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte sich die Basic-T-Anordnung der primären Fluginstrumente nicht nur bei militärischen, sondern auch bei den zivilen Flugzeugen durch. Die oben bereits erläuterte Anordnung der primären Fluginstrumente war in den Bauvorschriften der FAA manifestiert worden, sodass sich daraus ein Standard entwickelte, der sich weltweit durchsetzte. Da die Positionen der weiteren Instrumente, wie zum Beispiel das Variometer oder der Radarhöhenmesser, in den Bauvorschriften nicht ausdrücklich definiert waren, variierte die Anordnung in Abhängigkeit vom jeweiligen Luftverkehrsunternehmen. Die Lufthansa orientierte sich bei der Boeing 737 an der bereits im eigenen Unternehmen eingesetzten Boeing 707. Dadurch wurde die Umschulung der Piloten von der 707 auf die 737 und umgekehrt sehr erleichtert.

---

<sup>558</sup> Vgl. Lufthansa HAM IF 3, 1967, Stellungnahme zur Master Change Nr. 3600-49 "Subdial Adjustment on Pneumatic Altimeters in 737-130"; vgl. The Boeing Company, 1968, Master Change Proposal 3600-49.

Die Anordnung der Instrumente auf dem Flight Deck wurde mit verschiedenen Change Orders bis August 1967, wie im Folgendem dargestellt wird, festgelegt. Die Änderungen, die sich aus diversen Changes und Master Changes ergaben, betrafen hauptsächlich sekundäre Elemente wie zum Beispiel die Positionierung des Schalters für die Instrumentenbeleuchtung oder den Wechsel der Nomenklatur von „Defog Control“ zu „Windshield Air“.<sup>559</sup>

Das abgebildete Panel für den Kommandanten wird durch die Basic-T-Anordnung dominiert. Im Zentrum befand sich der künstliche Horizont mit den Flight Director Anzeigen. Rechts neben dem Höhenmesser wurde der Radarhöhenmesser gemäß der Change Order 6 installiert. Auch die Anordnung des Variometers sowie des ADF orientierte sich an der Instrumentenanordnung der Boeing 707-430.

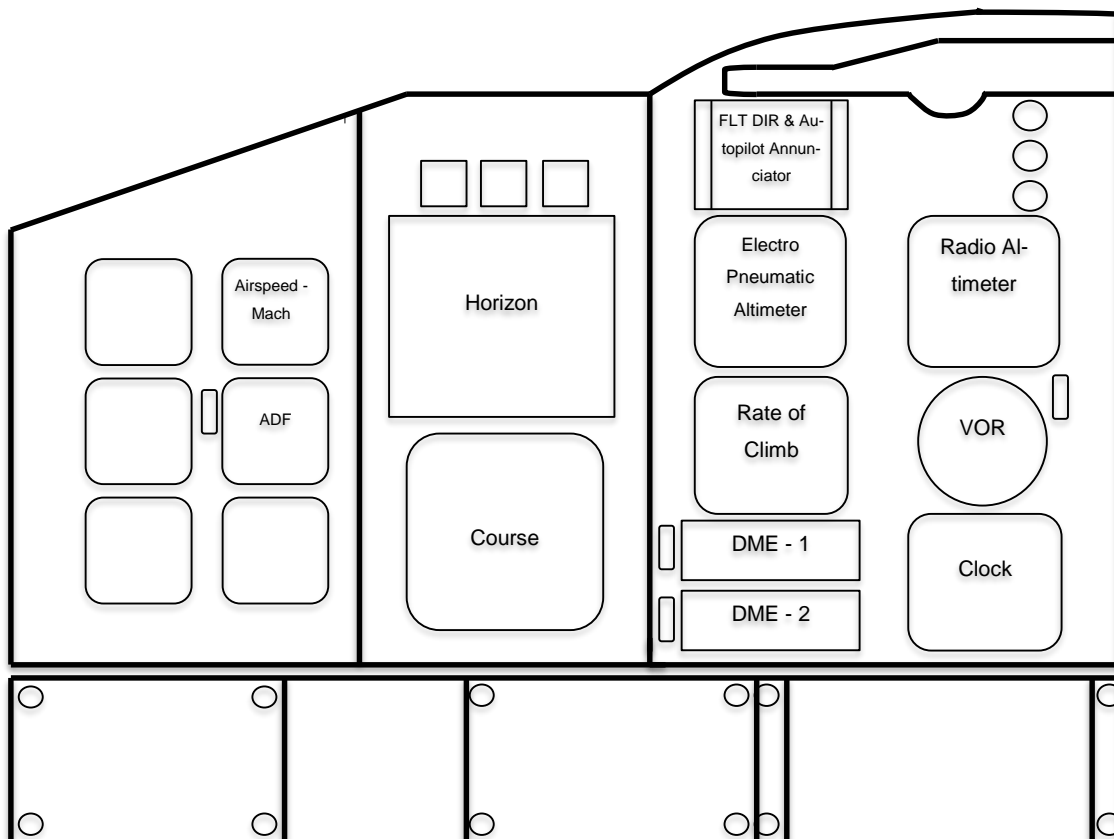


Abbildung 20: Kapitänspanel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8)

<sup>559</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 8; vgl. The Boeing Company, 1967, Change Order 13.

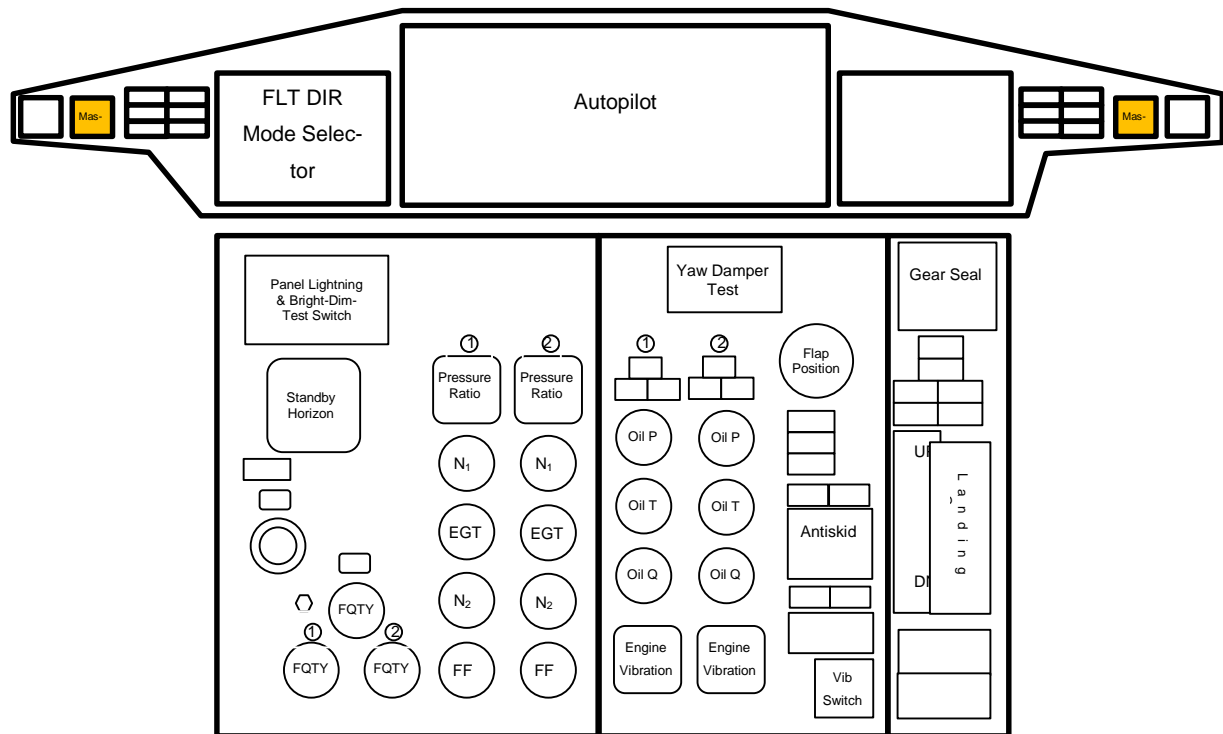


Abbildung 21: Center Panel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8)

Das zentrale Panel wurde von den Triebwerksüberwachungsinstrumenten dominiert, die mittig angeordnet und somit für beide Piloten gut einsehbar waren. Die Anordnungen für das linke und rechte Triebwerk waren nebeneinander in entsprechenden Kolonnen angebracht. Dadurch waren diese analog zu den Triebwerken unter den Tragflächen sortiert, sodass sie von den Piloten gut zu unterscheiden waren. Oben, zentral in der Mitte und unmittelbar unterhalb des Glare Shields, befanden sich die Bedienelemente des Autopiloten. Rechts und links davon waren die Warnanzeigen zusammen mit den Master Caution-Anzeigen untergebracht und gut vom jeweiligen Piloten einsehbar.

Die Master Change 3911, die in der Change Order 8 enthalten war, beinhaltete die Positionierung der Anzeige für die Höhenruderstellung auf der linken Seite des zentralen Panels. Die Boeing 737-130 Flugzeuge waren serienmäßig mit einer „Stabilizer out of Trim“-Anzeige ausgerüstet. Diese Anzeige informierte die Piloten lediglich über die Tatsache, dass sich das Höhenruder außerhalb des regelbaren Bereiches befindet, gab aber keine Anzeige über die Richtung an. Bei automatischen Anflügen sah die Lufthansa aber die Notwendigkeit, eine Anzeige über die Richtung und Größe des Höhenruderausschlags zu haben. Die Piloten sollten beim Auskuppeln des Autopiloten die notwendigen Steuerkorrekturen in der Nickachse sofort einleiten können, um Höhenverluste zu vermeiden. Da die Höhenruderpositionsanzeige für die Lufthansa eine

---

unabdingbare Sicherheitsforderung war, schlugen die Abteilungen Technik und Flugbetrieb die Annahme der Master Change 3911 vor. In einer Änderung zur Master Change 3911 erhielten sogar beide Piloten eine Positionsanzeige für das Höhenruder, direkt auf ihrem jeweiligen Instrumentenpanel.<sup>560</sup>

Die rechte Seite des zentralen Panels wurde vom Hebel für das Einziehfahrwerk dominiert. Die behördlichen Bauvorschriften für Verkehrsflugzeuge sahen und sehen immer noch vor, dass bestimmte Steuerungseinrichtungen von beiden Piloten bedient werden und diese den jeweiligen Status klar und eindeutig identifizieren können. Neben den Triebwerksleistungshebeln zählten auch die Fahrwerks- und Landeklappenschalter bzw. Hebel zu diesen Bedienelementen. Alternativ wäre es auch möglich gewesen, jedem Piloten separate Schalter für diese Systeme zur Verfügung zu stellen. Aber aus konstruktionstechnischen Gründen wird bei Flugzeugen, in denen die Piloten nebeneinander sitzen, grundsätzlich auf solche Lösungen verzichtet. Es muss zu jeder Zeit sichergestellt sein, dass die Positionen der Schalter oder Hebel für beide Piloten immer identisch sind, um mögliche Fehlinterpretationen zu verhindern.<sup>561</sup>

Das Panel der „First Officers“, wie der Copilot bei der Lufthansa bezeichnet wird, wurde, wie in der Change Order 5 bereits beschrieben, um einen Radarhöhenmesser erweitert.<sup>562</sup> Die Position des Radarhöhenmessers war analog zu der auf dem Panel des Kommandanten. Dadurch, dass die primären Fluginstrumente für beide Piloten im gleichen Layout angebracht waren, wurde die Ausbildung vom Copiloten zum Kommandanten erheblich erleichtert, da sich die Piloten im Bezug auf die primären Fluginstrumente nicht mehr umgewöhnen mussten.

Ein wichtiger Faktor, der zwischen Boeing und Lufthansa geklärt werden musste, war die Anordnung der beiden DME (Distance Measuring Equipment) Anzeigen auf dem Panel des Copiloten. Im Gegensatz zu der Anordnung auf dem Panel des Kommandanten, auf dem DME 1 über DME 2 angebracht war, waren die beiden Anzeigen beim Copiloten genau umgekehrt installiert. Boeings Begründung für diese Anordnung lag

---

<sup>560</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 8; vgl. Lufthansa HAM IE 1, 1966, Stellungnahme zur Master Change 3911 für 737-130 Elevator Position Indicator; vgl. The Boeing Company, 1966, Master Change 3911.

<sup>561</sup> Vgl. Federal Aviation Administration, 1965, FAR 25.729 vom 02.01.1965.

<sup>562</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 5; vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 8.



darin, die DME 2-Anzeige würde primär vom Copiloten verwendet und solle somit den oberen Platz einnehmen. In einem internen Schreiben der Lufthansa schlug die Abteilung HAM IZ September 1966 vor, die Change Order 8 anzunehmen, jedoch mit der Änderung, auf beiden Paneelen die DME 1- über der DME 2-Anzeige zu installieren. Die Lufthansa einigte sich auf diesen Vorschlag und übermittelte Boeing die Änderung.<sup>563</sup>

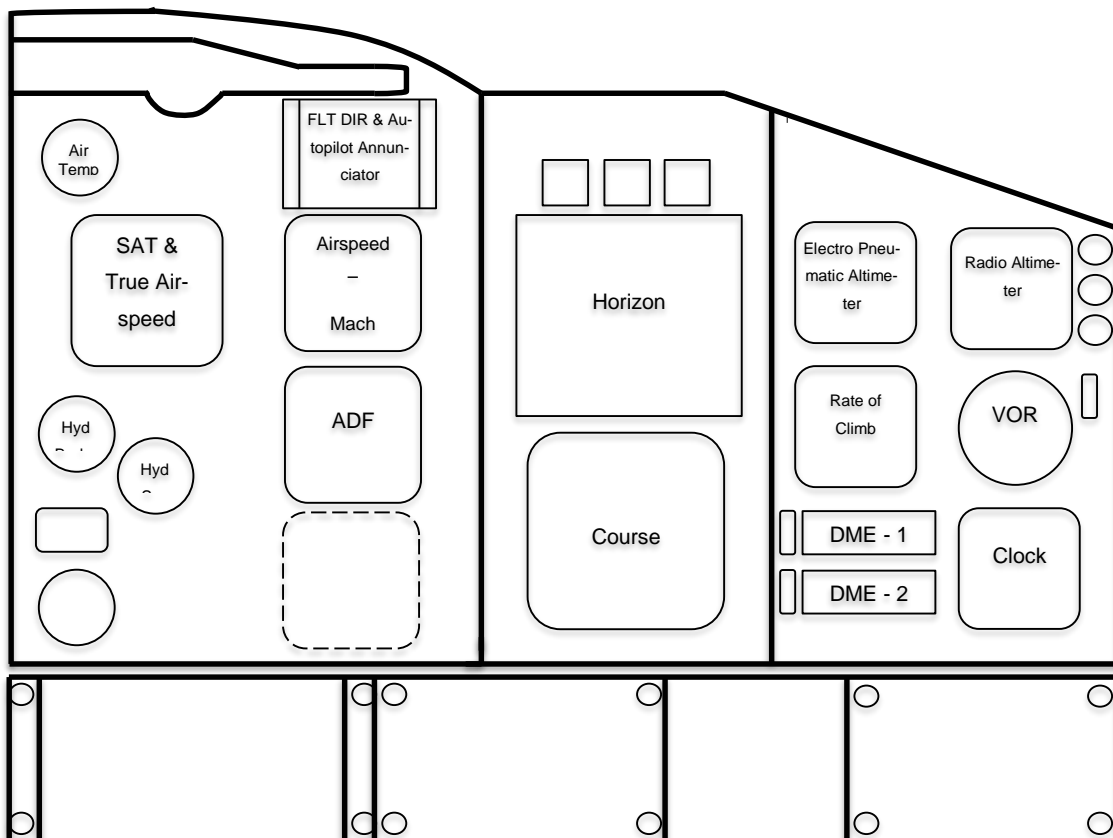


Abbildung 22: First Officers Panel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8)

<sup>563</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 8; vgl. internes Schreiben von Lufthansa HAM IZ Rott, vom 22. September 1966.

---

Die Anordnung der Instrumente des Kapitäns-, Center- und First Officers-Panels waren vergleichbar mit der Instrumentenanordnung der Boeing 707.<sup>564</sup> Daraus ergaben sich Erleichterungen bei der Umschulung von Boeing 707 Besatzungen. Diese fanden sich auf dem Flight Deck der Boeing 737 sehr rasch zurecht.

Eines der komplexesten Panels auf dem Flight Deck war das so genannte „Overheadpanel“. Das Overheadpanel befand sich zentral zwischen den beiden Piloten an der Decke des Flight Decks. Die Komplexität resultiert aus der Vielzahl der Systeme, die grundsätzlich nur von sekundärer Bedeutung waren. Die Panels des Kommandanten und des Copiloten werden durch die primären Fluginstrumente und das zentrale Panel durch die Triebwerksinstrumente dominiert. Hauptbestandteil der Mittelkonsole sind die Hebel zur Steuerung der Triebwerksleistung und die Geräte zur Einstellung der Kommunikations- und Navigationssysteme.

---

<sup>564</sup> Vgl. Vicenzi, *Early American Jetliners*, 1999, S. 88.

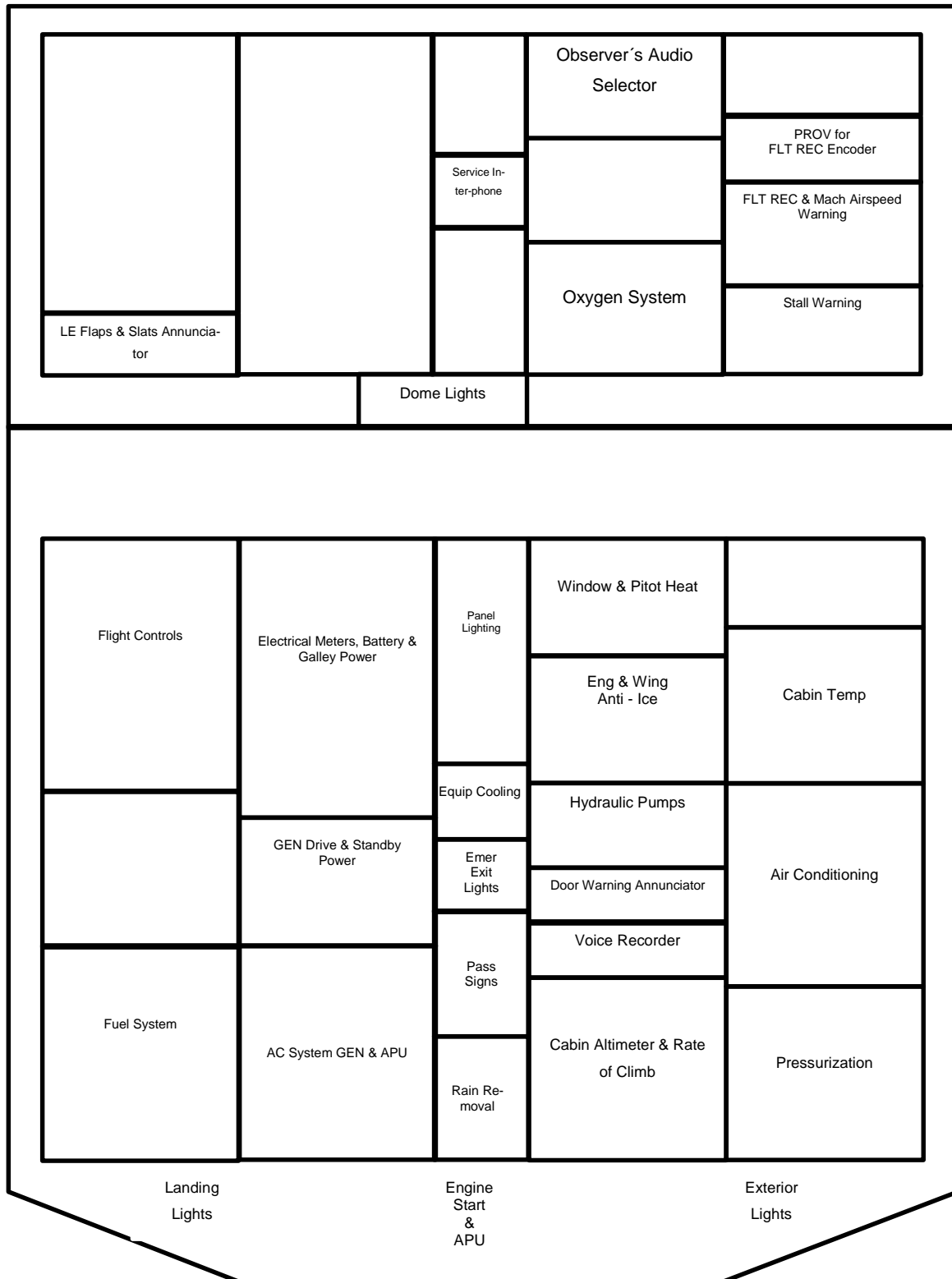


Abbildung 23: Overheadpanel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8)

Das Overheadpanel ist in zwei Gruppen aufgeteilt, die vordere und die hintere. Die beiden Gruppen bestanden bei der Boeing 737-130 aus jeweils fünf Kolonnen, die nach System logisch sortiert waren. Das Design war so aufgeteilt, dass die Systeme

---

nach der Häufigkeit der notwendigen Bedienung unterteilt wurden. Zum Beispiel befanden sich die Bedienelemente der Hilfsturbine und Positionslichter, die nahezu vor jedem Anlassvorgang der Triebwerke Verwendung finden, ganz vorne. Die Bedienelemente für die Kommunikation mit dem dritten Platz auf dem Flight Deck, dem Observer, waren ganz hinten platziert, da ein drittes Besatzungsmitglied auf den standardmäßigen Linienflügen nur sehr selten vorhanden war.

### *Ein neues ADF für bessere Handhabung*

Im November 1966 bot Boeing auf Wunsch der Lufthansa den Einbau des Marconi AD-370 ADF Systems für die Boeing 737-130 an. Die Lufthansa hatte sich im Vorfeld Konzepte über die Anwendung dieses Navigationssystems erarbeitet. Im Gegensatz zu den bereits im Einsatz der Lufthansa befindlichen Boeing 727 und 707 sollte die neue Boeing 737 auf dem Kurzstreckennetz eingesetzt werden. Die Boeing 727 und 707 waren jeweils mit einem Bendix DFA-73 ADF System ausgerüstet. Bei diesem System musste die Betriebsfrequenz manuell über ein Potentiometer eingestellt werden. Gleichzeitig musste die Stationskennung abgehört und so die Station identifiziert werden. Das Marconi System hingegen verfügte bereits über quarzstabilisierte Empfangskreise, wodurch sich die Bedienzeit erheblich reduzierte. Auf Kurzstreckenflügen erfolgen Änderungen der Betriebsfrequenzen wesentlich häufiger als bei Langstreckenflügen. Somit war die Erleichterung der Frequenzwahl durch feste quarzstabilisierte Empfangskreise, wie sie bereits bei den VOR und ILS Frequenzen Verwendung fanden, für die Piloten eine große Entlastung, die auch der Flugsicherheit zu gute kam.<sup>565</sup>

Ein weiterer Vorteil des Marconi Systems war, dass der bis dato aus mechanischen Bauelementen aufgebaute Frequenzwahlmechanismus entfallen konnte. Wegen dieser Eigenschaft gab der Hersteller eine mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen von 3.000 Stunden (MTBF)<sup>566</sup> an. Die für das Bendix DFA-73 System ermittelte Betriebszeit, die auf den bereits von Lufthansa gesammelten Erfahrungen basierte, lag bei circa 1.000 Stunden (MTBF). Da Lufthansa noch keine Erfahrungen mit dem neuen

---

<sup>565</sup> Vgl. Lufthansa HAM IF 3, 1966, Stellungnahme zur Master Change 3901 „Einbau von Marconi ADF System AD-370 in Boeing 737-130“; vgl. The Boeing Company, 1966, Master Change Proposal 3901.

<sup>566</sup> MTBF – Mean Time Between Failure.

---

Marconi ADF System sammeln konnte und Aussagen eines Herstellers ohne entsprechende Erfahrungswerte immer kritisch betrachtet wurden, wurde ein entsprechender Garantievertrag erstellt. Bei Nichterfüllung der zugesagten Zuverlässigkeit sollte der Hersteller unter anderem zusätzliche Reservegeräte zur Abdeckung des erhöhten Ersatzteilbedarfs bereitstellen.<sup>567</sup>

Eine hohe aber auch präzise Angabe der MTBF ist für die Lufthansa für den Liniendienst besonders wichtig. Erstens reduziert eine hohe MTBF die Instandhaltungskosten und zweitens sind durch eine präzise MTBF Angaben präventive Instandhaltungsarbeiten leichter planbar. Ein weiteres Beispiel dafür, dass die Lufthansa stets großen Wert auf hohe MTBF legte, war der Einbau eines neuen Engine Pressure Ratio Transmitters in die Boeing 737. Dieser neue EPR-Transmitter zeichnete sich dadurch aus, dass anstelle von Röhren ausschließlich Transistoren verbaut wurden. Durch diese Modernisierung wurde der Elektronikanteil auf ein Drittel reduziert. Die MTBF erhöhte sich von 2.000 Stunden auf 4.000 bis 5.000 Stunden, was zweifellos den verwendeten Transistoren zu verdanken war.<sup>568</sup>

### *Master Caution*

Ein Jet wie die Boeing 737 ist aufgrund seiner Größe und der in Proportion stehenden Anzahl der Systeme ein komplexes Flugzeug. Die Schnittstelle aller Systeme, die für die Flugführung und den Flugzeugstatus relevant sind, wird vom Flight Deck aus überwacht. Da die Flugbesatzung auf dem Flight Deck nur aus zwei Piloten besteht, sind neben der Flugdurchführung auch sämtliche Überwachungsaufgaben in der Obhut der beiden Piloten. Die Instrumentierung des Flight Decks ist in verschiedenen Gruppen aufgeteilt. Vor den Piloten befinden sich die primären Fluginstrumente in der Basic-T-Anordnung, in der Mitte des Panels die Triebwerksinstrumente sowie, direkt unter dem Glare Shield, die Bedienelemente für den Autopiloten. In der Mittelkonsole sind die Bedienelemente für die Funk- und Navigationsausrüstung sowie die Triebwerksleistungshebel angebracht. Weitere Bedienelemente und Anzeigen befinden sich an den

---

<sup>567</sup> Vgl. Lufthansa HAM IF 3, 1966, Stellungnahme zur Master Change 3901 „Einbau von Marconi ADF System AD-370 in Boeing 737-130“.

<sup>568</sup> Vgl. Lufthansa IE 1, 1966, Stellungnahme zur Master Change 3525; vgl. The Boeing Company, 1966, Master Change Proposal 3525.

---

Außenseiten neben den Piloten, im hinteren Bereich der Mittelkonsole und über ihren Köpfen auf dem Overheadpanel. Zu den zu bedienenden Systemen zählen unter anderem das Kraftstoff- und das Hydrauliksystem, die elektrischen Systeme, die Klimaanlage, das interne Kommunikationssystem, das Hilfstriebwerk und sämtliche Notsysteme. Damit die Piloten eine schnelle Alarmierung bei einer Systemstörung erhalten, installierten die Ingenieure bei Boeing eine zentrale Anzeige, die „Master Caution“-Anzeige auf dem Flight Deck.

Lufthansa machte Boeing die Vorgabe, jeweils eine Master Caution Anzeige zentral vor den Piloten anzubringen. Dadurch lag die Anzeige direkt im Blickfeld der Piloten. Die Master Caution-Anzeige musste die Option enthalten, diese durch Tastendruck zurückzusetzen, um den Schaltkreis für eine eventuelle erneute Warnung wieder zu aktivieren.<sup>569</sup> Neben der Master Caution-Anzeige befand sich eine weitere Anzeige bestehend aus 6 Leuchten. Diese bildete das Overheadpanel ab. Je nachdem welches System auf dem Overheadpanel die Master Caution ausgelöste, leuchtete auch die entsprechende Anzeige neben der Master Caution auf. Somit wussten die Piloten unmittelbar, wo die Ursache für die Warnmeldung zu finden war. Diese Annunciator Panels wurden von den Piloten auch als Six Pack bezeichnet.<sup>570</sup>

Der Grund für ein Zurücksetzen der Master Caution-Anzeige ist darin zu sehen, dass die Piloten bei Aufleuchten zunächst das betroffene System identifizieren mussten. Nach der Identifizierung galt es die entsprechenden Klarlisten abzarbeiten. Würde nach der Identifizierung die Master Caution-Anzeige nicht zurückgesetzt werden, bestand die Gefahr, weitere Störungen eventuell zu übersehen. Ein nicht vollständig gelöstes Problem war zudem, dass die Master Caution-Anzeige direkt bei der ersten Störung aufleuchtete. Es war aber durchaus möglich, dass mehrere Fehler gleichzeitig oder schnell hintereinander auftraten. Daher mussten die Piloten nach Aufleuchten der Master Caution-Anzeige alle Systeme überprüfen. Besonders in kritischen Flugphasen, wie zum Beispiel Start und Landung, erforderte der Umgang mit Störungsmeldungen eine besonders große Konzentration und Disziplin. Da die Piloten auf sich alleine gestellt waren, mussten sie über weitaus größere Systemkenntnisse verfügen als bei Flugzeugen, bei denen die Flugbesatzung auch einen Flugingenieur beinhaltete.

---

<sup>569</sup> Vgl. The Boeing Company, 1966, Change Order 6.

<sup>570</sup> Interviews mit Kennerknecht, 2012, und Steffen, 2012.

---

Lufthansa hatte auch beschlossen, die Farbe der Master Caution-Anzeige von rot auf bernsteinfarben (Amber) zu ändern. Der Grund dafür war, dass das Aufleuchten der Master Caution nicht unmittelbar eine Aktion der Piloten verlangte. Damit wurde die Charakteristik der Anzeige von einem „Alarmsignal“ in ein „Vorsichtssignal“ herabgestuft.<sup>571</sup> Der Sinn der Anzeige war zunächst auf eine Störung aufmerksam zu machen. Auch bei Störungen ist es jedoch die primäre Aufgabe der Piloten, zunächst das Flugzeug zu fliegen bzw. zu kontrollieren. Das Bearbeiten von Störungen ist im Vergleich dazu von sekundärer Bedeutung.

## Der Einsatz im Linienflugdienst

Die Boeing 737-130 wurde bei der Lufthansa grundsätzlich nur auf Kurzstrecken eingesetzt. Dazu zählten Ziele innerhalb Deutschlands sowie im angrenzenden Ausland. Zu den längsten Strecken zählten zum Beispiel Frankfurt – Rom, Frankfurt – Stockholm und Frankfurt – Kopenhagen. Als die Boeing 737-130 bei der Lufthansa in Dienst gestellt wurde, war auch die Boeing 727 noch im Einsatz. Diese flog dann die Mittelstrecken, da die 737 aufgrund ihrer Flugleistungen in der Reichweite sehr beschränkt war. Die zukünftigen Ausführungen der Boeing 737 wie die -200, -300 und -400 flogen dann auch die klassischen Mittelstrecken, die zuvor von anderen Flugzeugmustern bedient worden waren. Dazu gehörten auch Ziele im gesamten Mittelmeerraum wie zum Beispiel Kairo, Assuan sowie die kanarischen Inseln.<sup>572</sup>

Die Flugbesatzungen empfanden das Flight Deck als „ganz normal“. Für die Copiloten war die Boeing 737 oft das Einstiegsmuster. Da auch die Flugzeiten durchschnittlich bei 1:00 Stunde, höchstens aber 1 Stunde und 50 Minuten lag, gab es von den Piloten aus ergonomischer Sicht keine Beanstandungen. Da die Instrumente und Bedienhebel alle in Reichweite der Piloten lagen, vermittelten sie ein Gefühl der Sicherheit und des Wohlfühlens. Im Vergleich zu anderen Flugzeugmustern, wie zum Beispiel die Boeing 707, vermissten die Piloten aber Instrumente für die Anzeige der Ground Speed und der Drift. Das Fehlen dieser Anzeigen hatte zur Folge, dass die Piloten sich intensiver

---

<sup>571</sup> Vgl. Haase, 1966, Anschreiben zur Change Order 6 von Boeing an Lufthansa; Interviews mit Kennerknecht, 2012, und Interview mit Steffen, 2012.

<sup>572</sup> Hierzu und im Folgenden Interviews mit Kennerknecht, 2012, und Steffen, 2012.

---

mit den Wetter- und Windkarten vor dem Flug auseinandersetzen und diese zum Teil auswendig kennen mussten.

Standardmäßig beinhaltete ein Einsatztag fünf Rotationen. Ein typischer Umlauf war zum Beispiel Frankfurt – München – Rom – München – Hannover. Ein solcher wurde von den Piloten als sehr anstrengend empfunden, da die Unternehmensleitung versuchte, so die Produktivität zu erhöhen und auch eine Reduzierung der Transitzeiten vornahm. Die Reduzierung der „Turn Around“-Zeit auf 20 Minuten war für die Besatzungen ein regelrechter Kraftakt, welcher auch unter den günstigsten Bedingungen kaum zu bewältigen war. Eine Überschreitung der Transitzeit bedeutete für die Piloten, dass sie ständig unter Zeitdruck standen.

Am Beispiel der fehlenden Anzeigen für die wahre Geschwindigkeit über Grund sowie der Drift zusammen mit der Verkürzung der Transitzeiten und der daraus resultierenden höheren Arbeits- und Stressbelastung der Piloten lässt sich schon ein Verbesserungspotential für die nachfolgenden Serien der Boeing 737 erkennen.

Die primären Navigationsmittel waren VOR-Anlagen. Diese waren an den meisten angeflogenen Flughäfen installiert. Aber auch das ADF wurde noch häufig zur Streckennavigation verwendet. Viele Verkehrsflughäfen verfügten damals nicht über ein ILS für jede Landebahn beziehungsweise Landerichtung. Diese existierten häufig nur für die Hauptlanderichtung. Daher wurde häufig ein Back Beam-Approach geflogen. Alternativ standen NDB-Anflüge zur Verfügung, die auch entsprechend durchgeführt wurden.



---

## Lufthansa und Boeing – Lead User und der Innovator

Die Boeing 737 war in vieler Hinsicht eine radikale Innovation, die in der Entwicklung der Luftfahrttechnik einen qualitativen Sprung markiert. Die Lufthansa nahm großen Einfluss auf die Entwicklung des Flugzeugs. Von Hippel stellte in verschiedenen Studien fest, dass viele Innovationen von Nutzern induziert wurden und steht damit im Einklang mit zahlreichen technikhistorischen und -soziologischen Studien, die die Ko-Konstruktion von Technik an der Schnittlinie zwischen Produktion und Konsum betonen.<sup>573</sup> Auch bei der Entwicklung der Boeing 737 lässt sich die Ko-Konstruktion von Technik im engen Zusammenspiel von Produzent und Nutzer nachweisen. Zu betonen ist dabei der iterative Charakter dieses Innovationsprozesses, bei dem Boeing als Produzent und Lufthansa als Nutzer ihre Technikvorstellungen und Nutzerkonzepte immer wieder von neuem aufeinander abstimmten. Lufthansa spezifizierte die Boeing 737 im Bezug auf Kapazität und Leistungsfähigkeit. Allerdings standen der Lufthansa nicht die Möglichkeiten zur Verfügung, ein Flugzeug wie die Boeing 737 selbst zu entwickeln oder gar einen Prototypen zu bauen.<sup>574</sup> Die konkrete Umsetzung der technischen Innovationen und Lösungen wurde Boeing überlassen. Jedoch wirkte die Lufthansa aktiv auf die Systeme ein, die direkte Auswirkungen auf den Betrieb des Produktes, wie zum Beispiel das Flight Deck, hatten. Ähnliche Zusammenhänge hat von Hippel für die Halbleiterindustrie nachgewiesen, bei der über 60% der kleineren oder größeren Produktänderungen aufgrund von Kundenwünschen durchgesetzt wurden.<sup>575</sup>

Der Nationalökonom Joseph Schumpeter argumentiert, dass erfolgreiche Innovatoren ein temporäres Monopol über die Entwicklung erhalten. Diese Kontrollmöglichkeit wiederum ist ein Hebel, der es dem Innovator ermöglicht, seine Marktposition auszubauen.<sup>576</sup> Dies gilt auch für Boeing als Hersteller der Boeing 737. Die Maschine sollte

---

<sup>573</sup> Vgl. von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 11-14; vgl. Oldenziel & Hård, *Consumers, tinkerers, rebels*, 2013, S. 235-238.

<sup>574</sup> Vgl. von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 19 „The User’s Role in Innovation Diffusion“.

<sup>575</sup> Siehe dazu auch von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 22-23, „The Sources of Innovation“.

<sup>576</sup> Vgl. Schumpeter, *Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie*, 1950, S. 161-163; vgl. von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 43-44.

---

eines der erfolgreichsten Flugzeugmuster werden, das im weltweiten Luftverkehr eingesetzt wurde. Aber auch die Lufthansa konnte ihre Marktposition als Folge ihrer Rolle als Lead User der Boeing 737 verbessern. Durch die genaue Spezifizierung und deren Umsetzung durch Boeing passte sich das Flugzeugmuster der strategischen Planung des Unternehmens hervorragend an.

Betrachtet man das Flugzeug als Ganzes ist die Hypothese eines engen Wechselspiels von Boeing als Produzent und Lufthansa als Lead User zu beiderseitigem Vorteil schlüssig. Betrachtet man das Flight Deck als Teilsystem des komplexen Systems Flugzeug stellt sich heraus, dass ein innovatives Flight Deck die Effizienz der Flugbesatzung erhöht. Die Reduzierung der Flugbesatzung durch automatisierte Systeme erhöht die Rentabilität bei gleichzeitiger Erhöhung des Sicherheitsniveaus.<sup>577</sup> Die direkten operationellen Kosten (DOC)<sup>578</sup> werden durch die Reduzierung der Besatzung auf zwei Piloten<sup>579</sup> merklich reduziert.<sup>580</sup> Aber auch moderne Systeme, die den Bedienungsaufwand verringern, reduzieren die Kosten. Dabei sind zwei prägnante Beispiele zu nennen. Zum einen verringert sich der Ausbildungsaufwand, was die Initial- und Wiederholungsschulung betrifft, und zum anderen erfolgt eine Sicherheitserhöhung durch Minimierung des Fehlbedienungsrisikos. Eine Fehlbedienung von bestimmten Systemen kann unterschiedliche Folgen nach sich ziehen, denn es ist ein Spektrum von erhöhtem Verschleiß bis zum Totalverlust zu betrachten.

Hippel geht von zwei Voraussetzungen aus, die zwingend gegeben sein müssen, um eine Innovator-Lead User-Konstellation zu verifizieren. Erstens muss es für den Innovator schwierig beziehungsweise kostenintensiv sein, eine funktionale Beziehung zu seinen Innovationen herzustellen. Für Boeing ist diese Voraussetzung als erfüllt anzusehen, da Boeing seine produzierten Flugzeuge nicht kommerziell betreibt. Die Nutzung der Innovation Boeing 737 obliegt nicht dem Entwickler und Hersteller, sondern

---

<sup>577</sup> Die Erhöhung des Sicherheitsniveaus ergibt sich aus der Verminderung menschlicher Einflüsse (Fehler). Siehe dazu Liebing, Flugsicherheit, 1968, Hurst & Hurst, Flugunfälle, 1987, Illman, Communications, 2001, Wiener & Curry, Automation im Cockpit, 1987, Vidulich, Wickens, Flach, & Tsang, Information Processing in Aviation, 2010, etc.

<sup>578</sup> DOC – Direct Operational Cost.

<sup>579</sup> Flugbegleiter werden an dieser Stelle nicht betrachtet.

<sup>580</sup> Zu Direct Operation Costs siehe z.B. Holloway, Straight and Level: Practical Airline Economics 2003, S. 469ff. sowie Schuivens, Development of a model for the estimation of the DOC's for turboprop aircraft, 2007, S. 19ff.

---

den Fluggesellschaften als Kunden.<sup>581</sup> Zweitens muss der Innovator nur ein geringes Interesse daran haben, Gewinne durch den Verkauf des innovativen „Know How“ in Form von Lizenzrechten zu erzielen. Boeing hätte durch den Verkauf an Lizenzrechten für den Bau der Boeing 737 seine eigenen Marktanteile verkauft. Diese Strategie hätte wirtschaftlich keinen Sinn ergeben, womit auch die zweite Bedingung erfüllt ist.

Die Rolle von Boeing als Innovator der Boeing 737 ist zweifelsfrei. Aber erfüllte die Lufthansa ebenso eindeutig die Rolle des Lead Users? Hippel definiert den Lead User für ein verbessertes Produkt, einen Prozess oder eine Dienstleistung als denjenigen, der folgende Charakteristika abbildet:

- „ 1. *Lead users face needs that will be general in a marketplace, but they face them months or years before the bulk of that marketplace encounters them, and*
2. *Lead users are positioned to benefit significantly by obtaining a solution to those needs.*“<sup>582</sup>

Beide Charakteristika treffen auf die Lufthansa im Kontext der Entwicklung und Markteinführung der Boeing 737 zu. Nach den anfänglichen Hürden, die in Deutschland nach dem Zweiten Weltkrieg bewältigt werden mussten, um den kommerziellen Luftverkehr in Deutschland wieder zu ermöglichen, entwickelte sich die Lufthansa nach ihrer Neugründung Anfang der 1950er Jahre zu einem Global Player des zivilen Luftverkehrs. Die Flugzeugbeschaffung stand im Kontext zur Streckenplanung und gehörte zu den wichtigsten strategischen Entscheidungen des Unternehmens. Die Wahl des Flugzeugmusters war einer der wichtigsten Wettbewerbsfaktoren des Luftverkehrs. Sie beeinflusste nicht nur die Kosten des Unternehmens, sondern auch die Attraktivität des Produktangebots.<sup>583</sup>

Die Zukunftsprognosen, die die Lufthansa mit ihrer maßgeblichen Rolle bei der Entwicklung und Markteinführung der Boeing 747 verband, trafen in hohem Maße zu. Das Produkt Boeing 737 war nicht nur ein Pionier seiner Flugzeugklasse. Das innovativ

---

<sup>581</sup> Vgl. von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 44.

<sup>582</sup> Von Hippel, *The Sources of Innovation*, 1988, S. 107; siehe dazu auch von Hippel, *Lead Users: An Important Source of Novel Product Concepts*, 1986, S. 791-805 sowie von Hippel & Urban, *Lead User Analyses for the Development of New Industrial Products*, 1988, S. 569-582 und von Hippel, Franke & Schreier, *Finding commercially attractive user innovations: A test of lead user theory*, 2006, S. 301-315.

<sup>583</sup> Vgl. Reul, *Gründung der Deutschen Lufthansa*, 1995, S. 58-64, 123-124.

---

Konzept seiner Bauform setzte sich für Flugzeuge mit Jettriebwerken weithin durch. Zudem steckte in der Grundkonzeption der Boeing 737 noch soviel Potential, dass das Flugzeug stetig weiterentwickelt und schließlich gar zum meist produzierten Verkehrsflugzeug der Welt wurde.

---

# Fazit

## Vom Cockpit zu Flight Deck

Der Weg vom Cockpit zum Flight Deck ist integraler Bestandteil der Evolution des Flugverkehrs. Das Cockpit war zunächst der festgelegte Aufenthaltsort des Flugzeugführers. Von diesem Ort aus steuerte er das Flugzeug auf einer Flugbahn, die er selbst festgelegt hatte. Dabei musste er Hindernissen ausweichen und das Wetter im Blick haben. Gleichzeitig musste er Parameter wie Steig- und Sinkgeschwindigkeit, Fahrt und Flughöhe berücksichtigen. Die Überwachung, Steuerung und eventuelle Korrektur der Flugbahn mussten zum großen Teil simultan ausgeführt werden. Letztendlich bestand aber seine primäre Aufgabe darin, das Flugzeug zu einem vorbestimmten Flugplatz zu fliegen und dort sicher zu landen.

Entwarf zunächst jeder Erfinder sein eigenes System der Steuerung, wurden mit der Massenausbildung von Piloten vor und während des Ersten Weltkriegs erste Standards geschaffen. Neben einer Standardisierung von Anzeigen und Anordnungen spielten aber die Realisierung einfach zu kontrollierende flugmechanische Eigenschaften wie die Längsstabilität eine entscheidende Rolle. Um die Flugeigenschaften entsprechend steuern zu können, mussten aber auch die aerodynamischen und flugmechanischen Eigenschaften der Flugzeuge ermittelt werden. So wurde zum Beispiel die ausschlaggebende Wirkung der Rollsteuerung durch die Querruder erst nach einigen Jahren des Ausprobierens entwickelt. Zudem konnten die Tragflächen der Flugzeuge mit beweglichen Querrudern stabiler gebaut werden, da sie nicht mehr durch Muskelaufwand des Piloten verwunden werden mussten.

Während des Ersten Weltkriegs kam es unter dem Bewährungsdruck der militärischen Nutzung im Bereich des Cockpits zu ersten Standardisierungen. Eine einheitliche Anordnung der Instrumente sowie einheitliche Verfahren erleichterten die Ausbildung und erhöhten die Betriebssicherheit. Aus dem Sportgerät Flugzeug wurde ein Kriegsgerät. Das wichtigste Instrument für die Piloten war dabei aber immer noch ihr Gefühl und die Sicht nach außen. Durch die offenen Cockpits war eine freie Rundumsicht nicht

---

nur für die Kontrolle der Fluglage, sondern auch für die Navigation von elementarer Bedeutung. Die Flughöhen mussten so gewählt werden, dass der Pilot sich anhand der Geländemerkmale orientieren konnte. Im Fall der im Krieg eingesetzten Flugzeuge war es aber von Vorteil, die Flughöhe so zu bemessen, dass sich das Flugzeug außerhalb der Geschützreichweiten bewegte. Ein Flug über eine geschlossene Wolkendecke bot daher die Gefahr eines Orientierungsverlustes, da geografische Merkmale wie Flüsse, Berge aber auch Eisenbahnlinien als Orientierungspunkte dienten.

Die erste Phase des Betrachtungszeitraums lässt sich als Testphase für die unterschiedlichen Bauarten und Bedienweisen der Flugzeuge und deren Steuerung markieren. Der Erste Weltkrieg bedeutete dabei eine Zäsur, da für die Massenproduktion von Flugzeugen sowie die Ausbildung der Flugzeugführer zumindest auf nationaler Ebene Standards geschaffen werden mussten. Diese Standards umfassten nicht nur die Anzeigen im Cockpit und die Steuerung, sondern auch Regularien für den Luftverkehr.

In den Zwischenkriegsjahren transformierte das Flugzeug erstmals zum kommerziellen Transportmittel, angefangen durch die kommerzielle Karriere im Posttransport. Die Postflieger wurden erstmals ökonomischen Parametern wie Tariffhöhe und Pünktlichkeit ausgesetzt. Auch mussten sie größere Strecken überwinden und lernten somit, das Wetter besser einzuschätzen. Parallel dazu wurden bodenseitig entsprechende Infrastrukturen geschaffen und durch Leuchtfeuer Nachtflugstrecken erschlossen. Kompass und Karten wurden an die Bedürfnisse der Luftfahrt adaptiert, sodass Koppelnavigationsverfahren angewendet werden konnten. Dennoch blieb das überflogene Gelände lange Zeit die wichtigste Orientierungshilfe.

Nicht nur die Flugzeuge wurden größer, sondern auch die Nutzlast wurde erhöht, wie insbesondere auch die Entwicklung der Flugboote zeigt, die in der Zwischenkriegszeit ein tragender Pfeiler der Verkehrsluftfahrt waren. Ein wesentlicher Faktor für den dynamischen Wandel der Luftfahrt waren die Verbesserungen in der Triebwerkstechnik, durch die sich die Flugleistungen stark erweiterten. Aber auch bessere Materialien und Fertigungstechniken beeinflussten die Flugleistungen in erheblichem Maße.

Das Cockpit wurde zu einem geschlossenen Raum, der sich mit zunehmender Dimension des Fluggerätes vergrößerte und zusätzliche Besatzungsmitglieder beherbergte. Die Erweiterung der Besatzung über den Piloten hinaus resultierte insbesondere auch

---

aus der zunehmenden Komplexität und Steigerung der Anzahl von Triebwerken. Denn die Zunahme der Systeme erforderte auch eine Vergrößerung der Flugbesatzung.

Neben den Piloten, deren primäre Aufgabe weiterhin darin bestand, das Flugzeug zu steuern und den geplanten Flugweg einzuhalten, sorgte der Funker für die externe Kommunikation, der Navigator für den korrekten Flugweg und die genaue Position und der Flugingenieur für die Bedienung der Triebwerke und der Sekundärsysteme. Gleichzeitig wurde auch die Bodeninfrastruktur ausgebaut und erweitert, sodass neben der Streckennavigation auch Anflüge und Landungen mit Hilfe der Instrumente ermöglicht wurden. Zugleich entwickelte sich die Kommunikation per Funkgerät und setzte sich als Standard für Verkehrsflugzeuge durch. Dies waren weitere Schritte zur Durchführung eines strukturierten Luftverkehrs, der dank verbesserter Aerodynamik und Triebwerkstechnik auch den Passagiertransport über längere Strecken ermöglichte.

Eine zentrale Aufgabe für die Entwickler und Piloten war das Erreichen der Wetterunabhängigkeit. Dies erforderte von den Herstellern die Konstruktion sehr präziser Instrumente und Anzeigen und von den Piloten eine Umorientierung auf das Fliegen nach Instrumenten. Waren die Crews bis dahin auf die Sicht nach draußen und ihr Gefühl angewiesen, mussten diese Parameter der sachlichen und korrekten Interpretation von Instrumentenanzeigen für die Fluglage und Navigation weichen. Jedoch führte dies zu Diskussionen zwischen den Piloten und den Flugzeugherstellern, da die Mehrzahl der Piloten das offene Cockpit als essenziell betrachtete und nicht auf die Verwendung ihrer Sinnesorgane bei der Flugführung verzichten wollte.

Die Diskussionen zwischen den Piloten und den Flugzeugherstellern über ein „offenes“ oder „geschlossenes“ Cockpit liefen in den 1930er Jahren aus. Zum einen konnten geschlossene Cockpits aerodynamisch viel günstiger ausgelegt werden, und zum anderen war es einfacher, im geschlossenen Cockpit eine angenehm warme und leisere Atmosphäre zu schaffen. Auch die Kommunikation innerhalb der Besatzung war in einem geschlossenen Cockpit einfacher, da Handzeichen durch verbale Kommunikation ersetzt werden konnten. Dennoch, durch den Wegfall der offenen Cockpits musste das „subjektive“, auf den Gefühlen um dem impliziten Wissen der Piloten basierende Fliegen mit visuellem Kontakt zum Boden und Horizont, durch objektive, weil messbare Parameter, ersetzt werden. Dies war für die meisten Piloten eine enorm

---

schwierige Umstellung, für die Stabilität des technischen Systems Luftverkehr jedoch einer der wichtigsten Schritte.

Durch die Einführung des Instrumentenflugs und den Anstieg der Flughöhen wurde für den Piloten die Erdsicht nicht mehr unverzichtbar. Die Fluglage wurde nun anhand von Kreiselinstrumenten eingestellt. Die Navigation erfolgte über Funkpeilung beziehungsweise Funknavigationsinstrumente, die auf Standlinien- oder Hyperbelnavigationssysteme beruhten. Alle notwendigen Anzeigen und Instrumente wurden innerhalb des Cockpits platziert, und die permanente Sicht nach Außen war für den Streckenflug nicht mehr erforderlich.

Beim Flug nach Instrumenten waren Kreiselinstrumente für die Fluglagebestimmung unerlässlich. Doolittle hatte bewiesen, dass es möglich war, mit Wendezeiger, Fahrtmesser, Höhenmesser, Variometer, Kompass und einer Funknavigationsanzeige (Standlinienanzeige) die Fluglage zu kontrollieren und ohne Sicht nach Außen zu starten und zu landen. Diese rudimentäre Ausstattung erforderte aber von den Piloten ein sehr gutes räumliches Vorstellungsvermögen, da alle Anzeigenparameter im Geiste kombiniert werden mussten. Die Einführung des künstlichen Horizonts und des Kurskreisels brachten weitere Erleichterungen.

Während des Zweiten Weltkriegs kam es zu vielen Innovationen und Verbesserungen der Flugtechnik. Sie basierten einerseits auf einer bereits seit den 1920er Jahren intensivierten Luftfahrtforschung, deren Ergebnisse nun militärisch genutzt wurden, und andererseits auf den technologischen Impulsen, die aus der Fließfertigung und Massenproduktion resultierten. Die neugewonnenen Erfahrungen in der Fertigung sowie in der Ausbildung von Piloten wurden in der Nachkriegszeit in die zivile Luftfahrt übernommen. Besonders zu erwähnen ist hierbei das Strahltriebwerk, dessen Weiterentwicklungen noch heute die Verkehrsflugzeuge antreiben.

Während des Zweiten Weltkriegs existierten unterschiedliche nationale Stile in der Anordnung von Instrumenten und Steuerungen innerhalb des Cockpits. In der Nachkriegsära nivellierten sich diese Unterschiede. Die wichtigsten Harmonisierungen im Cockpit basierten auf US-amerikanische Entwicklungen. Die Vereinigten Staaten verfügten nach dem Krieg über eine intakte und durch die Aufrüstung erweiterte Infrastruktur. In Europa hingegen musste der Luftverkehr, einmal abgesehen von Großbritannien, erst wieder neu entwickelt werden. In Deutschland galten zudem die alliierten



---

Restriktionen, die den Wiederaufbau der Luftfahrtindustrie um ein volles Jahrzehnt verzögerten. Derweil entwickelten sich die Vereinigten Staaten zu einem weltweiten Exporteur für Verkehrsflugzeuge. Firmen wie Boeing, Lockheed und Douglas bauten die weltweit meistverbreiteten Verkehrsflugzeuge. Die Vormachtstellung der US-Luftfahrt untermauerten die Bauvorschriften der FAA, die von den europäischen Flugzeughersteller übernommen werden mussten, um ihre Produkte in den großen Flugzeugmarkt der USA exportieren zu können.

Die wichtigste Harmonisierung im Bereich der Instrumentenanordnung der Nachkriegszeit ist die Basic-T-Anordnung der primären Fluginstrumente, die weltweit zum Standard wurde. Die von der US Luftwaffe entwickelte Basic-T-Anordnung fand auch in der zivilen Luftfahrt eine hohe Akzeptanz. Grund dafür war die gruppierte, dadurch sehr übersichtliche, Darstellung von Fluglage und Navigationsanzeigen. Die Interpretation dieser kompakten Anzeigen lässt sich leicht erlernen und findet heute nahezu in allen motorisierten Flugzeugen, unabhängig ob zivil oder militärisch, Verwendung. Ferner hatte sich die Logik dieser Anordnung von Fluglage- und Navigationsanzeigen bewährt. Das Scannen der Anzeigen durch den Piloten wurde durch diese kompakte Anordnung der Instrumente sehr erleichtert, was sich insbesondere für den Instrumentenflug als sehr wichtig erwies. Gestärkt wurde die Basic-T-Anordnung zudem noch durch die Integration und Kombination weiterer Anzeigen. Dazu gehörten der Flight Director, der den künstlichen Horizont unter anderem mit Richtungskommandoanzeigen erweiterte, sowie der Horizontal Situation Indicator, der den Kurskreislauf um Navigationsanzeigen und Gleitweganzeige ergänzte.

Nachdem die technischen Herausforderungen in der Gestaltung des zum Flight Deck mutierten Cockpits weitestgehend gelöst worden waren, lag der Fokus in der dritten Phase des Betrachtungszeitraums auf der menschlichen Leistungsfähigkeit und auf dem Verhalten der Piloten. Nun setzte sich die Betrachtung des Flight Decks als ein sozio-technisches System durch. Unter Berücksichtigung der „Human Factors“ wurden die Flight Decks so weiterentwickelt, dass es den Besatzungsmitgliedern leichter gemacht wurde, das Flugzeug zu steuern und die Vielzahl der installierten Systeme zu überwachen. Auch die Zusammenarbeit der Besatzungsmitglieder untereinander stand im Zentrum dieses Prozesses.

---

Die Anzahl der Piloten und Besatzungsmitglieder unterlag im Betrachtungszeitraum dieser Arbeit einer starken Fluktuation. Waren die ersten Piloten wie etwa die Postflieger noch fliegerische Einzelakteure, wuchs die Anzahl der Besatzungsmitglieder stetig in Verbindung mit der Flugzeuggröße. Mit Zunahme der Automatisierung von Systemen, die autonom Systeme regeln konnten, verringerte sich die Anzahl der Besatzungsmitglieder auf dem Flight Deck dann wieder. Dies ist dadurch zu erklären, dass die fortschreitende Technisierung die Piloten so entlastete, dass sie nur noch im Störfall eingreifen mussten. Auch wurden durch die Automation die Anzahl der Anzeigen, Schalter und Hebel stark verringert, sodass eine Bedienung aller Systeme, auch bei Störungen, von zwei Pilotensitzen aus möglich wurde.

Die Reduzierung der Flugbesatzung auf zwei Piloten verringerte die direkten Betriebskosten für das Luftfahrtunternehmen in erheblichem Umfang. Es mussten ausschließlich nur noch Piloten ausgebildet werden. Die separate Ausbildung von Flugingenieuren, Funkern und Navigatoren entfiel. Auch verringerten sich wieder die Anforderungen an den Kommandanten, da er nicht mehr einem mehrköpfigen Team vorstehen musste, sondern lediglich mit dem zweiten Piloten zusammenarbeiten musste der direkt neben ihm saß. Diese Sitzanordnung vereinfachte die Kooperation enorm, da jeder Pilot die Handlungen des anderen mitverfolgen konnte.

Parallel zu der rasanten Globalisierung des Luftverkehrs kam es auch zur Gründung von transnationalen Organisationen, Institutionen und Behörden. Der Luftverkehr kann als Treiber nicht nur der ökonomischen, sondern auch der politisch-administrativen Globalisierung gelten, wobei sich die Regulierungs- und Governancestrukturen sowohl national als auch international rasch ausdifferenzierten. Ziel dieser Organisationen und Behörden, zuvorderst der ICAO und der IATA ist es, die Luftfahrt sicher zu gestalten. Ihr wichtigstes Werkzeug sind hierbei Standardisierungen im Rahmen der Flugzeugtechnik, der Kommunikation und der Betriebsverfahren. So zum Beispiel legt der ICAO Annex 5 die in der internationalen Luftfahrt zu verwendenden Maßeinheiten global verbindlich fest. Durch die einheitliche Verwendung von Größen für die Fluggeschwindigkeit, Höhe, Sicht und vertikale Geschwindigkeit wurden Fehlinterpretationen verringert und dadurch die Flugsicherheit erhöht.

Das Cockpit oder Flight Deck ist die Steuerzentrale des Flugzeugs, in der alle wichtigen Informationen über die Position, die Fluglage und den Status der einzelnen Systeme zusammengetragen werden. Eine Analogie zur Schifffahrt ist nicht zu übersehen.

---

Auch in der Luftfahrt übliche Bezeichnungen wie Kapitän oder Erster Offizier sind Begriffe, die aus dem maritimen Bereich übernommen wurden. Weitere Gemeinsamkeiten fallen auf. Beide Systeme, Flugzeug und Schiff, verwendeten ähnliche Navigationsverfahren und unterlagen einer Wetterabhängigkeit. Mit der Zunahme der Fahrzeuggröße wuchs in beiden Systemen die Anzahl der Besatzungsmitglieder mit speziellen Aufgabenfeldern an, was als eine weitere Analogie gewertet werden kann.

Ein Unternehmen, das zum Synonym für Verkehrsflugzeuge im Jetzeitalter wurde, war Boeing. Waren Flugzeugentwicklungen bis 1945 häufig von Vorgaben der Militärs geprägt, wurden die Flugzeuge für den zivilen Verkehr nach dem Zweiten Weltkrieg zunehmend auch von deren Betreibern ko-konstruiert. In den Zwischenkriegsjahren wurden die Flugzeugentwickler noch von eigens engagierten Testpiloten beraten. Diese verfügten oft über ein großes Erfahrungsspektrum und waren meist keine besonders kritischen Ratgeber. Während des Zweiten Weltkriegs, als das aktive Fliegen zehntausenden von Personen zugänglich gemacht werden musste, konnten auch kleine Fehler, Unzugänglichkeiten oder Komplexitäten fatale Folgen haben. Das war auch den zivilen Luftfahrtunternehmen bewusst, die die erste Generation von Piloten nach Kriegsende aus den Reihen der Militärpiloten rekrutierten. Die Entwicklung einer neuen Generation von Flugzeugen für den rasant expandierten Weltluftverkehr wurde zunehmend in Zusammenarbeit mit den Luftfahrtunternehmen unternommen. Die Fallstudie zur Entwicklung des Boeing 737-130 Flight Decks hat den Prozess der Ko-Konstruktion neuer technischer Konzepte und Lösungsmuster im engen Wechselspiel von Boeing als Innovator und Lufthansa als Lead User verdeutlicht.

Um als Luftfahrtunternehmen am Markt erfolgreich sein zu können, müssen zahlreiche Parameter beachtet werden. Neben einer entsprechenden Unternehmensstrategie und den erforderlichen finanziellen Ressourcen ist die Fähigkeit zur technischen Innovation ein tragender Faktor. Mit der Gestaltung und Ausstattung des Flight Decks der Boeing 737-130 demonstrierte die Lufthansa ihre hohe Kompetenz als Innovationsakteur. Das Flugzeug war für eine bestimmte Art des Betriebs vorgesehen und die Ausstattung sowie die Ausrüstung wurden für diesen geplanten Einsatz optimiert.

Die Boeing 737-130 gehörte zu den ersten Jets, die von nur zwei Piloten gesteuert wurden. Um das Flugzeug zu fliegen und alle Systeme zu überwachen, musste das Flugzeug über einen Autopiloten und ein Autothrottle-System verfügen, die den Piloten im Falle einer Störung entlasteten. Im Bereich der Überwachung war das mit der

---

Boeing 737 eingeführte Master-Caution-Panel eine richtungsweisende Innovation. Im Falle einer Störung wurden beide Piloten direkt durch eine optische Anzeige alarmiert. Auch im Falle von mehrfachen Störungen war ein entsprechendes Funktions- und Bedienkonzept vorhanden, welches die Piloten als enorme Arbeitserleichterung empfanden. Aber auch das Flight Deck selbst wurde von den Piloten als angenehm und ergonomisch bewertet.

Die Umsetzung dieser und anderer Innovationen basierte auf einer intensiven Kooperation zwischen dem Hersteller Boeing und dem Kunden Lufthansa, die sich in Anlehnung an Eric von Hippel und weitere Konzepte der jüngeren Technikforschung als Ko-Konstruktion von Technik werten lässt. Diese Zusammenarbeit war so erfolgreich, dass das fertige Produkt, die Boeing 737 und deren Weiterentwicklungen, bis heute das meistverkaufte Verkehrsflugzeug der Welt ist.

## Der Weg zur Automation

Eine der wichtigsten Untersuchungsebenen dieser Arbeit ist der Weg der Technisierung, die sich durch die zunehmende Automation von technischen Systemen ausdrückt. Die Entwicklung vom Cockpit zum Flight Deck ist dabei von zwei wesentlichen Merkmalen geprägt. Während die ersten Piloten und Erfinder die aerodynamischen Kräfte und Momente durch Flugversuche eher erspürten als systematisch erforschten und entsprechende Steuerungen entwickelten, gingen andere, wie zum Beispiel Elmar Sperry, auf der Basis technikwissenschaftlichen Ingenieurwissens zu partiellen Automatisierungen über. Zunächst konzentrierte sie sich auf die Flugzeugsteuerung. Wurde der Pilot während des Fluges von Steuerungsaufgaben wie das ständige Einhalten des Steuerkurses und der Flughöhe entlastet, konnte er sich vermehrt auf andere Aufgaben, wie das Navigieren, konzentrieren. Auch wenn die Steuerung des Flugzeugs, was die Korrektur von Richtung und Höhe im Streckenflug betrifft, nach einiger Übung in Fleisch und Blut überging, war sie dennoch eine latente Belastung, die andere Aufgaben einschränkte.

Durch den Bau immer größerer Flugzeuge wuchs die Komplexität des Cockpits an, ein Prozess, der durch die Entwicklung von Hochleistungstriebwerken verstärkt wurde. Diese mussten präzise eingestellt und gesteuert werden. Eine Drehzahlanzeige und

---

ein Leistungshebel reichten für eine manuelle Regelung längst nicht mehr aus. Auch gekoppelte Systeme wie das Kraftstoffsystem, das elektrische und hydraulische System, die Klimaanlage und die Druckkabine erhöhten das Anforderungsprofil an die Crew. Da es einem Flugzeug im Fluge, im Gegensatz zu anderen Mobilitätsmaschinen wie dem Automobil, nicht möglich ist, im Falle einer Störung an Ort und Stelle anzuhalten, mussten die Systeme und Anzeigen aus Sicherheitsgründen redundant gestaltet werden. Im Falle eines Fehlers in einem System mussten die Piloten dann gegebenenfalls feststellen, welches System fehlerhafte Daten liefert und dieses dann abschalten. Die Identifizierung des fehlerhaften Systems verlangte von den Piloten neben sehr guten Systemkenntnissen auch ein ausgeprägtes räumliches Vorstellungsvermögen über den aktuellen Flugverlauf.<sup>584</sup> Grundsätzlich war es aber möglich beim Ausfall eines Instruments die Information aus den anderen Anzeigen mit hinreichender Genauigkeit herzuleiten. Dadurch konnten wiederum fehlerhafte Anzeigen identifiziert werden was im Endergebnis die Flugsicherheit erhöhte.

Die Automatisierung dieser elektromechanischen Systeme war technisch sehr aufwändig und konnte effektiv erst mit Beginn des Jetzeitalters unter stärkerer Verwendung von elektronischen Systemen technisch umgesetzt werden. Dadurch konnte dann auch auf die Position des Flugingenieurs auf dem Flight Deck verzichtet werden.

Mit dem Anwachsen der Flugzeugreichweite mussten Kommunikations- und Navigationsgeräte verwendet werden. Auch diese wurden ständig verbessert. Im Gegensatz zu den automatischen Flugsteuerungen benötigten sie für die Funkkommunikation und Funknavigation eine entsprechende Infrastruktur am Boden. Durch die Kommunikation zum Boden, über Funk oder auch über die Funknavigationseinheiten, wurde die Flugbesatzung über Wetter, Flugweg und Verkehr informiert. Diese Informationen mussten zunächst ausgewertet und interpretiert werden. Durch die Automation und Vereinfachung in der Bedienung konnte dann auf den Funker und den Navigator als Besatzungsmitglieder verzichtet werden.

Flugverkehr kann nur sicher und reibungslos durchgeführt werden, wenn festgelegte Regularien und Verhaltensweisen von allen am Luftverkehr Beteiligten angewendet

---

<sup>584</sup> Als Beispiel für fehlerhafte Anzeigeninterpretationen seitens der Flugbesatzung können diverse Unfallberichte herangezogen werden. Zum Beispiel der Unfall „Birgenair Flug 301“ am 6. Februar 1996 von Puerto Plata über Gander und Berlin-Schönefeld nach Frankfurt am Main. Siehe Gutachten für die Staatsanwaltschaft Frankfurt am Main, Aktenzeichen 58 UJs 30369/96 vom Dezember 1998.

---

werden. Die Verkehrsregeln im Luftverkehr wurden für diese Mobilitätsform nicht eigens entwickelt. Es wurden bereits bewährte Regeln, wie zum Beispiel „rechts vor links“, aus anderen Verkehrssystemen übernommen. Lediglich für die „dritte Dimension“ musste Neues geschaffen werden. Diese Regularien wirkten sich auch auf das Cockpit und später auf das Flight Deck aus. So ist, um ein Beispiel zu nennen, der linke Pilotensitz auch heute noch weltweit für den Kommandanten vorgesehen. Aufgrund der multiplen Belastungsmöglichkeiten der Piloten wie dem Fliegen selbst, dem Überwachen von Systemen, Navigationsinstrumenten und dem Luftraum sowie der Kommunikation war eine Standardisierung der Cockpits und Flight Decks von entscheidender Bedeutung. Ein aufwändiges Suchen oder Zurechtfinden im Cockpit oder auf dem Flight Deck konnte fatale Folgen haben. Hinzu kam, dass sich die Reaktionszeiten der Besatzung mit den ansteigenden Fluggeschwindigkeiten stark verringerten. Die verkürzten Reaktionszeiten führten zu einer weiteren Automatisierung des Flight Decks.

Als Ergebnis der wachsenden Automatisierung kam es zu dramatischen Änderungen in den Tätigkeiten der Piloten. Steuern die Piloten das Flugzeug zuvor noch während des gesamten Fluges durch physische Eingaben, werden heute meist nur noch der Start und gelegentlich die Landung manuell durchgeführt. Der Rest des Fluges wird durch Flight Management-Systeme automatisiert, sodass die Piloten nur noch den Flugweg programmieren und den Ablauf überwachen.<sup>585</sup> Aus dem individualistischen Aeronautiker der Frühphase der Luftfahrt wurde im Laufe der Evolution des Flight Decks ein Überwacher automatisierter und teil-autonomer Systeme – ein Manager.

## Zukünftige Innovationen

Ob ein Flugzeug neu entwickelt wird oder bestehende Muster modernisiert werden, hängt von der Dynamik des weltweiten Luftverkehrsmarktes ab. So wurde die Boeing 737 der 100er und 200er Serien schon bald durch die der 300er und 400er ersetzt. Die

---

<sup>585</sup> Vgl. Harris, Human Factors, 2004, S. 157.

---

Flugzeuge wurden im Laufe der Jahre mit immer leistungsfähigeren und energieeffizienteren Triebwerken ausgestattet. Im gleichen Maße wurde die Nutzlast erhöht und der aerodynamische Widerstand, zu Gunsten der Energieeffizienz, verringert.

Auch im Bereich des Flight Decks hielt die Dynamik des luftfahrtspezifischen Innovationsprozesses an. In der Instrumentierung wurden die analogen Zeigerdarstellungen durch elektronische Anzeigen ersetzt. Die Entwicklung von elektronischen Instrumenten und Anzeigen ging parallel mit den Entwicklungen der Boeing 757, Boeing 767 und Airbus A310 einher. Diese Flugzeuge wurden Ende der 1970er Jahre konstruiert und wurden ab etwa 1982 in den Markt eingeführt.<sup>586</sup> Andere Artefakte, die zunächst für das Militär entwickelt wurden, fanden dann auch Verwendung im zivilen Luftverkehr. Zwei prägende Beispiele hierfür sind die Satellitennavigationssysteme (GPS) und das Head-Up-Display (HUD).

Die Liste der Neuerungen und Innovationen im Luftverkehr, der Flugzeuge und der Flight Decks wuchs seit den 1970er Jahren nahezu exponentiell an. Im Bereich des Flight Decks sorgte die Mikroelektronik für einen qualitativen Sprung. Die technischen Innovationen im Bereich des Flight Decks dienten dabei im Grundsatz nur dem einen Zweck: Automatisierung. Dabei steht die Automatisierung für die Erhöhung der Flugsicherheit, des Passagierkomforts und der Effizienz. Flight Decks mit zwei Piloten entwickelten sich zum weltweiten Standard der zivilen Luftfahrt. Technisch erreichten die Flugzeuge ein Niveau, welches ihnen theoretisch gestatten würde, Flüge vollkommen autonom durchzuführen. Automatische Landungen gehören mittlerweile, besonders bei schlechten Wetterlagen, zur Normalität im Flugbetrieb. Navigation nach Sicht erfolgt nur noch in Ausnahmefällen. Flugzeuge über eine maximale Startmasse von 20 Tonnen dürfen im gewerblichen Luftverkehr nur nach Instrumentenflugregeln betrieben werden.

Auch künftige Innovationen im Bereich des Flight Decks werden sich primär aus der Interdependenz von zwei Zielfunktionen speisen, die konstitutiv für die Geschichte der zivilen Luftfahrt sind: die Erhöhung der Flugsicherheit und die Erhöhung der wirtschaft-

---

<sup>586</sup> Vgl. Pallet, *Aircraft Instruments*, 1992, S. ix-x.

---

lichen Effizienz. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Flugzeughersteller und die Luftfahrtunternehmen der Herausforderung stellen werden, diese beiden Anforderungen in ihre unternehmerischen Konzepte zu integrieren.



---

# Literaturverzeichnis

## Archivquellen

Haase, R. (20. April 1966). Change Order 6 to Purchase Agreement 127 Relating to the Model 737-130 Aircraft. *Anschreiben zur Change Order 6 to Purchase Agreement 127*. Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM DI Kessner. (31. März 1965). Spezifikation 737-30. Hamburg, Deutschland: Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM DI Rösler. (15. März 1965). Memorandum zum Kaufvertrag 127 für 21 Flugzeuge 737-30. Hamburg, Deutschland: Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM IE 1. (16. Februar 1966). Stellungnahme zur Master Change 3911 für 737-130 Elevator Position Indicator. Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM IE 1. (27. April 1966). Stellungnahme zur Master Change 3911-2. Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM IF 3. (15. Dezember 1967). Stellungnahme zur Master Change Nr. 3600-49 "Subdial Adjustment on Pneumatic Altimeters in 737-130". Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM IF 3. (29. November 1966). Stellungnahme zur Master Change Nr. 3901 "Einbau von Marconi ADF System AD-370 in Boeing 737-130". Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM IZ Rott. (27. Dezember 1966). Change Order 10 zum 737-Kaufvertrag 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM IZ Rott. (22. Juni 1967). Change Order 12 zum Kaufvertrag 127 Boeing 737 / BC-Schreiben C-8900-782 vom 01. Juni 1967. Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa HAM IZ Rott. (22. September 1966). Change Order 8 zum 737-Kaufvertrag 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

Lufthansa IE 1. (31. Januar 1966). Stellungnahme zur Master Change No. 3525 "Einbau eines neuen EPR-Transmitters in 737". Lufthansa Archiv Frankfurt.

---

The Boeing Company. (7. April 1965). Change Order 1 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (23. November 1966). Change Order 10 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (27. März 1967). Change Order 11 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (27. Mai 1967). Change Order 12 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (2. August 1967). Change Order 13 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (20. August 1968). Change Order 19 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (27. September 1965). Change Order 4 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (8. März 1966). Change Order 5 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (9. März 1966). Change Order 6 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (21. August 1966). Change Order 8 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (26. September 1966). Change Order 9 to Purchase Agreement 127. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (12. Januar 1968). Master Change No. 3600-49. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (7. Dezember 1966). Master Change Proposal - Model 737 / Master Change No. 3901. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (09. Februar 1966). Master Change Proposal - Model 737. *Master Change No. 3911-2*. Renton, USA: Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (10. Januar 1966). Master Change Proposal / Master Change No. 3525. Lufthansa Archiv Frankfurt.

---

The Boeing Company. (6. Januar 1966). Master Change Proposal. *Master Change No. 3911*. Lufthansa Archiv Frankfurt.

The Boeing Company. (16. März 1965). Technical Matters Relating to Model 737-30 Aircraft. Lufthansa Archiv Frankfurt.

VDO Smiths. (1960). Technische Mitteilungen VDO-L/TM 12. *Para - Visual Director (P.V.D.)*. VDO Smiths.

### **Zeitschriften**

Ames Research Center. (1989). Airline Crew Training. *Public Safety*, S. 66-67.

Bailey-Watson, G. (6. September 1945). Bomber's Radar. *Flight*, S. 252-254.

Baldwin, J. (27. Mai 1932). Training of Pilots and Instructors. *Flight*, S. 474-475.

Bennett, G. (1988). Pilot Incapacitation and Aircraft Accidents. *European Heart Journal*, S. 21-24.

Brewer, G. (23. April 1910). Future Aeronautical Inventions. *Flight*, S. 300-302.

Chichester, F. (2. März 1939). A Square Deal for the Navigator. *Flight*, S. 201-202.

Chichester, F. (19. Januar 1939). Navigation - Fourth Rate - First Class? *Flight*, S. 54-56.

Collins, C. (7. Dezember 1933). Inter-Aerodrome Navigation. *Flight*, S. 1221-1222.

Colson, C. (20. Juni 1935). A Modern Carpetbagger. *Flight*, S. 658-660.

Conrad, R. (10. Januar 1910). Flugmaschinenunfälle und Stabilisierungsautomaten. *Der Motorwagen*.

Coombs, L. F. (25. Januar 1957). The Pilot's Place: Consideration of Cockpits, Then, Now and Tomorrow. *Flight*, S. 101-104.

Dalbro, S. (9. Januar 1936). Instrument Flying "Ab Initio". *Flight*, S. 52-53.

Darwin, H. (31. Mai 1913). Scientific Instruments, their Design and use in Aeronautics. *Flight*, S. 599-600.

Davis, A. (16. September 1937). Air-Mail Commentary. *Flight*, S. 289.

Denman, R. (21. Januar 1937). Radio Air Navigation. *Flight*, S. 54-56.

- 
- Der Flugleiter. (1. Februar 2003). Zwei unspektakuläre Jubiläen. *Der Flugleiter*.
- Flight. (30. September 1932). "Magnetological Inexactitudes". *Flight*, S. 922.
- Flight. (23. Mai 1918). A New Compass Deviation Card for Aircraft. *Flight*, S. 565-566.
- Flight. (10. März 1938). Air Figures. *Flight*, S. 235-237.
- Flight. (23. November 1933). Air Traffic Control in Bad Weather. *Flight*, S. 1180-1181.
- Flight. (24. April 1931). Air Transport - The Fokker F.32. *Flight*, S. 363-365.
- Flight. (4. April 1930). Air Transport - The new Aerodrome Beacon. *Flight*, S. 401.
- Flight. (12. Februar 1932). Air Transport - The Organisation of Air Routes for Night Flying. *Flight*, S. 134-136.
- Flight. (19. Februar 1932). Air Transport - Wireless and Night Flying - The Marconi-Adcock Direction Finder. *Flight*, S. 154-155.
- Flight. (1. März 1934). Air Transport & Commerce - The Douglas D.C.1. *Flight*, S. 189-190.
- Flight. (7. November 1930). Air Transport in Fog. *Flight*, S. 1226-1227.
- Flight. (22. Februar 1917). Airisms from the Four Winds. *Flight*, S. 180-182.
- Flight. (31. Mai 1934). Airisms from the Four Winds. *Flight*, S. 542.
- Flight. (2. Januar 1909). Airships and Wireless Telegraphy. *Flight*, S. 5.
- Flight. (15. Dezember 1938). All-in-One. *Flight*, S. 567.
- Flight. (26. November 1936). America's Latest Transport. *Flight*, S. 589.
- Flight. (29. April 1932). An Air Safety Congress. *Flight*, S. 376.
- Flight. (11. April 1935). An American "Radio Compass". *Flight*, S. 400.
- Flight. (16. November 1922). An Improved U.S. Mail Plane. *Flight*, S. 674.
- Flight. (25. Juni 1936). At the S.B.A.C. " Static Show. *Flight*, S. 694-698.
- Flight. (13. September 1934). Before Dawn. *Flight*, S. 961.
- Flight. (1. März 1934). Cloud Flying. *Flight*, S. 203-204.
- Flight. (18. April 1935). Commercial Aviation. *Flight*, S. 432.
- Flight. (20. Februar 1936). Commercial Aviation. *Flight*, S. 210.

- 
- Flight. (27. Februar 1936). Commercial Aviation. *Flight*, S. 238-241.
- Flight. (30. Juni 1938). Commercial Aviation. *Flight*, S. 639-641.
- Flight. (28. Januar 1911). Compasses and Aeroplanes. *Flight*, S. 78.
- Flight. (30. April 1925). Deutscher Rundflug 1925. *Flight*, S. 257-259.
- Flight. (29. Juni 1912). Editorial Comment - The Rule of the Air. *Flight*, S. 578.
- Flight. (23. Mai 1929). Flt.-Lt. E.R.C. Scholefield. *Flight*, S. 418.
- Flight. (24. Juni 1937). Fly in Safety with Sperry Blind Flying Instruments. *Flight*.
- Flight. (8. November 1929). Flying by Instruments. *Flight*, S. 1181.
- Flight. (12. November 1910). From the British Flying Grounds. *Flight*, S. 930-931.
- Flight. (21. Oktober 1937). Fuel-Gauge Simplicity. *Flight*, S. 404.
- Flight. (6. Januar 1944). Gyro Flux-Gate Compass. *Flight*, S. 20-21.
- Flight. (21. November 1930). Handley Page. *Flight*, S. 1292-1293.
- Flight. (20. Februar 1936). Heston's Lorenz System. *Flight*, S. 211.
- Flight. (18. Oktober 1928). ILA 1928 - Berlin Aero Show. *Flight*, S. 907-922.
- Flight. (13. Mai 1932). Increasing Safety in the Air. *Flight*, S. 421.
- Flight. (12. November 1936). Lorenz Blind Approach Receivers. *Flight*, S. 505.
- Flight. (17. Mai 1934). Luft Hansa buys Douglas Air Liner. *Flight*, S. 483.
- Flight. (15. August 1930). Miss Amy Johnson Honoured. *Flight*, S. 916-919.
- Flight. (1. November 1923). New American Night Flying Mail Planes. *Flight*, S. 672-674.
- Flight. (2. Januar 1909). News of the Week. *Flight*, S. 3.
- Flight. (12. Januar 1922). Notice to Airmen. *Flight*, S. 23.
- Flight. (7. August 1931). On "Instrument Flying". *Flight*, S. 779-781.
- Flight. (11. Oktober 1928). Other British Exhibits. *Flight*, S. 882-890.
- Flight. (24. Oktober 1935). Piloting Commercial Aircraft. *Flight*, S. 432-434.
- Flight. (20. Januar 1938). Practical Blind Approaches. *Flight*, S. 58-60.

- 
- Flight. (23. August 1945). Radar. *Flight*, S. 208-211.
- Flight. (1920. März 1920). Report on the Junker Armoured Two-Seater Biplane, Type J.1. *Flight*, S. 290-293; 315.
- Flight. (26. März 1910). Rules of the Air. *Flight*, S. 241.
- Flight. (6. Oktober 1932). School House and School Room. *Flight*, S. 934.
- Flight. (2. Dezember 1937). Service Aviation. *Flight*, S. 539.
- Flight. (17. Februar 1921). Signposts for Airmen. *Flight*, S. 121.
- Flight. (13. Mai 1960). Smiths Para-Visual Director. *Flight*, S. 652-655.
- Flight. (13. September 1913). Some Accesories. *Flight*, S. 1016.
- Flight. (13. Juli 1913). Some Aviation Accessories. *Flight*, S. 744-747.
- Flight. (25. Dezember 1919). Some French Machines at the Show. *Flight*, S. 1647-1651.
- Flight. (8. November 1923). Some Recent Developements in Aircraft Instruments. *Flight*, S. 688-689.
- Flight. (31. Dezember 1910). Speed - Alarms for Flyers. *Flight*, S. 1072.
- Flight. (13. Mai 1932). Speeding Up the Air Mail. *Flight*, S. 427.
- Flight. (23. Juni 1938). Sperry Blind Flying Instruments. *Flight*.
- Flight. (6. September 1917). Sperry Charts for Aviators. *Flight*, S. 928.
- Flight. (29. April 1937). Survey Special. *Flight*, S. 422-423.
- Flight. (3. Juni 1932). Swissair Lockheed visits Le Bourget. *Flight*, S. 496.
- Flight. (2. Januar 1909). Systems of Control. *Flight*, S. 9-10.
- Flight. (3. Juli 1914). Testing the Sperry-Curtiss Stabilizer. *Flight*, S. 712.
- Flight. (13. Juni 1918). The A.E.G. Bomber, G. 105. *Flight*, S. 640-645.
- Flight. (24. August 1916). The Advisory Committee's Annual Report. *Flight*, S. 720-722.
- Flight. (24. November 1938). The Albatross from the Control Cabin Viewpoint. *Flight*, S. 470-471.

- 
- Flight. (31. Juli 1909). The Bleriot Short-Span Monoplane - The Channel Flyer. *Flight*, S. 453-456.
- Flight. (16. Januar 1931). The Brain Centre of a Modern Aircraft. *Flight*, S. 49.
- Flight. (17. März 1938). The Cadman Civil Aviation Inquiry. *Flight*, S. 260-266.
- Flight. (24. März 1921). The D.H. 18 Limousine. *Flight*, S. 203-206.
- Flight. (13. September 1945). The Decca Navigator. *Flight*, S. 285.
- Flight. (25. July 1929). The Do X takes the Air. *Flight*, S. 745-746.
- Flight. (24. Januar 1935). The Douglas D.C.2s for K.L.M. *Flight*, S. 111.
- Flight. (6. Februar 1909). The Elements of Aviation. *Flight*, S. 73.
- Flight. (14. September 1912). The Elliott Instrument Board. *Flight*, S. 840.
- Flight. (6. September 1934). The Fighting "Pterodactyl". *Flight*, S. 914-915.
- Flight. (5. Oktober 1933). The Fokker F.XX. *Flight*, S. 993-995.
- Flight. (2. Dezember 1911). The French Law of the Air. *Flight*, S. 1043.
- Flight. (28. Oktober 1911). The Gyro Compass. *Flight*, S. 941.
- Flight. (11. August 1938). The Industry - New Fuel Gauge. *Flight*, S. 133.
- Flight. (12. August 1932). The Industry. *Flight*, S. 765-766.
- Flight. (27. Mai 1937). The Industry. *Flight*, S. 540.
- Flight. (23. Mai 1940). The Latest Rotol Airscrew. *Flight*, S. 472-473.
- Flight. (29. November 1913). The New Handley Page Biplane. *Flight*, S. 1296-1299.
- Flight. (24. Oktober 1935). The Outlook - A Running Commentary on Air Topics. *Flight*, S. 425.
- Flight. (18. Dezember 1924). The Paris Air Show 1924. *Flight*, S. 783-791.
- Flight. (18. September 1931). The Reid-Sigrist Turn Indicator. *Flight*, S. 953.
- Flight. (26. Dezember 1918). The Report of the Civil Aerial Transport Committee. *Flight*, S. 1465-1471.
- Flight. (25. Oktober 1934). The Successful Machines. *Flight*, S. 1110.
- Flight. (2. Oktober 1931). The Supermarine S.6 B Monoplane. *Flight*, S. 981-982.

---

Flight. (18. September 1924). The United States Day and Night Transcontinental Air Mail Service. *Flight*, S. 574-575.

Flight. (12. November 1936). Topics of the Day. *Flight*, S. 513.

Flight. (2. Dezember 1920). U.S. to have Trench-Strafers. *Flight*, S. 1244.

Flight. (15. Mai 1931). Wireless on the Air Routes. *Flight*, S. 428-429.

Flight. (11. Februar 1911). Wireless Telegraphy for Aeroplanes. *Flight*, S. 119.

Flugwelt-Verlag. (März 1957). Die Blindflugspalte. *Flugwelt*, S. 184-187.

Frank, A. (1957). Die Blindflugspalte - Blindflugnavigation. *Flugwelt* (Heft 3), S. 184-187.

Glines, C. (1. September 1971). Doolittle's Instrument First. *Air Line Pilot*, S. 14-18.

King, H. (29. September 1938). Australia Airlines. *Flight*, S. 270-274.

Kramar, E. (1969). Hyperbelnavigation - Geschichte und neue Wege. *Interavia* (2).

Lanchester, F. (09. Januar 1909). The Wright and Voisin Types of Flying Machine. *Flight*, S. 29.

Lees, T. (11. März 1920). Parachutes. *Flight*, S. 294.

Macmillan, N. (10. März 1938). Passenger to the Playgrounds. *Flight*.

Mealing, R. (23. November 1933). The Development of Aviation Lighting. *Flight*, S. 1184-1185.

Oppelt, W. (Januar 1982). Über die Entwicklung der Flugregler in Deutschland. *Luftfahrt International*, 23-27.

Rasch, M. (1991). Wissenschaft und Militär: Die Kaiser Wilhelm Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft. *Militärgeschichtliche Mitteilungen* (49/1), 73-120.

Sinclair, D. (7. Dezember 1933). Airport Communications. *Flight*, S. 1223-1224.

Sparrow. (1. Januar 1942). Offices to Let - Or Hinder. *Flight*, S. 6-9.

Spence, E. (9. Juni 1938). Astronomical Navigation. *Flight*.

Spooner, S. (24. Januar 1914). Aircraft and Wireless. *Flight*, S. 79-80.

Spooner, S. (2. Oktober 1931). Editorial Comment. *Flight*, S. 979-980.

Spooner, S. (26. April 1913). The Dyott Monoplane. *Flight*, S. 454-456.



- 
- Taylor, H. (17. Oktober 1935). Instrument Flying. *Flight*, S. 401-404.
- Taylor, H. (22. April 1937). Simplexity Itself. *Flight*, S. 384-386.
- Thurston, A. (15. Mai 1914). The Measurement of Air Speed. *Flight*, S. 521-522.
- Thurston, A. (9. Mai 1914). The Measurement of Air Speed. *Flight*, S. 498.
- Villa, A. (14. Februar 2003). Triumph of the '68 Generation. *Lufthanseat* (976).
- Williams, G. (28. Oktober 1937). Blind Flying on the Ground. *Flight*, S. 416-417.
- Williamson, G. (19. August 1937). Instrument Planning. *Flight*, S. 193-195.

### **Gesetze und SARPS**

Civil Aeronautics Administration. (März 1949). Visual - Aural Ranges and Omnidirections; Bulletin No. 3. *Airways Operations Training Series*. Washington: U.S. Government Printing Office.

Civil Aeronautics Board. (31. Dezember 1953). Part 4b - Airplane Airworthiness Transport Categories. *Civil Air Regulations*. Washington, USA: Government Printing Office.

Civil Aviation Authority. (15. Januar 1959). Civil Air Regulations. *Airplane Airworthiness, Transport Categories; incl. Supplement No. 25*. USA: Department of Commerce.

Federal Aviation Administration. (2. Januar 1965). Part 25 - Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes; FAR 25.729. *Federal Aviation Requirements*. USA: Federal Aviation Administration.

Federal Aviation Administration. (14. Mai 1964). Part 25 Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes. *Federal Aviation Requirements*. Federal Aviation Administration.

Federal Aviation Administration. (3. November 1964). Part 25 Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes. *Federal Aviation Regulation*. Federal Aviation Administration.

Federal Aviation Agency. (September 1962). Airplane Airworthiness; Transport Categories. *Civil Aeronautics Manual 4b*. Federal Aviation Agency.

---

Federal Aviation Agency. (September 1959). General Operation Rules. *Civil Aeronautics Manual 43*. Federal Aviation Agency.

U.S. Department of Commerce. (1949). *Airways Operations Training Series*. Washington: Civil Aeronautics Administration.

### **Internetseiten**

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung. *Untersuchungsberichte*. Abgerufen am 15. Februar 2015 von [http://www.bfu-web.de/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/untersuchungsberichte\\_node.html](http://www.bfu-web.de/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/untersuchungsberichte_node.html)

Conradi, R. (2013). *Gabler Wirtschaftslexikon*. Abgerufen am 04. Mai 2013 von Das Wissen der Experten: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/90240/linienflugverkehr-v8.html>

Federal Aviation Administration. *FAA Regulations*. Abgerufen am 15. Februar 2015 von [http://www.faa.gov/regulations\\_policies/faa\\_regulations/](http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations/)

National Transportation Safety Board. *Aviation Accident Database & Synopses*. Abgerufen am 15. Februar 2015 von [http://www.nts.gov/\\_layouts/nts.gov/aviation/index.aspx](http://www.nts.gov/_layouts/nts.gov/aviation/index.aspx)

Preston, E. (03. März 2005). *Federal Aviation Administration*. Abgerufen am 19. Juli 2012 von [http://www.faa.gov/about/history/brief\\_history/#origins](http://www.faa.gov/about/history/brief_history/#origins)

The Museum of Flight. (2011). *The Museum of Flight*. Abgerufen am 9. Februar 2012 von [www.museumofflight.org](http://www.museumofflight.org)

### **Interviews**

Kennerknecht, H. (19. Oktober 2012). Einsatz auf der Boeing 737-130. (M. Schuivens, Interviewer)

Steffen, J. (19. Oktober 2012). Die Boeing 737-130 bei der Lufthansa. (M. Schuivens, Interviewer)

---

**Sekundärliteratur**

- Abbott, K. H. (2001). Human Factors Engineering and Flight Deck Design. In C. R. Spitzer (Hrsg.), *The Avionics Handbook* (Kap. 9). New York: CRC Press.
- Akrich, M. (1992). The De-Description of Technical Objects. In W. E. Bijker, & J. Law (Hrsg.), *Shaping Technology / Building Society* (S. 206-222). London: The MIT Press.
- Allnut, M. (1982). Human Factors: Basic Principles. In R. Hurst, & L. Hurst (Hrsg.), *Pilot Error: The Human Factors* (S. 1-22). London: Granada.
- Anderson, E. W. (1978). Navigational Equipment. In T. I. Williams (Hrsg.), *A History of Technology* (Bd. VII, S. 837-856). Oxford: Clarendon Press.
- Becker, H.-J. (2001). *Boeing 707*. München: Bruckmann Verlag.
- Beek, J. (2009). *Boeing Verkehrsflugzeuge: seit 1919*. Motorbuch Verlag.
- Bernecker, W. L. (2002). *Europa zwischen den Weltkriegen 1914-1945*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH.
- Blom, P. (2014). *Die zerrissenen Jahre: 1918-1938*. München: Carl Hanser Verlag.
- Bocking, S. (April 2009). A Disciplined Geography - Aviation, Science, and the Cold War in Northern Canada, 1945 - 1960. *Technology and Culture* (50), S. 271.
- Brämer, J. (September 1936). Die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt im Jahre 1935/36. *Luftwissen* 3 (9), S. 241-247.
- Bräunling, W. (2000). *Flugzeugtriebwerke: Grundlagen, Aero-Thermodynamik, ideale und reale Kreisprozesse, Thermische Turbomaschinen, Komponenten, Emissionen und Systeme*. Berlin: Springer - Verlag.
- Braun, H. J. (1997). Aufstieg des Flugzeugs. In W. König (Hrsg.), *Propyläen Technikgeschichte* (Bd. V, S. 132-149). Berlin: Ullstein Buchverlag GmbH.
- Brod, M. (1954). *Franz Kafka. Eine Biographie*. New York: Schocken Books.
- Broelmann, J. (2002). *Intuition und Wissenschaft in der Kreiseltechnik*. München: Deutsches Museum.
- Brooks, P. W. (1978). Aircraft and their Operation. In T. I. Williams (Hrsg.), *A History of Technology* (Bd. VII, S. 789-829). Oxford: Clarendon Press.

- 
- Bruce, J. M. (1982). *Aeroplanes of the Royal Flying Corps (Military Wing)*. London: Putnam Publishing Group.
- Bruce, J. M. (1966). *Profile Publications Nr. 133: The B.E.2, 2a & 2b*. London: Profile Publications Ltd.
- Bölkow, L. (1990). *Ein Jahrhundert Flugzeuge: Geschichte und Technik des Fliegens*. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Buck, R. (1994). *The pilot's burden: Flight safety and the roots of pilot error*. Ames: Iowa State University Press.
- Budraß, L. (1998). *Flugzeugindustrie und Luftrüstung in Deutschland 1918 - 1945*. Düsseldorf: Droste
- Cohausz, P. W. (2000). *Cockpits deutscher Flugzeuge*. Oberhaching: Aviatic Verlag GmbH.
- Coleman, W., & Perrin, P. (1999). *Aviation: Early Flight in America*. Carlisle: Discovery Enterprises Ltd.
- Conway, E. (2006). *Blind Landings - Low Visibility Operations in American Aviation, 1918-1958*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Conway, E. (Juni 2004). Echoes in the Grand Canyon: Public Catastrophes and Technologies of Control in American Aviation. *History and Technology* (20), S. 115-134.
- Coombs, L. F. (2005). *Control in the Sky*. Yorkshire: Pen and Sword Aviation.
- Coombs, L. F. (1993). Das Cockpit. In D. H. Middleton, *Avionik* (S. 50-74). Berlin: Transpress.
- Coombs, L. F. (1990). *The Aircraft Cockpit: from stick-and-string to fly-by-wire*. Northamptonshire: Patrik Stephens Ltd.
- Cooper, M. (1986). *The Birth of Independent Air Power: British Air Policy in the First World War*. London: HarperCollins Publishers Ltd.
- Crouch, T. D. (2002). *First Flight - The Wright Brothers and the Invention of the Airplane*. Dayton: Dayton Aviation Heritage.
- Curtis, M. T., Jentsch, F., & Wise, J. A. (2010). Aviation Displays. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 439-478). Burlington: Elsevier.

- 
- Cüppers, S. (1994). *Die geschichtliche Entwicklung der Höhenphysiologie und ihre Bedeutung für die Luftfahrtmedizin bis 1961*. Aachen: Shaker.
- Dailey, F. E. (2004). *The Triumph of Instrument Flight: Aretrospective in the Century of U.S. Aviation*. Wilbraham: Dailey International Publishers.
- Degele, N. (2002). *Einführung in die Techniksoziologie*. München: Wilhelm Fink Verlag GmbH.
- Deutsche Luftwacht. (Februar 1936). Amerikanische Ansichten über elektro- und funktechnische Fragen. *Luftwissen* 3 (2), S. 43.
- Deutsche Luftwacht. (September 1936). Forschungs-Kurzberichte - Medizin - Höhenkrankheit. *Luftwissen* 3 (9), S. 264-265.
- Deutsche Luftwacht. (Januar 1936). Kritische Rundschau. *Luftwissen* 3 (1), S. 1.
- Deutsche Luftwacht. (Februar 1936). Nachrichten aus den Herstellerwerken - Neues Douglas Verkehrsflugzeug. *Luftwissen* 3 (2), S. 48.
- Deutsche Luftwacht. (November 1936). Neuere Funkpeilgeräte für Flugzeuge. *Luftwissen* 3 (11), S. 336-337.
- Deutsche Luftwacht. (Januar 1936). Schnellverkehrsflugzeug Junkers Ju 86. *Luftwissen* 3 (1), S. 15-16.
- Deutsche Luftwacht. (Januar 1936). Schnellverkehrsflugzeug Heinkel He 111. *Luftwissen* 3 (1), S. 14-15.
- Dick, H. G. (1987). *The golden age of the great passenger airships Graf Zeppelin & Hindenburg*. Washington: Smithsonian Institution Press
- Dienel, H.-L., & Lyth, P. (1998). *Flying the Flag: European Commercial Air Transport since 1945*. London / New York: Palgrave Macmillan.
- Dierikx, M. (2008). *Clipping the Clouds: how air travel changed the world*. Westport: Praeger Publishers.
- Dietrich, R. (2004). Determinants of Effective Communication. In R. Dietrich, & T. M. Childress (Hrsg.), *Group Interaction in High Risk Environments* (S. 185-206). Burlington: Ashgate.

- 
- Dismukes, K. R. (2010). Understanding and Analyzing Human Error in Real-World Operations. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 335-374). Burlington: Elsevier.
- Dorn, L. (2011). *Zum Einfluss von Arbeitsanforderungen an Cockpitbesatzungen auf die Flugsicherheit*. Ilmenau: TU Ilmenau Universitätsbibliothek.
- Durso, F. T., & Alexander, A. L. (2010). Managing Workload, Performance, and Situation Awareness in Aviation Systems. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 217-248). Burlington: Elsevier.
- Eckert, M. (2005). *The Dawn of Fluid Dynamics: A Discipline between Science and Technology*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Edgerton, D. (1991). *England and the Aeroplane*. London: Macmillan Academic and Professional Ltd.
- Edgerton, D. (2006). *The Shock of the Old - Technology and global history since 1900*. London: Profile Books Ltd.
- Erfurth, H. (2011). *Luftfahrt im Dritten Reich*. München: Geramond.
- Fecker, A. (2013). *Strahltriebwerke: Entwicklung - Einsatz - Zukunft*. Motor Buch Verlag.
- Ferris, T., & Sarter, N. (2010). Cockpit Automation: Still Stuggling to Catch Up... In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 479-504). Burlington: Elsevier.
- Figgen, A., & Plath, D. (2006). *Boeing Verkehrsflugzeuge: Von den Anfängen bis zur 787*. München: GeraMond Verlag GmbH.
- Flachowsky, S. (2008). *Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Galison, P. (2001). Die Ontologie des Feindes: Norbert Wiener und die Vision der Kybernetik. In M. Hagner (Hrsg.), *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte* (S. 433-485). Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Gerresheim, H. (1995). *Flugzeuge die Geschichte machten - Boeing 737*. Stuttgart: Motorbuch Verlag.

---

Gibbs-Smith, C. H. (1970). *Aviation: An historical survey from its origins to the end of World War II*. London: Her Majesty's Stationery Office.

Gibbs-Smith, C. H. (1960). *The Aeroplane: An historical survey of its origins and development*. London: Her Majesty's Stationery Office.

Gibbs-Smith, C. H. (1966). *The Invention of the Aeroplane (1799-1909)*. London: Faber and Faber.

Gibbs-Smith, C. H. (1974). *The Rebirth of European Aviation 1902-1908*. London: Her Majesty's Stationery Office.

Giesa, H.-G. (2003). *Die Bewertung der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen*. Düsseldorf: VDI Verlag.

Gillispie, C. C. (1983). *The Montgolfier brothers and the invention of aviation*. Princeton: Princeton University Press.

Gleitsmann, R. J., Kunze, R. U., & Oetzel, G. (2009). *Technikgeschichte*. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.

Grant, R. (2003). *Fliegen. Die Geschichte der Luftfahrt*. Starnberg: Dorling Kindersley Verlag GmbH.

Griehl, M. (2010). *Typenkompass - Junkers Flugzeuge seit 1915*. Stuttgart: Motor Buch Verlag.

Grote, G., Zala-Mezö, E., & Grommes, P. (2003). Effects of Standardization and Communication in High Workload Situations. In R. Dietrich, & T. v. Meltzer (Hrsg.), *Communication in High Risk Environments* (S. 127-154). Hamburg: Helmut Buske Verlag.

Grote, G., Zala-Mezö, E., & Grommes, P. (2004). The Effects of Different Forms of Coordination on Coping with Workload. In R. Dietrich, & T. M. Childress (Hrsg.), *Group Interactions in High Risk Environments* (S. 39-54). Burlington: Ashgate.

Gunston, B. (1990). *Avionics*. Northamptonshire: Patrik Stephens Ltd.

Hagedorn, D. (2008). *Conquistadors of the Sky: A History of Aviation in Latin America*. Washington: University Press of Florida.

Hallion, R. P. (1988). *Test Pilots: The Frontiersmen of Flight*. Washington: Smithsonian Institution Press.

- 
- Hanieski, J. F. (1973). The Airplane as an Economic Variable: Aspects of Technological Change in Aeronautics, 1903-1955. *Technology & Culture* (14), S. 535-552.
- Haraway, D. (1995). Ein Manifest für Cyborgs: Feminismus im Streit mit den Technowissenschaften. In D. Haraway (Hrsg.), *Die Neuerfindung der Natur: Primaten, Cyborgs und Frauen* (S. 33-72). Frankfurt: Campus Verlag.
- Harris, D. (2004). *Human Factors for Civil Flight Deck Design*. Hampshire: Ashgate Publishing Company.
- Häusler, R., Klampfer, B., Amacher, A., & Naef, W. (2004). Behavioral Markers in Analyzing Team Performance of Cockpit Crews. In R. Dietrich, & T. M. Childress (Hrsg.), *Group Interaction in High Risk Environments* (S. 25-38). Burlington: Ashgate.
- Heßler, M. (2012). *Kulturgeschichte der Technik*. Frankfurt: Campus Verlag.
- Helmreich, R. L., & Sexton, B. J. (2004). Group Interaction under Threat and High Workload. In R. Dietrich, & T. M. Childress (Hrsg.), *Group Interactions in High Risk Environments* (S. 9-24). Burlington: Ashgate.
- Hirschel, E., Prem, H., & Madelung, G. (2001). *Luftfahrtforschung in Deutschland*. Bonn: Bernhard & Graefe Verlag.
- Hitt, E. F., & Mulcare, D. (2001). Fault Tolerance Avionics. In C. R. Spitzer (Hrsg.), *The Avionics Handbook* (Kap. 28). New York: CRC Press.
- Höhler, S. (2001). *Luftfahrtforschung und Luftfahrtmythos: Wissenschaftliche Ballonfahrt in Deutschland, 1880-1910*. Frankfurt / Main: Campus Verlag.
- Holloway, S. (2003). *Straight and Level: Practical Airline Economics*. Aldershot: Ashgate.
- Homze, E. (1976). *Arming the Luftwaffe - The Reich Air Ministry and the German Aircraft Industry 1919-1939*. Lincoln: University of Nebraska Press.
- Hopkins, G. (1982). *Flying the Line: The First Half Century of the Air Line Pilots Association*. Washington: ALPA.
- Hoyos, C., & Zimolog, B. (1990). *Ingenieurspsychologie*. Göttingen, Toronto, Zürich: Verlag für Psychologie, Dr. C. J. Hogrefe.



---

Hughes, T. P. (1971). *Elmer Sperry - Inventor and Engineer*. Baltimore: The John Hopkins University Press.

Humpheys, K. (2004). *Pilot Incapacitation on Boeing 737*. International Civil Aviation Organisation. Montreal: ICAO.

Hundertmark, M. (1991). Flugplatz Johannisthal - Wiege der deutschen Luftfahrt. In D. Lang (Hrsg.), *Hundert Jahre Deutsche Luftfahrt - Lilienthal und seine Erben* (S. 21-38). Gütersloh: Bertelsmann Lexikon Verlag.

Hurst, R., & Hurst, L. (1987). *Flugunfälle und ihre Ursachen*. Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Ide, J. J. (29. August 1930). International Aeronautic Organisations. *Flight*, S. 975-976.

Illman, P. E. (2001). *Controlling Pilot Error: Communications*. New York: McGraw-Hill.

International Civil Aviation Organization. (2010). *Annex 5: Units of Measurement to be Used in Air and Ground Operations* (5. Edition). Montreal: ICAO.

Jackson, C. C. (1998). *IFALPA: The History of the First Decades - 1948-1975*. Montreal: International Federation of Air Line Pilots Associations.

Jakab, P. L., & Crouch, T. D. (2003). *The Wright Brothers and the Invention of the Aerial Age*. National Geographic Society.

Jakab, P. (1990). *Visions of a Flying Machine: The Wright Brothers and the Process of Invention*. Washington: Smithsonian Inst. Press.

Jarrett, P. (2003). *Pioneer Aircraft: Early Aviation to 1914*. London: Putnam Aeronautical.

Jensen, R. S. (1982). Pilot Judgement: Training and Education. In R. Hurst, & L. Hurst (Hrsg.), *Pilot Error: The Human Factors* (S. 50-66). London: Granada.

Jordanoff, A. (1938). *Through the Overcast - The Art of Instrument Flying*. New York: Funk & Wagnalls Company.

Kafka, F. (1977). *Die Aeroplane in Brescia*. Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag.

Kehrt, C. (2010). *Moderne Krieger - Die Technikerfahrten deutscher Militärpiloten 1910-1945*. Paderborn: Ferdinand Schöningh.

- 
- Kern, A. T. (1997). *Redefining Airmanship*. New York: McGraw Hill Book Co.
- Kirchner, U. (1998). *Geschichte des bundesdeutschen Verkehrsflugzeugbaus: Der lange Weg zum Airbus*. Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Kirstein, T. (2014). Vom Luxusverkehrsmittel zum "Slum der Lüfte"? *Technikgeschichte* 81 (2), S. 173-202.
- Köhler, D. H. (1989). *Der deutsche Luftverkehr - Ernst Heinkel - Pionier der Schnellflugzeuge*. Koblenz: Bernhard & Graefe Verlag.
- König, W. (2003). Das Kulturelle in der Technik: Kulturbegriffe und ihre Operationalisierung für die Technik. In G. Banse, & A. Grunwald (Hrsg.), *Technik und Kultur: Bedingungs- und Beeinflussungsverhältnisse* (S. 73-88). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Kracheel, K. (1993). *Flugführungssysteme - Blindfluginstrumente, Autopiloten, Flugsteuerungen*. Bonn: Bernhard & Graefe Verlag.
- Kramar, E. (1973). *Funksysteme für Ortung und Navigation und ihre Anwendung in der Verkehrssicherheit*. Stuttgart: Berliner Union GmbH.
- Kurz, M. (1991). Das Flugzeug als Waffe: Der Erste Weltkrieg als Experimentierfeld des Luftkrieges. In D. Lang (Hrsg.), *Hundert Jahre Deutsche Luftfahrt - Lilienthal und seine Erben* (S. 39-59). Gütersloh: Bertelsmann Lexikon Verlag.
- Langewiesche, W. (1944). *Stick and Rudder: An Explanation of the Art of Flying*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Liebing, A. (1968). *Flugsicherheit oder die Chance zu überleben*. Reinbeck: Rowohlt.
- Lilienthal, O. (2003). *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst* (Reprint d. Originalausg. Berlin 1889 Ausg.). Berlin: Steffen Verlag.
- Lindbergh, C. A. (1954). *Mein Flug über den Ozean*. Berlin: S. Fischer Verlag.
- Luftfahrt-Bundesamt. (1984). *30 Jahre Tätigkeit für die Sicherheit der Luftfahrt*. Braunschweig: Luftfahrt-Bundesamt.
- Luftfahrt-Bundesamt. (2004). *Chronik des Luftfahrt-Bundesamtes*. Braunschweig: Luftfahrt-Bundesamt.

- 
- Möser, K. (1999/2). Amphibien, Landschiffe, Flugautos: Utopische Fahrzeuge der Jahrhundertwende und die Durchsetzung des Benzinautomobils. *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte*, 63-83.
- Möser, K. (2009). *Fahren und Fliegen in Frieden und Krieg*. Mannheim: TECHNOSEUM - Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim.
- Mackenzie, D. (2010). *ICAO - A History of the International Civil Aviation Organization*. Toronto: University of Toronto Press Incorporated.
- McCormick, F. (2001). Certification of Civil Avionics. In C. R. Spitzer (Hrsg.), *The Avionics Handbook* (Kap. 23). New York: CRC Press.
- Merki, C. M. (2008). *Verkehrsgeschichte und Mobilität*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- Metz, K. (2006). *Ursprünge der Zukunft - Die Geschichte der Technik in der westlichen Zivilisation*. Paderborn: Ferdinand Schöningh.
- Morrow, J. (1976). *Building German Air Power 1909-1914*. Knoxville: The University of Tennessee Press.
- Mosier, K. (2010). The Human in Flight: From Kinesthetic Sense to Cognitive Sensibility. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 147-172). Burlington: Elsevier.
- Nelson, J. H., Hurwitz, L., & Knapp, D. G. (1962). *Magnetism of the Earth*. Washington: United States Government Printing Office.
- Neumann, A. (2007). Die Luftfahrtmedizin von der Weimarer Republik bis zur frühen Bundesrepublik. In H. Trischler, & K.-U. Schrogl (Hrsg.), *Ein Jahrhundert im Flug: Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1907-2007* (S. 138-155). Frankfurt: Campus Verlag.
- Newman, R. L., & Greeley, K. W. (2001). *Cockpit Displays: Test and Evaluation*. Aldershot: Ashgate Publishing Company.
- Nowarra, H. (1991). *Die Ju 52, Flugzeug und Legende*. Motorbuch Verlag.
- Nowarra, H. (1988). *Focke-Wulf FW 200 'Condor'*. Bernard & Graefe.
- Nye, D. E. (2006). *Technology Matters - Questions to live with*. Cambridge: The MIT Press.

- 
- Oldenziel, R., & Hård, M. (2013). *Consumers, tinkerers, rebels*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Ott, G. (1991). Pioniere der Verkehrsfluffahrt: Deutscher Luftverkehr 1919-1945. In D. Lang (Hrsg.), *Hundert Jahre Deutsche Luftfahrt - Lilienthal und seine Erben* (S. 61-63). Gütersloh: Bertelsmann Lexikon Verlag.
- Oudshoorn, N., & Pinch, T. (2003). *How Users Matter*. London: The MIT Press.
- Pallet, E. (1992). *Aircraft Instruments and Integrated Systems*. Harlow: Pearson Education Limited.
- Passoth, J.-H. (2008). *Technik und Gesellschaft: Sozialwissenschaftliche Techniktheorien und die Transformationen der Moderne*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Patankar, M. S., & Sabin, E. J. (2010). The Safety Culture Perspective. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 95-122). Burlington: Elsevier.
- Pegram, R. (2012). *Schneider Trophy Seaplanes and Flying Boats: Victors, Vanquished and Visions*. Stroud: Fonthill Media.
- Pelletier, A. (2010). *Boeing - The Complete Story*. Sparkford: Haynes Publishing.
- Preston, E. (1998). *FAA Historical Chronology: Civil Aviation and the federal government, 1926-1996*. Washington: Department of Transport / FAA.
- Reul, G. (1995). *Planung und Gründung der Deutschen Lufthansa AG - 1949 bis 1955*. Köln: Botermann & Botermann.
- Rhoades, D. L. (2008). *Evolution of International Aviation*. Hampshire: Ashgate Publishing Ltd.
- Richter, J.-A., & Wolf, C. (1997). *Jet-Airliner-Unfälle seit 1952*. Karlsruhe: Headset Karlsruhe Germany.
- Rieger, B. (2005). *Technology and the Culture of Modernity in Britain and Germany 1890 - 1945*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Risukhin, V. (2001). *Controlling Pilot Error: Automation*. New York: McGraw-Hill.
- Robinson, D. H. (1973). *The Dangerous Sky: A History of Aviation Medicine*. Seattle: University of Washington Press.

- 
- Roscoe, S. N. (1987). Vernachlässigte menschliche Faktoren. In R. Hurst, & L. Hurst (Hrsg.), *Flugunfälle und ihre Ursachen* (S. 207-241). Stuttgart: Motorbuchverlag.
- Salas, E., & Maurino, D. (2010). *Human Factors in Aviation*. Burlington: Elsevier.
- Salas, E., Shuffler, M. L., & DiazGranados, D. (2010). Team Dynamics at 35,000 Feet. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 249-292). Burlington: Elsevier.
- Schmitt, G., & Schwipps, W. (1990). *20 Kapitel Frühe Luftfahrt*. Berlin: Transpress.
- Schuivens, M. (2007). *Development of a model for the estimation of the DOC's for turboprop aircraft*. Masterthesis, Hochschule Bremen, Aviation Management, Bremen.
- Schuler, M. (1960). *Die geschichtliche Entwicklung des Kreiselkompasses in Deutschland*. Göttingen: Prof. Dr.-Ing. Max Schuler.
- Schumpeter, J. A. (1950). *Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie*. Bern: Francke.
- Scientific American. (15. August 1914). Result of First Contest for Safety in Aeroplanes, in France. *Scientific American Supplement No. 2015*, S. 108-109.
- Sharpe, M., & Shaw, R. (2001). *Boeing 737-100 and 200*. Osceola: MBI Publishing Company.
- Sheridan, T. B. (2010). The System Perspective on Human Factors in Aviation. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 23-64). Burlington: Elsevier.
- Smallman, A. (September 1961). Instrumentation - Then and Now. S. 26-27.
- Smithsonian Institution. (2007). *In The Cockpit: Inside 50 History-Making Aircraft*. New York: Harper Collins Publishers.
- Sperry Gyroscopes Company Limited. (1956). *Aircraft Gyroscopic Flight Instruments*. Brentford.
- Staudenmaier, J. (1985). *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*. London: The MIT Press.
- Strickler, M. K. (1982). Accident Prevention: The Role of Education and Training. In R. Hurst, & L. Hurst (Hrsg.), *Pilot Error: The Human Factors* (S. 23-49). London: Granada.

- 
- Torenbeek, E. (2013). *Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Technology and Optimization of Subsonic Civil Airplanes*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Torenbeek, E. (1982). *Synthesis of Subsonic Airplane Design: An Introduction to the Preliminary Design of Subsonic General Aviation and Transport Aircraft*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Tre Tryckare Cagner & Co. (1970). *The Lore of Flight*. Gothenburg, Schweden: Time-Life Books.
- Trenkle, F. (1986). *Bordfunkgeräte - Vom Funkensender zum Bordradar*. Koblenz: Bernard & Graefe.
- Trimble, W. F. (1995). *From Airships to Airbus - The History of Civil and Commercial Aviation*. Washington: Smithsonian Institution Press.
- Trischler, H. (1992). *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland: 1900-1970*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Trischler, H. (2002). Nationales Sicherheitssystem - nationales Innovationssystem. Militärische Forschung und Technik in Deutschland in der Epoche der Weltkriege. In B. Thoß, & H.-E. Volkmann (Hrsg.), *Erster Weltkrieg / Zweiter Weltkrieg - Ein Vergleich* (S. 107-131). München: Ferdinand Schöningh.
- Turner, T. P. (2001). *Controlling Pilot Error*. New York: McGraw-Hill.
- Urlaub, A. (1991). *Flugtriebwerke: Grundlagen, Systeme, Komponenten*. Berlin: Springer - Verlag.
- Uziel, D. (2012). *Arming the Luftwaffe - The German Aviation Industry in World War II*. Jefferson: McFarland & Company, Inc.
- Vetter, B. (2001). *Douglas DC-8*. GeraNova.
- Vicenzi, U. (1999). *Early American Jetliners*. Osceola: MBI Publishing Company.
- Vidulich, M. A., Wickens, C. D., Flach, J. M., & Tsang, P. S. (2010). Information Processing in Aviation. In E. Salas, & D. Maurino (Hrsg.), *Human Factors in Aviation* (S. 175-216). Burlington: Elsevier.
- von Hippel, E. (1977). *A Customer-Active Paradigm for Industrial Product Idea Generation*. M.I.T. Innovation Center.

- 
- von Hippel, E. (1986). *Cooperation between competing firms*. Book Renaissance.
- von Hippel, E. (2005). *Democratizing Innovation*. Cambridge: The MIT Press.
- von Hippel, E. (July 1986). Lead Users: An Important Source of Novel Product Concepts. *Management Science* (7), S. 791-805.
- von Hippel, E. (Januar 1978). Successful Industrial Products from Customer Ideas. *Journal of Marketing* , S. 39-49.
- von Hippel, E. (1988). *The Sources of Innovation*. New York: Oxford University Press.
- von Hippel, E., & Thomke, S. (April 2002). Customers as Innovators: A New Way to Create Value. *Harvard Business Review* , R0204F, S. 6.
- von Hippel, E., & Urban, G. (May 1988). Lead User Analyses for the Development of New Industrial Products. *Management Science* (5), S. 569-582.
- von Hippel, E., Franke, N., & Schreier, M. (2006). Finding commercially attractive user innovations: A test of lead user theory. *Journal of Product Innovation Management* (23), S. 301-315.
- Waßermann, M. (1991). Otto Lilienthal - Ein Leben für einen Menschheitstraum. In D. Lang (Hrsg.), *Hundert Jahre Deutsche Luftfahrt* (S. 9-20). Gütersloh: Bertelsmann Lexikon Verlag.
- Wagenführ, F. (1927). *Handbuch der Flugzeugkunde - Riesenflugzeuge* (Bd. IV). Berlin: Richard Carl Schmidt & Co.
- Wagner, W. (1987). *Der deutsche Luftverkehr - Die Pionierjahre 1919-1925*. Koblenz: Bernard & Graefe.
- Wagner, W. (1989). *Der deutsche Luftverkehr - Die ersten Strahlflugzeuge der Welt*. Koblenz: Bernhard & Graefe Verlag.
- Walker, S. J. (1993). Navigationssysteme. In D. H. Middleton, *Avionik* (S. 147-152). Berlin: Transpress.
- Welch, J. F. (1995). *Van Sickle's Modern Airmanship*. New York: TAB Books.
- Wiegand, F. (März 1936). Hochwertige Leuchtfarben für Flugzeugbordgeräte. *Luftwissen* 3 (3), S. 78.

- 
- Wiener, E. L., & Curry, R. E. (1987). Automation im Cockpit. In R. Hurst, & L. Hurst (Hrsg.), *Flugunfälle und ihre Ursachen* (S. 108-135). Stuttgart: Motorbuch Verlag.
- Wiener, E. L., & Curry, R. E. (1982). Flight-Deck Automation: Promises and Problems. In R. Hurst, & L. Hurst (Hrsg.), *Pilot Error: The Human Factors* (S. 67-86). London: Granada.
- Wilson, M. W. (1993). Die Entwicklung der Avionik. In D. H. Middleton (Hrsg.), *Avionik* (S. 8-24). Berlin: Transpress.
- Wohl, R. (1996). *A Passion for Wings: Aviation and the Western Imagination, 1908-1918*. New Haven: Yale University Press.
- Yenne, B. (2010). *The Story Of the Boeing Company*. Minneapolis: Zenith Press.
- Zachmann, K. (2008). Technik, Konsum und Geschlecht - Nutzer/innen als Akteur/innen in Technisierungsprozessen. In P. Lucht, & T. Paulitz (Hrsg.), *Recodierungen des Wissens: Stand und Perspektiven der Geschlechterforschung in Naturwissenschaften und Technik* (S. 69-86). Frankfurt / New York: Campus Verlag.
- Ziegler, C. A. (1994). Weapons Development in Context: The Case of the World War Balloon Bomber. *Technology & Culture* (35), 750-767.



---

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elliott Instrument Board (Quelle: Flight, 14. September 1912, S. 840)	44
Abbildung 2: Cockpit F.VII / 3m (Quelle: Flight, 16. Januar 1931, S. 49).....	109
Abbildung 3: Cockpit Fokker F.XX (Quelle: Flight, 5. Oktober 1933, S. 994).....	110
Abbildung 4: Radiation Pattern (Quelle: Autor).....	124
Abbildung 5: Hawker Tomtit (Quelle: Flight, 8. November 1929, S. 1181) .....	130
Abbildung 6: Vickers Victoria (Quelle: Flight, 6. Oktober 1932, S. 934).....	131
Abbildung 7: Doolittle´s 1929 Flight (Quelle: Coombs, 1990, S. 75).....	133
Abbildung 8: Horizontanzeige Varianten (Quelle: Coombs, 1990, S. 76) .....	134
Abbildung 9: Basic Six (RAF Version) (Quelle: Autor) .....	139
Abbildung 10: Landehilfe Liverpool Speke (Quelle: Gunston, 1990, S. 187) .....	145
Abbildung 11: Lorenz Landesystem (Quelle: Gunston, 1990, S. 187) .....	146
Abbildung 12: Cockpit Boeing 247 (Quelle: Coombs, 2005, S. 77) .....	153
Abbildung 13: Cockpit Douglas DC-3 (Quelle: Coombs, 2005, S. 79).....	154
Abbildung 14: Boeing 80A (Quelle: <a href="http://www.museumofflight.org">www.museumofflight.org</a> ) .....	158
Abbildung 15: The Evolution of Civil Flight Deck (Quelle: Coombs, 1990, S. 107) .	164
Abbildung 17: Mögliche Instrumentenanordnung 1953 (Quelle: CAB, 1953, S. 39)	214
Abbildung 18: Basic-T Anordnung (Quelle: Autor).....	216
Abbildung 19: Attitude Director (Quelle: Coombs, 1990, S. 186).....	224
Abbildung 20: Horizontal Situation Indicator (Quelle: Coombs, 1990, S. 186).....	225
Abbildung 21: Kapitäns Panel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8).....	270
Abbildung 22: Center Panel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8) .....	271
Abbildung 23: First Officers Panel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8) ...	273
Abbildung 24: Overheadpanel B737-130 (Quelle: Boeing, Change Order 8) .....	275

