

Blindflug. Instrumente und Psychotechnik des Piloten¹

Puis, quand ses doigts le connurent bien,
il se permit d'allumer une lampe,
d'orner sa carlingue d'instruments précis,
et surveilla sur les cadrans seuls,
son entrée dans la nuit, comme une plongée.

Antoine de Saint-Exupéry, 1931

I. Einstieg

Einsinken in den Sitz, um die Maschine spüren zu können; Platzierung der Notlampe, die im Fall eines Falles die Instrumente beleuchten kann; Überprüfung der elektrischen Schalttafel und Abtasten der einzelnen Hebel, um wie ein Blinder im Dunkeln alle Instrumente bedienen zu können; dann Eintauchen in die Nacht. Der Pilot Fabien aus Antoine de Saint-Exupérys *Nachtflug* kann es in vollen Zügen genießen, da ihm die radioaktiv leuchtenden Anzeigen des künstlichen Horizonts, des Höhenmessers und des Tourenzählers Sicherheit geben. Die Beschreibung dieser Flugetappe markiert einen Bruch in der Luftfahrtgeschichte: den Wechsel vom Fliegen nach Gefühl² zum Fliegen nach Instrumenten. Pilot Fabien legt großen Wert darauf, die Vibrationen seines Flugzeugs zu spüren, um die richtigen Steuerbewegungen zur Stabilisierung vornehmen zu können, doch weiß er, dass dieses *fliegerische Gefühl* trügt und er besonders bei einem Nachtflug auf die Instrumente angewiesen ist.

Die Pioniere der Luftfahrt, die noch wenige und nur unpräzise Instrumente zur Verfügung hatten, setzten auf dieses *fliegerische Gefühl*, um die Fluglage zu erkennen. Die Flughöhe schätzten sie mit den Augen ein, die Drehzahl und die Geschwindigkeit lauschten sie dem Motorgeräusch und dem Pfeifen der Spanndrähte ab.³ Der Pilot war der Organisationsmittelpunkt in der Maschine und somit der unangefochtene »Herr im Flugzeug«.⁴ Die Instrumente sollten ihm die Arbeit erleichtern, oft sah er sie aber nur als unnötigen Ballast an. Wurde ein Flugzeugführer als *Instrumentenflieger* bezeichnet, wertete ihn dies in seiner fliegerischen Qualifikation ab.⁵ Im Zuge der Entwicklung von besseren Flugzeugen und der damit verbundenen zunehmenden Instrumentierung veränderte sich der Status des Piloten. Die Instru-

mente wurden immer wichtiger, so dass sich der Pilot in der Rolle des Koordinators wiederfand. Selbststeuerungssysteme machten ihn schließlich gar nur zu einem Glied in der Regelkette.

Diese Veränderung im Verhältnis von Pilot und Instrument seit der ersten Installation von Instrumenten in Flugzeugen bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs soll hier näher beleuchtet werden. Im Rekurs auf psychotechnische Untersuchungen von Mensch und Gerät werde ich versuchen, den lebenswissenschaftlichen mit dem eher technischen Diskurs zu verknüpfen und in der Analyse dieses Zusammenhangs Aspekte der Entstehung und Etablierung des Blindflugs zu klären. Methodisch orientiere ich mich an Michel Foucaults Analytik dispositiver Strukturen,⁶ welche die Relationalität von sich gegenseitig beeinflussenden heterogenen Elementen wie Diskursen, Institutionen, wissenschaftlichen Ergebnissen etc. zu erfassen erlaubt.⁷ Im ersten Abschnitt werden exemplarisch einige Aspekte der Geschichte von Flugzeuginstrumenten dargelegt, um dann die psychotechnische Generierung des Piloten zu betrachten. Schließlich werde ich versuchen, diese beiden Diskurse und Gegenstandsbereiche aufeinander zu beziehen. Ihr Zusammenspiel verändert das Verhältnis von Mensch und Instrument; das Dispositiv erweist sich als veränderlich. Im Lauf der Zeit verlagern sich die Gewichtungen im Gefüge und einzelne Elemente übernehmen neue Funktionen.⁸ Die Analyse dieses Gefüges soll herausfinden, inwieweit solche Instrumente als *Medien* bezeichnet werden können, die in ihrer Funktion als Schnittstellen den Datenstrom nicht nur regulieren und regieren, sondern auch die Grenzen zwischen den Räumen Labor, Flugsimulator und Cockpit verwischen. Die lebenswissenschaftlichen und technischen Untersuchungen bündeln sich im Dispositiv Cockpit, womit die Frage aufgeworfen wird, wie Flugzeuginstrumente in ihrer Anordnung die Piloten beeinflussen.⁹ Der Flugzeugführer muss im Umgang mit den technischen Geräten bestimmte Fähigkeiten ausbilden, da diese Geräte in ihrer internen Systematik und Anordnung bestimmte Verhaltensweisen generieren. Da ich mit Lyotard Dispositive als »Schaltorganisationen« betrachte, welche »die Aufnahme und Abgabe der Energie in allen Bereichen kanalisieren und regulieren«, ¹⁰ werden in der folgenden Untersuchung auch arbeitswissenschaftliche und psychotechnische Aspekte zu erörtern sein.

II. Instrumentencheck

Im Jahr 1851 präsentierte der Physiker Léon Foucault einer breiten Öffentlichkeit sein wohl berühmtestes Experiment: Nach mehreren Vorversuchen installierte er im Pariser Panthéon ein Pendel, das »eine sichtbare Anzeige von der täglichen Bewegung [der Erde]«¹¹ lieferte. Zweifel an der Eigenrotation der Erde wurden in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts von den Naturwissenschaften nicht mehr zugelassen, doch der Beweis, der diese Eigenrotation unmissverständlich sichtbar machen konnte, fehlte noch.¹² Insofern beeindruckte weniger die Tatsache, dass die Erde

sich dreht, als vielmehr, *wie* sie sich dreht, da die sichtbare Anzeige des Pendels diese Drehung deutlich vor Augen führte. Dank seiner Trägheit verlässt das Pendel die Bahn seiner Schwingungsebene nicht, so dass sich die Erde unter dem Pendel hinweg dreht. Anders sieht es der Zuschauer, für den das Pendel scheinbar seine Schwingungsebene langsam aber stetig verändert. Das Experiment war ein voller Erfolg. Man konnte nicht nur quantitative Messungen vornehmen, sondern der Schauversuch zog auch ein großes Publikum an. Es wundert nicht, dass kurze Zeit später an verschiedenen Orten »Foucaultsches Pendel« installiert wurden.¹³

Interessanter für unsere Untersuchung ist allerdings das Nachfolgeexperiment, welches Foucault etwa ein Jahr später der Öffentlichkeit vorstellte. Um die Anzeige der Erdrotation zu verbessern und das Experiment zu erleichtern konstruierte er einen Kreisel, der in einem Kardangehänge angebracht war, um ihn über drei Achsen drehbar zu machen; wenn er in schnelle Bewegung versetzt wurde, behielt er seine Drehebene bei und zeigte so mit Hilfe eines Mikroskops ebenfalls die Rotation der Erde an. Allerdings war das Ergebnis nicht befriedigend, da die Umdrehungsgeschwindigkeit des Kreisels nicht lange genug beibehalten werden konnte.¹⁴ Außerdem ließ sich die Reibung nicht hinreichend vermindern und der Schwerpunkt des Systems lag nicht exakt im Gehängemittelpunkt, weshalb sich eine Präzessionsdrehung bemerkbar machte.¹⁵ Daher lag es nahe, den Beweis der Erddrehung anhand einer Präzessionsdrehung zu vollziehen. Foucault klemmte den äußeren Kardanring am inneren fest und raubte so dem Kreisel eine Freiheit, so dass dieser bei Inbetriebnahme von der Erdrotation beeinflusst wurde, denn jeder frei rotierende Körper – so Foucault –, der durch eine andere Rotation beeinflusst wird, ist bestrebt, seine Drehachse der Achse des hinzugekommenen rotierenden Körpers parallel zu stellen, so dass beide Drehungen im gleichen Sinn erfolgen. Der Kreisel tendiert dazu, seine Achse der Erdachse parallel zu stellen.¹⁶ »On peut donc, par ce moyen, retrouver à peu près son méridien sans jeter un regard sur le ciel.«¹⁷ Dies stellte Foucault in einer Veröffentlichung im *Journal des Débats* fest; seitdem gilt er gemeinhin als Vordenker des Kreiselkompasses. Die Kreiselachse richtet sich in Nord-Südrichtung aus und erlaubt eine Orientierung ohne astronomische Bezugspunkte und Magnetismus. Foucault bezeichnete das Instrument schließlich als »gyroscope«,¹⁸ also als ein Gerät, das eine Drehung, nämlich die Erddrehung, sichtbar macht.

Hermann Anschütz-Kaempfe stellte ab 1902 erste Versuche an, um einen Kreiselkompass zu konstruieren. Im Anschluss an einen Vortrag vor der geographischen Gesellschaft in Wien über eine angedachte Nordpolexpedition per U-Boot war er mit der Frage konfrontiert worden, wie er denn dort navigieren wolle. Ein Kompass, der unabhängig vom Magnetfeld ist, war noch nicht produziert. Davon inspiriert, machte sich Anschütz-Kaempfe an die Arbeit¹⁹ und bezog sich dabei direkt auf die Versuche von Foucault,²⁰ um schließlich 1908 als erster einen erprobten Kreiselkompass vorzustellen.²¹ Er plante, ihn für die Kriegs- und Handelsmarine zu vermarkten, da bei den großen Dampfern und U-Booten deren Stahl und Eisen den

Betrieb des Magnetkompasses störten. Anschütz-Kaempfe dachte auch an den Berg- und Tunnelbau²² und hoffte nicht zuletzt, einen Kreiselkompass für Flugzeuge konstruieren zu können.²³

Der US-Amerikaner Elmer Sperry war der zweite Forscher, der sich nur kurze Zeit später durch die Entwicklung eines Kreiselkompasses einen Namen machen sollte. Für einen Tag hatte er das Kieler Werk von Anschütz & Co. besucht und sich dabei Einblick in die Produktion geben lassen. Da er anschließend seinen eigenen Kreiselkompass auf den Markt brachte, wurde dies von Kieler Seite sogleich als Industriespionage ausgelegt,²⁴ während von amerikanischer Seite behauptet wird, dass Sperry von seiner Europareise ziemlich unbeeindruckt zurückgekommen sei und dort keine Technologien vorgefunden hätte, die besser als seine gewesen wären.²⁵

Keiner der beiden schaffte es jedoch, auch einen Kreiselkompass für Flugzeuge zu konstruieren, da die benötigte Technik zu schwierig herzustellen war und die hohe Geschwindigkeit der Maschinen zu große Fahrtfehler verursacht hätte.²⁶ Man musste sich mit Kombinationslösungen begnügen und installierte einen Kurskreisel im Cockpit. Dieser vollkardanische Kreisel kann seine Achsenrichtung für etwa 20 Minuten annähernd beibehalten, sodass die Piloten ihren Kurskreisel in kurzen Zeitabständen mit dem Magnetkompass abzugleichen hatten. Der Magnetkompass konnte somit an einer Stelle untergebracht werden, die weniger Magnetfeldstörungen verursachte, während der Kurskreisel im Cockpit seinen Dienst verrichtete. Mit dem Fernkurskreisel wurde schließlich die manuelle Übertragung automatisiert.²⁷ Die Kreiselgeräte, zu denen auch der künstliche Horizont zählt, avancierten zu den wichtigsten Instrumenten im Cockpit. Ohne sie wäre ein Blindflug unmöglich geblieben.

An dieser hier nur knapp skizzierten Entwicklungslinie sind mehrere Aspekte hervorzuheben. Die verschiedenen Entwicklungszustände der Flugzeuginstrumente bestimmten sich nicht nur aus technischen Neuerungen, die erst Geräte wie den Kreiselkompass möglich machten, sondern wechselten im Entwicklungsverlauf auch ihr Vorzeichen. Das Gyroskop und das Foucaultsche Pendel sind Instrumente, die im Rahmen eines Experiments einen Beweis erbringen: den sinnlichen Beweis für die Rotation der Erde. Die Idee Léon Foucaults, das Gyroskop als Kompass zu verwenden, war eher ein Neben- oder Folgeprodukt dieses Experiments. Damit aber steht eine weitere These zur Diskussion: Wenn ein Versuchsaufbau den Beweis der Erdrotation erbringen soll, dann zeigt dies, dass man dieses Naturphänomen nicht unmittelbar wahrnehmen kann, sondern Instrumente beobachten muss, um das Phänomen zu erschließen. Im Experiment werden also Instrumente bei ihrer Messung (Beobachtung) beobachtet. Die Instrumente erzeugen somit ihre eigene Wirklichkeit, indem sie das Naturphänomen in einer Versuchsanordnung erfassen.

Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, inwieweit zwischen den Geräten im Labor, den Instrumenten im Flugsimulator und jenen im Cockpit eine »strukturelle Verwandtschaft« besteht und damit die Grenzen zwischen diesen Räu-

men unscharf sind. Das verbindende Glied ist die experimentelle Anordnung: Wenn ein Experimentalsystem²⁸ noch nicht vorhandenes Wissen produziert, wenn es »eine Vorrichtung zur Bearbeitung von noch unbeantworteter und zur Produktion noch ungestellter Fragen«²⁹ ist, dann trifft dies auch auf das Cockpit des Piloten zu. Die psychotechnischen Untersuchungen in den Dispositiven Labor und Flugsimulator konstituieren mit ihren Untersuchungen – und in ihrem Werden – den Typus eines idealen Piloten, der in der Konsequenz als Blindflieger eingesetzt wird. Eignungsuntersuchungen für den Pilotenberuf werfen daher nicht nur die Frage nach den Kriterien für die Selektion der Kandidaten auf, sondern eröffnen einen experimentellen Möglichkeitsraum, in dem das bestmögliche Verhältnis zwischen Mensch und Instrument erforscht werden soll.

III. Startvorbereitungen

Nicht ganz 70 Jahre nach den Versuchen von Léon Foucault sollte das Pendel erneut in den Dienst der Wissenschaft gestellt werden. Diesmal schwang es über einem Becken und verlor dabei stetig Wasser. Ein Proband, der sich für die Ausbildung zum Flieger beworben hatte, musste soviel Wasser wie möglich in einem Behälter auffangen. Wenn er eine bestimmte Menge aufgefangen hatte, hatte er nach Meinung der Versuchsleiter seine Geschicklichkeit bezüglich bewegter Objekte bewiesen und konnte zur Ausbildung empfohlen werden.³⁰ Diese Eignungsuntersuchung, die für die *Army* der Vereinigten Staaten von Amerika entwickelt wurde, hatte eher marginale Bedeutung und kam für die Fliegerauswahl im Ersten Weltkrieg zu spät.³¹ Psychotechnische Untersuchungen hatten allerdings zu diesem Zeitpunkt Hochkonjunktur. So wurden die ersten groß angelegten psychotechnischen Untersuchungen während des Ersten Weltkriegs in den Vereinigten Staaten durchgeführt.³² Die Soldaten der *Army* wurden mit Hilfe der *Army Mental Tests* rekrutiert. Ziel war es, Intelligenz und verschiedene Fähigkeiten der Soldaten festzustellen, um diese schließlich möglichst ökonomisch den einzelnen Truppenteilen zuzuordnen zu können. Da diese Tests massenhaft durchgeführt werden mussten, wurden sie so allgemein wie möglich gehalten, da sie von Soldaten mit unterschiedlicher Bildung ausgewertet wurden. Deshalb konnten die *Army Mental Tests* auch keine Aussagen über spezielle Fähigkeiten wie etwa die Eignung zum Flieger treffen, sondern die Rekruten nur entlang einer Hierarchie einordnen. Letztlich ging es darum, Rekruten ausfindig zu machen, die sich für eine Offizierslaufbahn eignen würden, oder aber jene herauszufiltern, welche die Disziplin der Armee gefährden könnten;³³ speziellere Eignungsfeststellungen hätte man in weiteren Verfahren durchführen müssen. Spätestens diese Massenuntersuchungen weisen darauf hin, dass Eignungsprüfungen ein wichtiges militärisches Hilfsmittel sind, vielleicht sogar ein »militärisches Hilfsmittel (...), das weit wirksamer ist als 42 cm-Geschütze«.³⁴ Im deutschen Reichsheer wurden Eignungsfeststellungen bereits im Jahr 1915

durchgeführt, allerdings nicht in dem Ausmaß wie bei der amerikanischen *Army*. Bei der Kraftfahrersatzabteilung der Garde in Berlin wurde unter anderem von Walter Moede und Curt Piorkowski ein Labor zur Eignungsprüfung für Kraftfahrer eingerichtet, in dem nicht nur die Fähigkeiten des Soldaten abgefragt wurden, sondern das auch zu Trainingszwecken genutzt wurde. Es galt, die Kandidaten innerhalb kürzester Zeit zum Einsatz zu befähigen. Die späteren Ausbildungszeiten wurden nach den Ergebnissen der Prüfungen festgelegt.³⁵

Mit der Etablierung der Eignungsuntersuchungen wurden Arbeitsabläufe genauestens studiert, um schließlich die Fähigkeiten festzustellen, die etwa ein Arbeiter besitzen musste, um den Bedingungen des Arbeitsablaufs gerecht zu werden. Zahlreiche Studien explorierten Neigungen und Fertigkeiten, teilten die Probanden verschiedenen Berufen zu und nahmen ihnen gewissermaßen eine eigenständige Berufswahl ab. Schließlich wurden in diesem Zusammenhang auch Maschinen, Geräte oder Instrumente näher erforscht. Hier stellte sich nicht nur die Frage, welcher Beruf welche Geräte benötigt, sondern auch, wie diese Geräte gestaltet sein sollten, damit der durch die Psychotechnik mit konstituierte Mensch in der Interaktion mit diesen Geräten die bestmöglichen Ergebnisse erzielen kann.

Im Folgenden sollen verschiedene Eignungsprüfungen für Flieger untersucht werden, wie sie seit dem Ersten Weltkrieg entwickelt und durchgeführt wurden. Dabei wird das Verhältnis zwischen dem Menschen und den Flugzeuginstrumenten eine wichtige Rolle spielen. Doch bevor man Flugsimulationen entwickeln kann, die bestimmte Fähigkeiten des Piloten bei Eignungsprüfungen ermitteln oder zu Übungszwecken dienen können, muss man zuerst klären, welche Fähigkeiten zum Steuern eines Flugzeuges notwendig sind. Der Psychologe Otto Selz untersuchte zu diesem Zweck Berichte über Flugunfälle in bayerischen Fliegerschulen aus dem Jahr 1918 und kam zu dem Schluss, dass sich etwa die Hälfte der untersuchten Unfälle auf ein Verschulden der Flieger zurückführen lasse; die andere Hälfte sei durch das Material, den Betriebsstoff oder bestimmte Gelände- oder Witterungseinflüsse verursacht.³⁶ Mehrere Unfälle deuteten auf ein spezielles Fehlverhalten des Flugzeugführers hin wie »das Unterlassen der Beobachtungen am Manometer«,³⁷ also die unzureichende Kontrolle der Bordinstrumente, was nach Otto Selz Aufschluss über die Aufmerksamkeit der Flieger gab: »Derartige Unterlassungen weisen (...) auf das Erfordernis einer genügenden Verteilungsfähigkeit der Aufmerksamkeit hin, die es dem Flugzeugführer ermöglichen muß, eine Reihe von Haupt- und Nebenaufgaben neben- und nacheinander zu erledigen.«³⁸ Der Pilot musste im Stande sein, seine Aufmerksamkeit gleichzeitig auf viele Dinge zu richten, wie der flugerfahrene Psychologe J. Hell bemerkte:

»In der Luft richtet sie [die Aufmerksamkeit, T.N.] sich vor allem auf die Instrumente (Höhenmesser, Tourenzähler usw.), außerdem in geringem Maße und nur vorübergehend auf die Flugrichtung in bezug auf die Erde. Beim Landen muß sich die Aufmerksamkeit auf eine ganze Menge außerhalb des Flugzeuges liegender Punkte richten, wie Landungszeichen, Grenze des Landungsfeldes, landende und startende Flugzeuge, sowie ganz allgemein auf die Gestalt des Geländes, und das alles, ohne daß die Instrumente im Flugzeug außer Acht gelassen werden.«³⁹

So verwundert es kaum, dass Otto Selz der Aufmerksamkeitsverteilung einen hohen Stellenwert unter den erwünschten Fähigkeiten des Piloten zuordnete.

Das *US-Department of Commerce*, das seit 1927 alle Flugunfälle des amerikanischen Luftverkehrs (den militärischen Bereich ausgenommen) untersuchte, führte in seinen Studien ebenfalls einen Großteil der Unfälle auf ein Versagen der Flugzeugführer zurück. Bei manchen Piloten wurde mangelnde Flugtechnik oder Fahrlässigkeit diagnostiziert, was sich beispielsweise durch »ein schlechtes Zusammenarbeiten der Sinnesorgane bei der Handhabung der Flugkontrolleinrichtungen«,⁴⁰ durch eine »schlechte Wartung der Kontrollvorrichtungen« oder die »Unterlassung, sich vor Flugbeginn über das ordnungsgemäße Arbeiten der Instrumente zu vergewissern«,⁴¹ ausdrückte. Beiden Studien zufolge ist also die Aufmerksamkeit eine der wichtigsten Eigenschaften des Piloten: die Konzentration auf viele Ereignisse neben- und nacheinander, einschließlich jener Ereignisse, die im Cockpit stattfinden, also die Kontrolle der Bordinstrumente und die Koordination ihrer Daten mit dem Flugzustand. Aus der Analyse der Pilotenfehler lassen sich somit Rückschlüsse auf die Gestaltung der Eignungsuntersuchung ziehen.

Die erste Versuchsanordnung zur Auswahl von Fluganwärtern wurde in Deutschland im Jahr 1916 unter der Leitung von William Stern konstruiert.⁴² Im Rahmen der Prüfungsaufgaben musste der Boden- und Luftraum beobachtet werden, um bei der Erfassung einer feindlichen Stellung Bomben abwerfen zu können. Dazu wurde eine sich abrollende Bandschleife am Boden angebracht, auf der eine Landschaft mit feindlichen Stellungen aufgemalt war. Beim Auftauchen eines Zielobjekts und bei dessen Erfassung durch das Visier musste durch Betätigung der auf einem Tisch angeordneten Taster reagiert werden. Außerdem befand sich vor dem Probanden ein Projektionsfeld, an dem verschiedene Pfeile aufleuchteten; auch hier musste die Versuchsperson mit dem Niederdrücken verschiedener Taster reagieren, um die Erfassung eines Reizes zu bestätigen.⁴³ Diese Versuchsanordnung sollte die Aufmerksamkeits- und Beobachtungsleistung⁴⁴ der Anwärter testen, die Handhabung eines Instruments – des Bombenvisiergerätes – diente eher den Zwecken der *realitätsnahen* Versuchsgestaltung.⁴⁵ Es zeigt sich also, dass man schon bei diesen Fliegerprüfungen auf die Versuchseinbettung Wert legte und im Ansatz bereits auf eine Flugsimulation abzielte. Ein Zusammenhang zwischen Labor, Flugsimulation und realem Flug wird erkennbar. Anstelle dieser wirklichkeitsnahen und komplexen Versuchssituationen wären auch Prüfungen denkbar, welche die Eignung der Versuchspersonen mit mehreren Teilprüfungen abfragen. Aber man bemerkte bereits früh, dass es Teilprüfungen nicht leisten konnten, die Versuchspersonen zu motivieren; die »Lebensferne der Teilversuche«⁴⁶ untergrub eine engagierte Beteiligung. Man setzte also auf komplex angelegte Versuche, welche das Fluggefühl unter Laborbedingungen herstellen sollten, damit »die Versuchsperson in seelisch ähnlicher Weise beansprucht wird wie beim Flugakt«.⁴⁷

In den 1920er Jahren unternahm man Versuche, die das Gleichgewichtsgefühl, das Lageempfinden und die sensomotorischen Reaktionen der Piloten überprüfen

und verbessern sollten.⁴⁸ Unter anderem wurden Experimente mit einem Neigungstuhl durchgeführt, in dem die Versuchsperson wie im Pilotensitz festgeschnallt wurde. Der Versuchsleiter brachte den Stuhl in Schräglage und forderte die Versuchsperson auf, mit verbundenen Augen und mittels eines Steuerknüppels wieder eine horizontale Lage des Geräts herzustellen.⁴⁹ Dabei war das *fliegerische Gefühl*, das auch als Verschmelzung von Mensch und Maschine gedeutet wurde,⁵⁰ eine wichtige Qualität. Hingegen spielten Flugzeuginstrumente eine untergeordnete Rolle, denn »[w]er ›Gefühl‹ für das Flugzeug hat, wird sämtliche Instrumente in der Maschine nur als Hilfs- und Kontrollmittel ansehen und sich vorherrschend auf sein ›Gefühl‹ verlassen.«⁵¹ Der aufkommende Instrumentenflug sollte dann allerdings deutlich zeigen, dass man als Pilot seinen Sinnesorganen nicht trauen kann; so versagt das statische Organ beim Durchflug von Wolkenschichten, weshalb selbst bei einem Tagesflug die Orientierung durch Flugzeuginstrumente unerlässlich ist.

Mit dem Aufstieg des Flugsimulators, der von der Einführung des Instrumentenfluges nicht zu trennen ist,⁵² gewannen die Experimente zur Sinnfälligkeit der Instrumente an Bedeutung. Das Cockpit wurde nicht nur mit immer mehr Instrumenten ausgestattet – während 1924 ein Flugzeug knapp über zehn Geräte besaß, hatte es vierzehn Jahre später weit über 40 Instrumente⁵³ –, es galt auch, die Instrumente in ihrer Funktion zu verbessern. Das Instrument wurde zentraler Untersuchungsgegenstand, um ein optimales Zusammenspiel von Mensch und Gerät zu erreichen. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

An der *Technischen Hochschule Berlin* wurden in den 1930er und 1940er Jahren verschiedene Versuche mit einer Fliegerdrehkammer angestellt.⁵⁴ Die Kammer war um ihre Hochachse drehbar gelagert, sodass Kursänderungen als Steuerungsvorgang vorgenommen werden konnten. Die Versuchsperson hatte in der Kammer das übliche Steuer und verschiedene Bordinstrumente vor sich. Sollte ein Blindflug simuliert werden, wurde die Kammer komplett abgedunkelt. Der Versuchsleiter konnte in derselben Drehkammer Platz nehmen und, durch eine Trennwand abgeschirmt, die Ausführung der Aufgabe überwachen. Verschiedene Funktionen ließen sich nun für diese Kammer vorstellen. Erstens wollte man sie zu Schulungszwecken einsetzen, da die Ausbildung mit echten Flugzeugen teuer und zeitaufwendig war; zweitens wollte man sie zur Eignungsuntersuchung heranziehen; drittens führte man Experimente zur Sinnfälligkeit⁵⁵ verschiedener Instrumente durch.

So stand Ende der 1930er Jahre die Sinnfälligkeit der handelsüblichen Wendeweiger und Kompass auf dem Prüfstand. Der Wendeweiger zeigt an, ob das Flugzeug geradeaus oder eine Kurve fliegt. Bei einer Kurve nach rechts oder links schlägt der Zeiger des Instruments nach rechts oder links aus. Das gleiche gilt für den Kompass: Weicht eine Maschine rechts vom Kurs ab, wandert auch die anzusteuernde Kursmarke nach rechts aus. Wenn man davon ausgeht, dass eine Reaktion nach jener Seite erfolgen wird, auf der auch der Reiz ausgelöst wird, so wären diejenigen Instrumente sinnfälliger, die den optischen Reiz auf jener Seite auslösen, in deren Richtung gesteuert werden soll. Bei einem Sichtflug, den der Blindflieger ja

immer zuerst lernt, wandert bei einer Abweichung vom Kurs eine am Horizont gewählte Sichtmarke bei einer ungewollten Linkskurve nach rechts aus, das heißt die Kurssteuerung muss nach rechts erfolgen. Die Seiten von Reiz und Reaktion stimmen hier überein. Und da der Blindflieger zu Beginn der Ausbildung geneigt ist, Vergleiche zwischen Außenwelt und Innenwelt zu ziehen, erscheint es sinnfälliger, diese Instrumente gegenläufig zu konstruieren. Denn damit würde das Instrument angeben, in welche Steuerrichtung korrigiert werden muss, um den Kurs zu halten⁵⁶ – so jedenfalls die These der Versuchsleiter. Verschiedene Experimente ließen Psychologen zu dem Ergebnis kommen, »dass die Ausschlagrichtung der handelsüblichen Flugkompassse und wahrscheinlich auch der gebräuchlichen Wendezeiger un zweckmäßig und wenig sinnfällig ist.«⁵⁷

Interessant an dieser Versuchsreihe ist, dass sich das Instrument verwandelt. Aus einem Anzeigegerät, das der Pilot ablesen und interpretieren muss, wird ein Instrument, das Befehle gibt: Die Anzeige des Gerätes gibt hier schon direkt die Steuerbewegung vor. Mit der Konstruktion solch sinnfälliger Geräte wird gewissermaßen die militärische Befehlsstruktur in das Cockpit übertragen. Militärische Disziplin kann nur aufrecht erhalten werden, wenn der Befehl den Gehorsam der Befohlenen nach sich zieht. In dieser Hinsicht ist der Befehl ein unmittelbarer Reiz, der befolgt, aber nicht verstanden werden muss. Die sinnfälligen Instrumente im Cockpit übernehmen dieses Prinzip: Wenn die Richtung des Zeigerausschlags die Richtung der Steuerbewegung angibt, liefert das Instrument seine Lektüre gleich mit. Der Mensch wird – zugespitzt formuliert – zur Rückkopplungsmaschine.

Die Versuche in der Fliegerdrehkammer zeigen deutlich, was bereits die ersten Flugsimulatoren am Ausgang des Ersten Weltkrieges andeuteten: Die Grenzen zwischen verschiedenen Bereichen werden unscharf. Die Experimentalanordnungen des Forschers im Labor untersuchen nicht nur den Menschen zur Eignungsfeststellung, sondern überprüfen auch die Praktikabilität der Bordinstrumente; auch ist die Fliegerdrehkammer ein Flugsimulator, der den Piloten zu Übungszwecken dienen kann und dabei das Verhältnis zwischen Mensch und Instrument auswertet. In jeder Hinsicht ist der Flugsimulator also ein ökonomisches Gerät: Neben der Kostenreduzierung bei der Ausbildung wird nicht nur das Subjekt psychotechnisch untersucht, sondern auch das Objekt; nicht nur die Reaktionen und Verhaltensweisen des Menschen werden genauestens studiert, sondern auch das Instrument selbst. Diese Ökonomie wird durch das Verhältnis zwischen Mensch und Instrument bestimmt. Um die Energieflüsse des Menschen bestmöglich zu regulieren und auszunützen, sind kurze, instinktive Reaktionen des Menschen gefragt, die durch eine möglichst sinnfällige Anzeige der Instrumente ausgelöst werden sollen. In diesem Sinne ist der Ort der Flugsimulation auch immer der Ort des Forschers, der durch Experimentalanordnungen bestimmt wird. Mensch und Instrument passen sich stetig aneinander an, indem Mensch und Gerät durch Mensch und Gerät studiert werden. Der Flugsimulator ist der Ort, an dem sich das Verhältnis von Instrument und Mensch im Dispositiv ständig neu formiert.

Wenn Mensch und Instrument sich durch die experimentellen Untersuchungen annähern, bedeutet dies nichts anderes, als dass es für den Piloten notwendig ist, die Bordinstrumente – ganz im Sinne von Marshall McLuhan⁵⁸ – an seinen Körper zu binden, d. h. die Zeit zwischen Reiz und Reaktion zu verkürzen, um den steigenden Anforderungen im Luftverkehr gerecht zu werden. Die Abhängigkeit gegenüber den Bordinstrumenten verlangt vom Piloten eine Spezialisierung des Sehsinnes, denn 88 Prozent aller Verrichtungen im Cockpit sind Reaktionen, die auf visuelle Reize erfolgen, zwanzig Prozent der Reaktionen werden durch den Hörsinn ausgelöst, dreizehn Prozent aller Verrichtungen folgen auf kinästhetische, taktile oder haptische Reize – der Bereich des so genannten *fliegerischen Gefühls*.⁵⁹ Diese Zahlen belegen, dass dem Auge im Cockpit eine herausragende Stellung zukommt, was in erster Linie auf das Ablesen der Instrumente zurückzuführen ist, – also auf dem Umgang mit den technischen Prothesen beruht. Die anderen Sinne und das *fliegerische Gefühl* hingegen spielen eine immer geringere Rolle, werden nahezu abgeschnitten; das Auge wird in seiner Reichweite beschränkt: Im Cockpit ist es hoch spezialisiert, während allerdings die Orientierung nach Bodensicht nicht mehr erwünscht oder gar nicht möglich ist. Die Abhängigkeit von den Instrumenten zeigt sich an dem Umstand, dass sich im Lauf der Zeit herausstellte, dass man selbst bei guter Sicht besser nach Instrumenten fliegt.⁶⁰

Die Verschränkung von Mensch und Instrument ist auch in Ernst Jüngers *Der Arbeiter*⁶¹ beschrieben, ein Werk, das sich, 1932 geschrieben, als ein zeitgenössischer Parallel-Text zu diesen flugtechnische Entwicklungen lesen lässt. Der Arbeiter – »ein Mensch des Maßes und der Ordnung, dem Norm und Ziffer zugeordnet sind«⁶² – lebt in einem »sehr präzise, sehr konstruktiv gewordenen Raum mit seinen Uhren und Messapparaten«,⁶³ ein Raum also, der den Charakter eines Labors hat. Und dies ist auch notwendig, denn der totale Arbeitscharakter, der von Jünger gefordert wird, muss auch auf psychotechnische Untersuchungen zurückgreifen.

»So wird es zum Beispiel gegen Ende des Krieges immer schwieriger, den Offizier zu unterscheiden, weil die Totalität des Arbeitsvorganges die Klassen- und Standesunterschiede verwischt. Einerseits erzeugt die Kampftätigkeit innerhalb der Truppe einen einheitlichen Schlag von erprobten Vorarbeitern, andererseits mehren sich wichtige Funktionen, deren Besetzung eine neuartige Auslese erforderlich macht. So ist etwa der Flug und im besonderen der Kampfflug keine standesgemäße, sondern eine rassenmäßige Angelegenheit. Die Zahl der innerhalb einer Nation zu solchen Höchstleistungen überhaupt befähigten Einzelnen ist so begrenzt, daß die reine Eignung als Legitimation genügen muß. In den psychotechnischen Methoden sehen wir einen Versuch, der diese Tatsache mit wissenschaftlichen Mitteln erfassen will.«⁶⁴

Wenn Ernst Jünger hier die *Kampftätigkeit* als *Arbeitsvorgang* bezeichnet und in der *Truppe* einige *Vorarbeiter* ausmacht, so ist dies nur ein weiterer Beleg für den unbegrenzten Arbeitsraum, in dem die kriegerische Handlung nur eine Form der Arbeit ist. Zu der *Totalität des Arbeitsvorganges* gehört allerdings auch, dass *Klassen- und Standesunterschiede* weniger wiegen, da für spezialisierte Bereiche eine neue *Auslese* gefordert ist, die nur auf *reine Eignung* zielen kann. In den *psychotechnischen Methoden* sieht Jünger ein neues Mittel, diese Eignung zu erfassen. Er

bezeichnet »die ziffernmäßige Wertung menschlicher oder technischer Leistungen«, also die ständige Untersuchung und Bewertung von Mensch und Instrument, als »den Willen zur ununterbrochenen Bestandsaufnahme der potentiellen Energie«. ⁶⁵ Es zeigt sich »das Bestreben, fortwährend über die äußersten Grenzen der Leistungsfähigkeit unterrichtet zu sein«; ⁶⁶ daher gilt es, die ökonomisch-physikalischen Leistungen des Menschen *und* seiner technischen Werkzeuge festzuhalten. Die Werkzeuge müssen – so Ernst Jünger – »einem Zustande der Perfektion« ⁶⁷ angenähert werden. Diese Perfektion schließt nicht nur zunehmende Präzision ein, sondern auch eine gewisse Einfachheit, Einheitlichkeit und ästhetische Aussagekraft. Letzteres bedeutet nichts anderes als ein sinnvolles und ansprechendes Design, das eine optimale Bedienung garantiert. Einheitlichkeit und Einfachheit stehen für eine Normierung der Instrumente, die im Schadensfall einen schnellen Austausch ermöglichen oder beim Wechsel der Arbeitsinstrumente nur eine kurze Einarbeitungszeit verlangen.

Zur Leistungsfähigkeit von Mensch und Instrument gehört aber auch das Zusammenspiel beider. Eine »enge und widerspruchslöse Verschmelzung des Menschen mit den Werkzeugen, die ihm zur Verfügung stehen«, ⁶⁸ ist gefordert. ⁶⁹ Die technischen Werkzeuge werden als »organische Konstruktion« bezeichnet, wenn sie »jenen höchsten Grad von Selbstverständlichkeit erreicht [haben], wie er tierischen oder pflanzlichen Gliedmaßen innewohnt.« ⁷⁰ Wenn Ernst Jünger »Mensch und Technik zu einem einzigen Aktionskörper verschmilzt«, ⁷¹ bedeutet dies nichts anderes als die Verkürzung der Zeit zwischen Reiz und Reaktion, wie sie auch in Bezug auf die Flugsimulationen als problematischer Faktor betrachtet wurde. Der Reiz, der von den Instrumenten ausgeht, muss vom Menschen so schnell und sicher wie möglich mit einer bestimmten Reaktion beantwortet werden. Die Verschmelzung, die Jünger beschreibt, übertrifft die psychotechnischen Forderungen und umgeht diese Reiz-Reaktions-Zeit: Da Mensch und Instrument miteinander verbunden sind, wird der Reiz direkt an den Ort der Reaktion weitergeleitet, ohne etwa den Umweg über den Augensinn gehen zu müssen. Ernst Jünger thematisiert also in *Der Arbeiter* genau jene Aspekte, die hier diskutiert wurden: Nicht nur der Mensch wird Gegenstand der psychotechnischen Untersuchungen, sondern auch die Instrumente. Schließlich wird das Zusammenspiel beider wesentlich, woraus nicht zuletzt Normierungsbestrebungen resultieren: Normierte Flugzeuginstrumente werden von Militär und Luftfahrtindustrie in demselben Maße gefordert wie ein normierter Pilotentypus. Berufseignungsprüfungen zielen immer darauf ab, »eine feste Norm zu erhalten (also Messwerte, die ihre Gültigkeit mehr oder weniger unverändert behalten), mit welcher jede beliebige Leistung verglichen werden kann.« ⁷²

Die Elemente im Gefüge von Instrument, Mensch und wissenschaftlicher Forschung wurden neu gewichtet. Die ersten Eignungsprüfungen für Piloten thematisierten die Instrumente noch kaum; sie dienten in erster Linie dazu, Wissen über den Beruf des Piloten zu erlangen. Als Folge erkannte man allerdings den positiven Einfluss sinnfälliger Instrumente auf den Steuerungsvorgang, so dass die Instru-

mente an Bedeutung gewannen und der Mensch *entmacht* wurde: Die Bordinstrumente übernahmen nicht nur immer mehr Funktionen, sondern beschnitten den Menschen in seiner Entscheidungsfreiheit: Das anzeigeprogrammierte⁷³ Handeln gleicht den Reaktionen auf militärische Befehle, die nicht reflektiert werden sollen. Dem normierten Instrument folgte ein normierter Menschentypus.

IV. Instrumentenflug

Verschiedene Rundflüge im Jahr 1911 überzeugten die Bevölkerung Deutschlands (und anderer Länder) von der Leistungsfähigkeit und Bedeutung des Flugzeugs,⁷⁴ legten aber auch die größte Schwierigkeit der Luftfahrt offen: die Orientierung. Wer bei Rundflügen als Sieger hervorgehen wollte, musste nicht nur die leistungsfähigste Maschine besitzen, sondern auch mit Karte und Kompass umgehen können, wobei zu bemerken ist, dass im Jahr 1911 nicht einmal der Kompass zur Standardausstattung der Flugzeuge zählte.⁷⁵ Die Piloten oder deren Begleiter glichen folglich ständig geographische Besonderheiten wie Flüsse, Berge, Eisenbahnlinien oder hervorstechende Bauwerke mit den Daten der Karte ab und bemühten sich, den eingeschlagenen Kurs mit dem Kompass zu halten. Das war kein leichtes Unterfangen: Vor jedem Flug musste die Karte gelernt werden, die Strecke wurde in Gedanken durchgespielt, manche Piloten fuhren die Strecke mit dem Automobil ab, um sich die Landschaft einzuprägen. Dennoch kam es nicht selten vor, dass sich ein Pilot verlor, weil er etwa der falschen Eisenbahnlinie folgte.⁷⁶ Ständige Bodensicht war die Voraussetzung eines erfolgreichen Fluges, Flüge zur Nachtzeit galten als Wagnis, ein Start bei Nebel war unmöglich. Der Flug nach Bodensicht unter Zuhilfenahme von Karte und Kompass war noch bis in die späten 1920er Jahre die einzig sichere Navigationsmethode. Zwar wurden in deutschen Kriegsflugzeugen bereits ab 1916 die ersten künstlichen Horizonte eingebaut, die eine Anzeige der Querlage des Flugzeuges erlaubten, allerdings waren diese Kreiselgeräte technisch noch nicht zuverlässig genug, um Blindflüge ausführen zu können.⁷⁷

In den Jahren nach dem Ersten Weltkrieg, in denen der groß angelegte Luftverkehr seine Pionierzeit erlebte, änderte sich an diesem Zustand wenig. So wurde das Liniennetz der deutschen *Luft Hansa* nur bei Tag und mit Sichtflügen betrieben.⁷⁸ Selbst die ersten Nachtflüge, die von der *Luft Hansa* am 1. Mai 1926 aufgenommen wurden, konnten nur mit Bodensicht durchgeführt werden. Die 648 km lange Strecke von Berlin über Danzig nach Königsberg wurde *sichtbar* gemacht: Im Abstand von 30 Kilometern wurden starke Drehlichtscheinwerfer und alle fünf Kilometer orange Neonleuchten installiert, die dem Piloten die Streckenführung vorgaben und somit einen Flug nach Bodensicht erlaubten. In den ersten beiden Jahren des Flugbetriebs auf dieser Strecke waren weder Todesopfer noch Totalschaden an Maschinen zu beklagen. Die Flüge waren – trotz einiger weniger Notlandungen – relativ sicher und erreichten eine Zuverlässigkeit von nahezu 100 Prozent.⁷⁹

Dieses Verfahren der Sichtbarmachung der Flugroute entwickelte sich aus dem *Schönwetterflug*. Doch selbst der Tagesflug nach Bodensicht kennt neben der Witterungsabhängigkeit eine Schwierigkeit: die Orientierung an geographischen Besonderheiten. Die wiederholte Abgleichung der Route mit Kompass und Karte hat zwangsläufig einen Zick-Zack Kurs zur Folge. Es handelt sich im strengen Sinn also um keinen *Linienflug*, denn die Luftlinie wird nur von Orientierungspunkt zu Orientierungspunkt eingehalten, da danach meistens eine Kursänderung notwendig ist. Diese stetigen Kurskorrekturen haben einen höheren Flugbenzinverbrauch, eine längere Flugdauer und somit wirtschaftliche Verluste zur Folge.⁸⁰

Die Luftverkehrsgesellschaften standen vor der Aufgabe, die Flugzeugführer, die seit Jahren nur nach Bodensicht geflogen waren, mit der Technik des Blindfluges vertraut zu machen. Seit 1927 wurden von der *Luft Hansa* Lehrgänge angeboten, die sich in zwei Ausbildungsschritte untergliederten: Zuerst wurden die Flugschüler an einer *Attrappe für Blindflugausbildung* unterrichtet, an der sie den Umgang mit den Geräten lernten. In einem zweiten Schritt wurden sie schließlich in der Maschine geschult, in der sich Lehrer und Schüler das Cockpit teilten. Interessant hierbei ist, dass der Bereich des Schülers mit einem Vorhang abgedeckt werden konnte, so dass es auch bei schönem Wetter möglich war, den Blindflug zu üben.⁸¹ Dies war nichts anderes als die Installation eines Flugsimulators in einem Flugzeug.

Wenn bereits festgestellt wurde, dass der Ort der Flugsimulation auch immer der Ort des Forschers ist, insofern als die Anordnungen im Flugsimulator ihren Ursprung in experimentellen Forschungen haben, dann wird die Frage nach den instrumentellen Anordnungen im Flugzeug relevant. Die ersten Blindflug-Lehrgänge der *Luft Hansa* zeigen, dass die Grenze zwischen diesen Räumen unscharf ist: Es genügt ein Vorhang, um bei schönem Wetter einen Blindflug zu simulieren und den Schüler zugleich in die ihm bekannte Umgebung des Flugsimulators zu versetzen. Der Instrumentenflug repräsentiert eine Simulation, indem er sich an die Verhältnisse im Flugsimulator anlehnt; das Instrumentenfliegen ist eine Operation, die aus den im Flugsimulator entwickelten Reiz-Reaktions-Mustern besteht. Der Flugsimulator, der das Verhältnis zwischen Mensch und Instrument formiert, überträgt dieses auf den Instrumentenflug, da dieser die vom Experiment modellierte Flugsimulation übernimmt. Allerdings fehlte noch ein entscheidender Schritt, um einen reinen Instrumentenflug durchführen zu können.

»Ueberwunden sind erst alle Schwierigkeiten an dem Tage, an dem ein Flugzeug, gesteuert von einem Piloten, der sich in einem abgeschlossenen Raum befindet und nichts von der Außenwelt sehen kann, nur mit Hilfe von Instrumenten, von einem bestimmten Platz startet, nach einem bestimmten Ziel hinfliegt und dort glatt landet. Die instrumentellen Mittel zur Ermöglichung eines solchen Fluges dürfen nur solche sein, die ohne weiteres bei schlechtem Wetter und vollkommener Unsichtbarkeit des Bodens ebenfalls angewandt werden können.«⁸²

Interessant an dieser Definition eines Fluges nur nach Instrumenten ist, dass der Verfasser Heinrich List das Cockpit als einen *abgeschlossenen Raum* bezeichnet. Die Sicht aus dem Cockpit heraus ist nicht mehr relevant, das Auge benötigt die

Orientierung am Boden oder im Luftraum nicht mehr. Die Instrumente sind die einzigen Apparate, die den Kontakt zur Außenwelt herstellen und somit dem Piloten eine Welt konstruieren, nach der er seine Maschine nicht nur fliegen, sondern auch starten und landen kann.

Als Pionier des Blindfluges ging Leutnant James Doolittle in die Geschichte ein, der im Jahr 1928 ein Labor für die Entwicklung des Blindfluges auf Long Island einrichtete. Bereits ein Jahr später, am 24. September 1929, konnte er von dort aus seinen ersten Blindflug mit Blindlandung durchführen. Dank präziser Blindfluginstrumente und einem System von Funkfeuern erübrigte sich der Blickkontakt mit der Außenwelt und das Cockpit konnte gänzlich mit einer Haube verdeckt werden.⁸³

Wenn man die Fluggeschichte näher betrachtet, kommt man folglich zu dem Schluss, dass bessere Flugleistungen mit dem Einsatz von Instrumenten zusammenhängen. Wenn der Pilot seinen Blick vom Boden löst und sich in erster Linie nach den Flugzeuginstrumenten richtet, kann er die kompliziertesten Flugsituationen meistern. Wenn er einen Instrumentenflug durchführt, richtet er sich nicht nach einer irgendwie gearteten *äußeren Wirklichkeit*, sondern nach dem von Instrumenten produzierten Datenraum, der Blindflüge möglich macht.

»Wenn der Pilot ohne Sicht fliegen und landen muß, dann muß er die Anzeiger der Instrumente seines Flugzeugs innerhalb genau spezifizierter Grenzwerte halten oder einer Reihe spezifischer Variationen folgen. Wenn der Pilot die Maschine nach der Landung verläßt, könnten seine Frau und seine Freunde zu ihm kommen und sagen: ›Das war ein wunderbarer Flug mit einer exzellenten Landung! Wir hatten Angst wegen des Nebels!‹ Der Pilot könnte antworten: ›Was für ein Flug? Was für eine Landung? Ich bin nicht geflogen, ich habe nur meine Anzeigergeräte in bestimmten Bereichen konstant gehalten.‹«⁸⁴

Mit diesem Beispiel umschreibt Humberto Maturana die Funktionsweise eines Organismus oder eines Nervensystems: Diese operieren als »geschlossene Systeme«, die in ihrer Dynamik nur bestimmte Zustandsveränderungen vornehmen. Ein Beobachter kann bei einem Piloten ein bestimmtes Verhalten erkennen, während der Pilot selbst dies gar nicht als seine eigene Flugleistung wahrnehmen muss. »Die anatomische und funktionale Organisation des Nervensystems sichert die Synthese von Verhalten, nicht eine Repräsentation der Welt«⁸⁵ – so lautet eine Einsicht Maturanas, die auch andeutet, dass es für den Piloten irrelevant ist, während eines Fluges die vom Cockpit unabhängige *Wirklichkeit* zu erkennen. Vielmehr muss seine Erfahrungswelt psychotechnisch derart organisiert werden, dass seine Handlungen einen sicheren Flug gewährleisten. »Wir erzeugen daher«, so folgert Maturana weiter, »buchstäblich die Welt, in der wir leben, indem wir sie leben.«⁸⁶ Mit diesen neurophysiologischen Schlussfolgerungen kann Ernst von Glasersfeld in seiner Theorie des *Radikalen Konstruktivismus* festhalten, dass es nicht notwendig ist, »daß wir die Umwelt so sehen, wie sie in Wirklichkeit ist (...), sondern (...) daß das, was wir wahrnehmen, uns zu erfolgreichem Handeln befähigt.«⁸⁷ Es geht also nicht um eine ikonische Beziehung, sondern um eine Beziehung des Passens. Eine Handlung ist

viabel, wenn sie trotz aller Hindernisse zum Ziel führt, wenn wir unsere Erlebenswelt so organisieren können, dass unser Modell von Welt im Verlauf der kommenden Erlebnisse brauchbar zu bleiben verspricht.⁸⁸ Mit Hilfe der Flugzeuginstrumente kann sich also der Pilot bestmöglich in die *Wirklichkeit* einpassen und viabel durch den Luftraum bewegen, was wiederum den Unterschied zwischen dem realen Flug und einer Simulation fraglich werden lässt.

Humberto Maturanas Biologie der Kognition und Ernst von Glasersfelds Theorie der Wissenskonstruktion stehen in enger Verbindung zur Kybernetik.⁸⁹ Deshalb liegt die Frage nach den Regelqualitäten des Menschen nahe. Der Luftfahrt-Ingenieur Thauß bemerkte 1936 in einer Rückschau, dass der so genannte manuelle Blindflug problembehaftet sei: Er fordere dauernd die höchste Aufmerksamkeit des Piloten. »Was lag also näher«, so folgerte der Ingenieur,

»(...) als die Vorgänge des Blindfluges – die ja letzten Endes nichts anderes als eine Anzahl von rein mechanischen Steueraktionen mit dem Menschen als Zwischenträger sind – automatisch durch eine maschinelle Einrichtung erledigen zu lassen? (...) [D]er Mensch mit seinen Mängeln ist sodann von der mechanischen Tätigkeit des Ablesens und Übertragens befreit worden. Damit sind Irrtümer, Zeitfehler und Ermüdungserscheinungen – die häufigsten Gefahrenquellen im Flug – ausgeschaltet worden.«⁹⁰

Bei einem Blindflug arbeitet der Pilot also wie ein mechanischer Regler. Er setzt die Reize, die ihm die Instrumente vermitteln, in Reaktionen am Steuer um. Deshalb scheint es nur konsequent, den *Zwischenträger* etwa bezüglich der Kurssteuerung aus dem Regelkreis zu entfernen, damit sich der Pilot auf jene Tätigkeiten konzentrieren kann, »zu deren Durchführung menschlicher Geist notwendig ist.«⁹¹ Während Norbert Wiener damit beschäftigt war, mit geregelten Feuerleitsystemen die feindlichen Flugzeuge vom Himmel zu holen,⁹² entwickelte Hermann Schmidt – um hier auch die Seite des Kriegsgegners zu erwähnen – seine *Allgemeine Regelungstechnik*. Die Forderung: »Alles regeln, was regelbar ist, und das nicht Regelbare regelbar machen«⁹³ – sollte sich in der Folge auch auf den Bereich der Luftfahrt ausdehnen und die Konstruktion von Autopiloten forcieren.⁹⁴

V. Landung

Der amerikanische Generalmajor William H. Tunner begann Ende Juli 1948 seinen Dienst im Luftbrückenhauptquartier in Wiesbaden, um den Gütertransport nach Berlin effizient zu organisieren. Zu diesem Zeitpunkt zeichnete es sich bereits ab, dass die Blockade Berlins länger dauern würde, so dass die Planungen neu überdacht werden mussten, um die Stadt aus der Luft versorgen zu können. Damit der Bedarf der Bevölkerung gedeckt werden konnte, mussten die Flugzeuge im Abstand von wenigen Minuten Tag und Nacht auf den Berliner Flughäfen landen. Tunner führte deshalb mehrere Rationalisierungsverfahren ein. Um die Flüge unabhängig von der Witterung gewährleisten zu können, wurde angeordnet, dass alle amerika-

nischen Piloten nach Instrumenten fliegen mussten.⁹⁵ So sollen während der Berliner Luftbrücke etwa 85.000 Instrumentenlandungen durchgeführt worden sein;⁹⁶ eine hohe Zahl, die zeigt, dass die Versorgung Berlins ohne die Bedingungen des Instrumentenfluges und der bodengestützten Anflugkontrolle in diesem Maße nicht möglich gewesen wäre. Dass relativ wenige Anflüge abgebrochen werden mussten, lag nicht zuletzt daran, dass die Piloten den Blindflug und das Zusammenspiel mit den Fluglotsen zuvor ausgiebig in einem Flugsimulator hatten üben können. Unter einigen Modellen stellte sich der *Link-Trainer* als besonders geeignet heraus.

Edwin Link hatte seine Erfindungsgabe schon in der Firma seines Vaters, der *Link Piano and Organ Company*, unter Beweis gestellt. Sein erstes Patent betraf eine Verbesserung der Klaviermechanik. Diese Erfahrungen nützten ihm auch bei der Konstruktion seines ersten Flugsimulators, dessen pneumatische Mechanismen der Technik aus dem Orgelbau sehr ähnlich waren. Diese Erfindung, die er 1930 patentieren ließ, stellte er nicht nur als Flugübungsgerät vor, sondern auch als »a novel, profitable amusement device«.⁹⁷ Diese doppelte Ausrichtung zeigt bereits, dass die Zeit für den Absatz von Flugsimulatoren noch nicht reif war, weshalb Edwin Link große Probleme hatte, seine Apparate zu verkaufen. In erster Linie wurde der Simulator zur Schulung von Fliegeranwärtern eingesetzt, die darin verschiedene Fluglagen nachvollziehen konnten. Der Flugsimulator setzte sich erst durch, als Edwin Link Instrumente einbaute, die in der ersten Version noch nicht berücksichtigt waren. Denn als der Flug nach Instrumenten eingeführt wurde, bestand auf einmal eine große Nachfrage an Simulatoren, in denen der Pilot die Handhabung der Instrumente lernen konnte. Nun verkauften sich die *Link-Trainer* weltweit. Zu den Kunden gehörten private Fluglinien und militärische Einrichtungen.⁹⁸ Auch die Piloten, die in der Berliner Luftbrücke eingesetzt wurden, waren zuvor am *Link-Trainer* ausgebildet worden. Es ging dabei nicht nur darum, den Instrumentenflug zu üben, sondern die Piloten auch an das bereits dichte Gedränge im Berliner Luftraum zu gewöhnen. Dafür wurden bis zu sieben *Link-Trainer* parallel mit einem Lotsen verschaltet, um mit Hilfe dieses Trainings im echten Einsatz ein Durcheinander und Zusammenstöße zu vermeiden.⁹⁹

Die Berliner Luftbrücke zeigt, dass der Blindflug bald zur Routinearbeit geworden war. Und so lassen sich die Effekte der Bordinstrumente in ihrer Funktion als *Medien* in einer knappen Beobachtung zusammenfassen: Je weniger sich der Pilot sinnlich an der Außenwelt orientierte und je mehr er den Instrumenten im Cockpit folgte, desto sicherer wurde das Fliegen. Die Flugzeuginstrumente vermitteln allerdings nicht bloß Daten zwischen der Außenwelt und dem Cockpit, sondern schreiben sich – etwa anhand der Präsentationsform – selbst in diese Daten ein. Damit wurde die Übertragung der psychotechnischen Laboranordnung auf die Dispositive Flugsimulator und Cockpit möglich, wodurch erst ein neuartiger Pilotentypus generiert werden konnte, der auf die ihn umgebende Technik abgestimmt wurde und noch heute im Regelkreis des Flugsteuerungssystems enthalten ist.

Anmerkungen

- ¹ Wolfgang Schäffner, Ines Schindler und Joseph Vogl danke ich für Anregungen und Hinweise.
- ² Das *fliegerische Gefühl* umschreibt eine Verschmelzung von Mensch und Flugzeug – so eine Definition in Siegfried J. Gerathewohl, *Die Psychologie des Menschen im Flugzeug*, München 1954, 133: »Das innige Zusammenwachsen mit der Maschine« erreicht der Flieger »in feinfühligster und geduldiger Anpassung seiner Bewegung an die technischen und atmosphärischen Gegebenheiten in der fliegerischen Situation.«
- ³ Vgl. Helmut Bürkle, *Instrumentenkunde*, 2. Auflage, Berlin 1942, 1.
- ⁴ Gerathewohl, *Psychologie*, wie Anm. 2, 11.
- ⁵ Vgl. Kurt Rehder, *Flugzeug-Instrumente*, 4. Auflage, Berlin 1941, 7.
- ⁶ Vgl. Michel Foucault, *Dispositive der Macht*, Berlin 1978, 119 ff.
- ⁷ Vgl. hierzu den Ansatz von Joseph Vogl, *Medien-Werden. Galileis Fernrohr*, in: *Archiv für Mediengeschichte* 1 (2001), 115-123.
- ⁸ Vgl. Gilles Deleuze, *Was ist ein Dispositiv?*, in: François Ewald u. Bernhard Waldenfelds, Hg., *Spiele der Wahrheit*, Frankfurt am Main 1991, 153-162, hier 153 ff.
- ⁹ Siegfried Zielinski hat aus medienwissenschaftlicher Perspektive auf die Definition von Jean-Louis Baudry hingewiesen, der das kinematographische Dispositiv untersucht hat. Vgl. Siegfried Zielinski, *Audiovisionen*, Reinbek 1989, 13 f. und Jean-Louis Baudry, *Das Dispositiv. Metapsychologische Betrachtungen des Realitätseindrucks*, in: *Psyche. Zeitschrift für Psychoanalyse und ihre Anwendungen* 48 (1994), 1047-1074, hier 1052 ff.
- ¹⁰ Jean-François Lyotard, *Über eine Figur des Diskurses*, in: ders., *Intensitäten*, Berlin 1978, 59-90, hier 67.
- ¹¹ Léon Foucault, *Physikalischer Beweis von der Axendrehung der Erde mittelst des Pendels*, in: *Annalen der Physik und Chemie*, hg. v. J. C. Poggendorf, 82 (1851), 458-462, hier 458.
- ¹² Siehe Camille Flammarion, *Notice scientifique sur le Pendule du Panthéon*, 2. Auflage, Paris 1902, 3.
- ¹³ Siehe C. Garthe, *Foucault's Versuch als direkter Beweis der Achsendrehung der Erde angestellt im Dom zu Köln (...)*, Köln 1852.
- ¹⁴ Léon Foucault versetzte den Kreisel durch das Abziehen einer Schnur in Drehung und konnte mit dieser Technik die Erddrehung nur etwa zehn Minuten beobachten. Der französische Wissenschaftler M. G. Trouvé konstruierte 1865 einen Kreisel, der mit einem Elektromotor angetrieben wurde und somit die Umdrehungsgeschwindigkeit konstant halten konnte. Vgl. O. Martiensen, *Die Entwicklung des Kreiselkompasses*, in: *Zeitschrift des VDI* 67 (1923), 182-187, hier 182.
- ¹⁵ Vgl. Richard Grammel, *Das System der mechanischen Beweise für die Bewegung der Erde (Teil 3)*, in: *Die Naturwissenschaften* 9 (1921), 660-665, hier 662. Diese Ausweichbewegung der Rotationsachse nennt sich in der Physik Präzession.
- ¹⁶ Die Experimente mit dem Kreisel veröffentlichte Léon Foucault in verschiedenen Zeitschriften: Léon Foucault, *Astronomie. – Sur une nouvelle démonstration expérimentale du mouvement de la Terre (...)*, in: *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences* 35 (1852), 421-424; ders., *Mécanique. – Sur les phénomènes d'orientation des corps tournants entraînés par un axe fixe à la surface de la Terre (...)*, in ebd., 424-427; ders., *Astronomie. – Démonstration expérimentale du mouvement de la Terre (...)*, in ebd., 469 f; ders., *Au Rédacteur*, in: *Journal des Débats politiques et littéraires*, 23. September 1852, 3; ders., *Académie des sciences: Séances des 20 et 27 septembre*, in ebd., 1. Oktober 1852, 1 f.
- ¹⁷ Foucault, *Académie*, wie Anm. 16, 2.
- ¹⁸ Foucault, *Mécanique*, wie Anm. 16, 427.
- ¹⁹ Vgl. Max Schuler, *Die geschichtliche Entwicklung des Kreiselkompasses in Deutschland. Teil 1: Schiffskompass*, in: *VDI-Zeitschrift* 104 (1962), 469-476, hier 469 f.

- ²⁰ Firmenschrift Anschütz, Beschreibung des Kreiselkompasses von Anschütz & Co., Kiel 1910, 7 ff.
- ²¹ Vgl. z. B. A. L. Rawlings, *The Theory of the Gyroscopic Compass and its Deviations*, London 1929, 18.
- ²² Vgl. Anschütz, Beschreibung, wie Anm. 20, 66 f.
- ²³ Vgl. Max Schuler, Die geschichtliche Entwicklung des Kreiselkompasses in Deutschland. Teil 2: Flugzeug- und Vermessungskreisel, selbsttätige Schiffssteuerung, Hilfsgeräte, in: *VDI-Zeitschrift* 104 (1962), 593-599, hier 593.
- ²⁴ Vgl. Schuler, Entwicklung (Teil 1), wie Anm. 19, 473.
- ²⁵ Vgl. Thomas P. Hughes, Elmer Sperry. Inventor and Engineer, Baltimore u. London 1971, 122. Zwischen Anschütz und Sperry entwickelte sich ein Patentstreit, der ausführlich dokumentiert ist: Dieter Lohmeier u. Bernhardt Schell, Hg., *Einstein, Anschütz und der Kieler Kreiselkompaß*, Heide in Holstein 1992.
- ²⁶ Vgl. Schuler, Entwicklung (Teil 2), wie Anm. 23, 593 f.
- ²⁷ Vgl. Bürkle, Instrumentenkunde, wie Anm. 3, 174-181.
- ²⁸ Vgl. Hans-Jörg Rheinberger, Experiment, Differenz, Schrift. Zur Geschichte epistemischer Dinge, Marburg an der Lahn 1992, 24 f.
- ²⁹ Ebd., 69.
- ³⁰ Vgl. Walter R. Miles, A Pursuit Pendulum, in: *Psychological Review* 27 (1920), 361-376.
- ³¹ Mit einer vorhergehenden Versuchsanordnung wurden 1917 einige Bewerber für die Aviation Ground School des MIT getestet. Vgl. ebd., 361 f.
- ³² Vgl. Walther Moede, Lehrbuch der Psychotechnik, Berlin 1930, Bd. 1, 431 und ders., Eignungsprüfung und Arbeitseinsatz, Stuttgart 1943, 180 f., 190 ff.
- ³³ Vgl. Clarence S. Yoakum u. Robert M. Yerkes, *Army Mental Tests*, New York 1920, xii; vgl. auch Claus Pias, *Computer-Spiel-Welten*, München 2002, 20 ff.
- ³⁴ Otto Bobertag, Psychotechnik im Dienste der Wehrmacht, in: *Industrielle Psychotechnik* 10 (1933), 229-237, hier 237.
- ³⁵ Vgl. Moede, Lehrbuch, wie Anm. 32, 431 ff.
- ³⁶ Vgl. Otto Selz, Über den Anteil der individuellen Eigenschaften der Flugzeugführer und Beobachter an Flugunfällen (...), in: *Untersuchungen über die psychische Eignung zum Flugdienst*, hg. v. Otto Lipmann und William Stern [=Heft 8 v. Schriften zur Psychologie der Berufseignung und des Wirtschaftslebens], Leipzig 1919, 96-137, hier 96-99. Diese Untersuchung diente als vorläufige wissenschaftliche Grundlage für die Einführung von Berufseignungsprüfungen für bayerische Flieger.
- ³⁷ Ebd., 120.
- ³⁸ Ebd., Hervorhebungen von Selz.
- ³⁹ J. Hell, Bemerkungen zu der Arbeit von Selz, in: *Untersuchungen*, wie Anm. 36, 138-140, hier 139. Hervorhebungen von Hell.
- ⁴⁰ K. Münnich, Der Mensch als Ursache bei Flugzeugunglücken. Eine Untersuchung an Hand der Flugunfallstatistik der US-Handelsluftfahrt, in: *Industrielle Psychotechnik* 14 (1937), 140-147, hier 141.
- ⁴¹ Ebd., 142.
- ⁴² Vgl. Siegfried Gerathewohl, Psychological examinations for selection and training of fliers, in: *German Aviation Medicine. World War II*, hg. v. The Surgeon General: U.S. Air Force, Washington 1950, Bd. 2, Kap. XI-B, 1027-1052, hier 1027.
- ⁴³ Vgl. Wilhelm Benary, Kurzer Bericht über Arbeiten zu Eignungsprüfungen für Flieger-Beobachter, in: *Untersuchungen*, wie Anm. 36, 3-34, hier 4 ff.
- ⁴⁴ Diese Eignungsprüfung wurde durch eine allgemeine Untersuchung zur Aufmerksamkeitsleistung angeregt. Siehe hierzu T. Kehr, Versuchsanordnung zur experimentellen Untersuchung

- einer kontinuierlichen Aufmerksamkeitsleistung, in: *Zeitschrift für angewandte Psychologie* 11 (1916), 465-479.
- ⁴⁵ Die Handhabung dieses Instrumentes war zu jener Zeit nicht immer nebensächlich. So verwendeten die bayerische Fliegertruppe einen Lehrapparat für Zielübungen zum Bombenabwurf. Siehe hierzu Selz, Anteil, wie Anm. 36, 136.
- ⁴⁶ Erich Stern, Über eine experimentell-psychologische Eignungsprüfung für Flugzeugführer, in: *Untersuchungen*, wie Anm. 36, 78-95, hier 88. Im Original hervorgehoben.
- ⁴⁷ Arthur Kronfeld, Eine experimentell-psychologische Tauglichkeitsprüfung zum Flugdienst (...), in: *Untersuchungen*, wie Anm. 36, 35-77, hier 40. Im Original hervorgehoben.
- ⁴⁸ Vgl. Gerathewohl, *Examinations*, wie Anm. 42, 1027.
- ⁴⁹ Vgl. hierzu die Versuche von Guido Seiffert, Die psychotechnische Prüfung des Gleichgewichtsinnes bei Fliegern, in: *Praktische Psychologie* 1 (1919), 81-87 und F. Kleinknecht, Ist der Neigungsstuhl ein Apparat zum Anlernen von Flugschülern?, in: *Praktische Psychologie* 3 (1922), 245-254.
- ⁵⁰ Vgl. Anm. 2.
- ⁵¹ Hans-Georg Gade, *Zur Psychotechnik des Flugzeugführers*, Dissertation, Technische Hochschule Danzig, Berlin 1928, 44.
- ⁵² Vgl. John M. Rolfe u. Ken J. Staples, *Flight Simulation*, Cambridge u. a. 1986, 19 ff.
- ⁵³ Vgl. Bürkle, *Instrumentenkunde*, wie Anm. 3, 1 f.
- ⁵⁴ Vgl. hierzu E. Everling, Vereinfachte Fliegerausbildung, in: *Verkehrstechnische Woche* 28 (1934), 577-582 und Wolfram Eschenbach, Eine Fliegerdrehkammer als psychotechnisches Forschungsgerät, in: *Industrielle Psychotechnik* 18 (1941), 24-28.
- ⁵⁵ Sinnfällige Instrumente ermöglichen »in der kürzesten Zeit mit den geringsten Fehlern das Betätigen der Steuerung.« – So die Definition von Otto Petersen, Ueber die Sinnfälligkeit von Blindflugmeßgeräten, in: *Industrielle Psychotechnik* 16 (1939), 225-239, hier 225.
- ⁵⁶ Vgl. ebd., 228.
- ⁵⁷ Ebd., 239.
- ⁵⁸ Vgl. Marshall McLuhan, *Die magischen Kanäle. Understanding Media*, Dresden u. Basel 1995, v. a. das Kapitel »Verliebt in seine Apparate. Narzißmus als Narkose«.
- ⁵⁹ Dass die Addition der Prozentsätze mehr als 100 Prozent ergibt, liegt an dem Umstand, dass manche Steuervorrichtungen durch mehrere Reize ausgelöst werden. Die Zahlen beruhen auf einer Untersuchung von 1947 in einer viermotorigen DC-4. Vgl. Gerathewohl, *Psychologie*, wie Anm. 2, 131 f.
- ⁶⁰ Friedrich General, *Der Flug-Simulator, eine elektronische Rechenmaschine*, in: Otto Fuchs u. a., Hg., *Starten und Fliegen. Das Buch der Luftfahrt und Flugtechnik*, Stuttgart 1958, Bd. 3, 340-349, hier 341 f.
- ⁶¹ Vgl. Ernst Jünger, *Der Arbeiter. Herrschaft und Gestalt*, Stuttgart 1982.
- ⁶² Volker Droste, Ernst Jünger: »Der Arbeiter«. Studien zu seiner Metaphysik, Göttingen 1981, 109.
- ⁶³ Jünger, *Arbeiter*, wie Anm. 61, 147.
- ⁶⁴ Ebd., 113.
- ⁶⁵ Ebd., 146.
- ⁶⁶ Ebd.
- ⁶⁷ Ebd., 174.
- ⁶⁸ Ebd., 187.
- ⁶⁹ Dies erinnert an die Operationen Ernst Ferdinand Sauerbruchs, die bei den Verwehrten des Ersten Weltkriegs durchgeführt wurden. Unterarmamputierte bekamen dabei nicht nur eine Prothese angepasst, sondern diese wurde zudem mit dem Muskelfleisch verbunden. Der künstliche Arm als Werkzeug verbindet sich mit dem Körper(inneren), vgl. Georg Schlesinger, *Psychotechnik und Betriebswissenschaft* [Bd. 1 v. Psychotechnische Bibliothek], Leipzig 1920, 139 ff.

- ⁷⁰ Jünger, Arbeiter, wie Anm. 61, 187.
- ⁷¹ Christoph Asendorf, *Super Constellation. Flugzeug und Raumrevolution*, Wien u. New York 1997, 96.
- ⁷² Franziska Baumgarten, *Die Berufseignungsprüfungen. Theorie und Praxis*, München u. Berlin 1928, 199.
- ⁷³ Am Beispiel eines künstlichen Horizonts der Firma Sperry weist der Ingenieur Waldemar Möller darauf hin, dass Instrumente aufgrund einer irritierenden Anzeige die »natürlichen Reflexe« des Piloten unterdrücken und ein »anzeigeprogrammiert[es]« Handeln fordern; zit. nach Kurt Kracheel, *Flugführungssysteme – Blindfluginstrumente, Autopiloten, Flugsteuerungen* [Bd. 20 v. *Die deutsche Luftfahrt*], Bonn 1993, 32.
- ⁷⁴ Vgl. Werner Schwipps, *Schwerer als Luft* [Bd. 8 v. *Die deutsche Luftfahrt*], Koblenz 1984, 68 ff.
- ⁷⁵ Vgl. Hans Steffen u. Otto Bertram, *Orientierung auf Überlandflügen*, Berlin 1912, 1 ff.
- ⁷⁶ Vgl. ebd., 26.
- ⁷⁷ Vgl. Kracheel, *Flugführungssysteme*, wie Anm. 73, 30 f.; F. Hücke, *Die Entwicklung des Blindfluges und seine Bedeutung für die Luftfahrt*, in: *Gesammelte Vorträge der Hauptversammlung 1937 der Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung*, Berlin 1938, 47-50, hier 47.
- ⁷⁸ Einen Überblick zu den Anfängen des deutschen Luftverkehrs gibt Wolfgang Wagner, *Der deutsche Luftverkehr – Die Pionierjahre 1919-1925* [Bd. 11 v. *Die deutsche Luftfahrt*], Koblenz 1987.
- ⁷⁹ Vgl. Hans Schueler, *Die Pionierleistungen der Lufthansa*, in: *Lufthansa Jahrbuch 1991*, hg. v. Deutsche Lufthansa AG, Köln 1991, 60-71, hier 61 f.
- ⁸⁰ Bei aller Vorsicht gegenüber Schätzungen seien hier Zahlen genannt: Hermann Röder (*Flugzeugnavigation und Luftverkehr*, Dresden 1927, 85) nimmt an, dass die *Luft Hansa* im Jahr 1926 etwa 1,200.000 Mark mehr eingenommen hätte, wenn sie die Gesamtkilometerzahl von 6,000.000 km mit exakten Navigierungsmethoden geflogen wäre (bei vollster ökonomischer Ausnutzung der Flugzeuge).
- ⁸¹ Vgl. Kracheel, *Flugführungssysteme*, wie Anm. 73, 40 ff.; Hücke, *Entwicklung*, wie in Anm. 77, 47; Karl-Dieter Seifert, *Der deutsche Luftverkehr 1926-1945* [Bd. 28 v. *Die deutsche Luftfahrt*], Bonn 1999, 250 f.
- ⁸² Heinrich List, *Probleme der Flugzeugnavigation*, in: *Jahrbuch für Luftverkehr 1925*, hg. v. Fischer von Poturzyn u. Josef M. Jurinek, München 1925, 119-125, hier 121.
- ⁸³ Vgl. Guyford Stever u. James J. Haggerty, *Der Flug*, Amsterdam 1966, 126 ff.
- ⁸⁴ Humberto R. Maturana, *Kognition*, in: Siegfried J. Schmidt, Hg., *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*, Frankfurt am Main 1987, 89-118, hier 105.
- ⁸⁵ Humberto R. Maturana, *Erkennen. Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit*, 2. u. durchgesehene Auflage, Braunschweig u. Wiesbaden 1985, 47.
- ⁸⁶ Ebd., 269.
- ⁸⁷ Ernst von Glasersfeld, *Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität*, in: ders., *Einführung in den Konstruktivismus*, 3. Auflage, München 1997, 22.
- ⁸⁸ Vgl. ebd., 30.
- ⁸⁹ Vgl. Ernst von Glasersfeld, *Radikaler Konstruktivismus. Ideen, Ereignisse, Probleme*, Frankfurt am Main 1997, 238 ff.
- ⁹⁰ A. Thauß, *Das Selbststeuergerät Siemens = »Autopilot«*, in: Roland Eisenlohr, Hg., *Flugtechnisches Handbuch*, Bd. 3: *Triebwerk und Sondergebiete des Flugzeuges*, Berlin u. Leipzig 1936, 135-142, hier 136.
- ⁹¹ Ebd., 136 f.
- ⁹² Vgl. Norbert Wiener, *Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*, 2. Auflage, Düsseldorf u. Wien 1963, 30 ff.
- ⁹³ Hermann Schmidt, *Regelungstechnik. Die technische Aufgabe und ihre wirtschaftliche, sozial-*

politische und kulturpolitische Auswirkung, in: VDI-Zeitschrift 85 (1941), 81-88, hier 81.

⁹⁴ Siehe G. Wunsch, Kurssteuerung von Flugzeugen, in: VDI-Zeitschrift 85 (1941), 89-93.

⁹⁵ Vgl. Astrid Ott, Fliegende Güterzüge, in: Uwe Förster u. a., Auftrag Luftbrücke. Der Himmel über Berlin 1948-1949, Berlin 1998, 64-78, hier 69 ff.

⁹⁶ Vgl. Jan Helbing u. Gert Klintworth, Die simulierte Luftbrücke, in: Förster u. a., Auftrag Luftbrücke, wie Anm. 95, 244-246, hier 246.

⁹⁷ Rolfe u. Staples, Flight Simulation, wie Anm. 52, 19.

⁹⁸ Vgl. ebd., 19 ff.

⁹⁹ Vgl. Helbing u. Klintworth, Luftbrücke, wie Anm. 96, 246.