Navigationscomputer, Autopiloten, Side-Sticks – in den 1940er-Jahren

Historisches zur Geschichte des Instrumentenfluges – Teil 3

Haben Sie sich schon mal gefragt, seit wann es eigentlich Sidesticks im Cockpit gibt? Oder Drei-Achs-Autopiloten? Wann wurden Navigationscomputer erstmals in der Luftfahrt eingesetzt? Seit wann gibt es das 400Hz-Wechselstrom-Bordnetz? In diesem dritten Artikel über den Beginn des Instrumentenflugs möchte ich zurück in die 1940er-Jahre gehen und einige bemerkenswerte Systeme jener Zeit vorstellen. Es erwarten Sie weitere Informationen zum automatischen Transatlantikflug von 1947 sowie die Geschichte eines Krieges auf amerikanischem Boden. Die Gegner: die Avionik-Pioniere Norden und Sperry ...

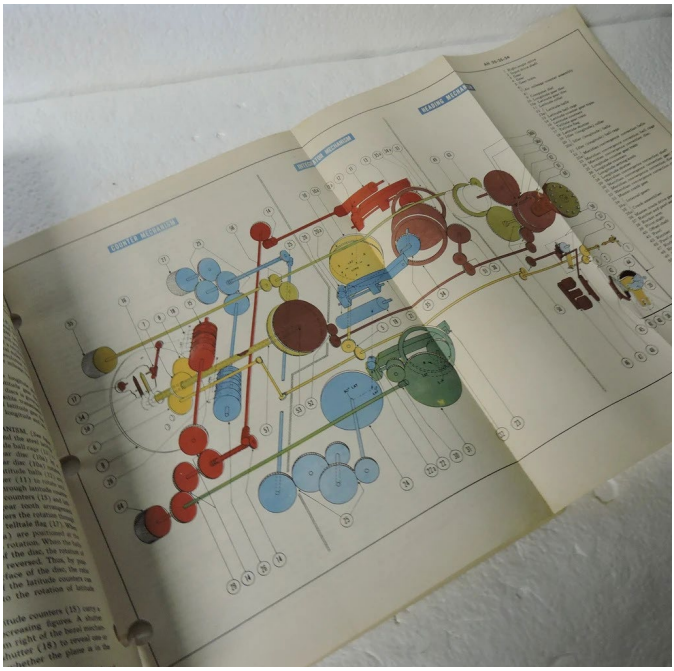
Bendix Air Position Indicator. Dieser Navigationscomputer wurde in späteren Versionen der Boeing B-29 Superfortress verwendet. Der B-29 Bomber wurde im Pazifik eingesetzt. Auch die Enola Gay, von der aus die erste Atombombe über Hiroshima abgeworfen wurde, war mit dem Instrument ausgerüstet. Bild: Aeroantique.com

Air Position Indicator

Auf den Air Position Indicator (API) bin ich bei der Suche nach der Ausrüstung der C-54 Skymaster „Robert E. Lee“ der United Air Force All-Weather Flying Division gestoßen. Dieses Flugzeug hatte 1947 den ersten vollautomatischen Flug über den Atlantik gemacht (Blindlandungen und die Einführung des ILS – Teil 2, *Pilot und Flugzeug* 2020/06).

Der Air Position Indicator gehörte zur Ausrüstung dieses Test-Flugzeugs. Ursprünglich wurde das Gerät für den B-29 Bomber entwickelt. Die B-29 war für sehr große Reichweiten ausgelegt und flog oft stundenlang über Wasser. Der API unterstützte den Navigator in erheblicher Weise. Er konnte die geflogenen Nautical Air Miles und die „Air Position“ durch Integration der Heading- und Air-Speed-Informationen berechnen.

Die Idee, die geflogenen „Air Miles“ durch Integration der Speed-Signale zu berech-



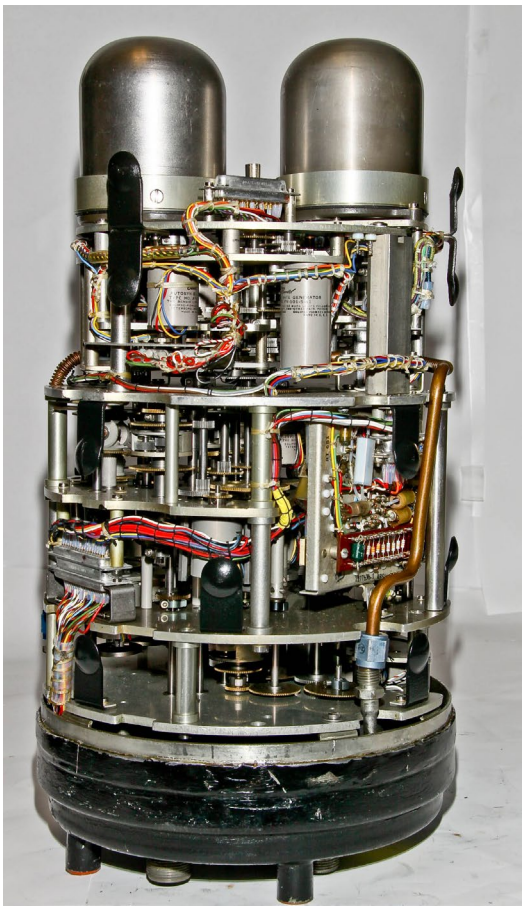
Alles ganz einfach: Der Air Position Indicator war ein elektromechanischer Computer, der aus den Heading- und Air-Speed-Signalen die sog. Air Position berechnen konnte. Bild: Aeroantique.com

nen, hatten auch die deutschen Ingenieure, die den mechanischen Navigationsrechner für die fliegende Bombe V1 entwickelt hatten. Bei der V1 erfolgte die Kurssteuerung über einen Leitstrahl. Navigiert wurde entlang dieser Linie „Dead Reckoning“, also nach Koppelnavigation. Mit dem vermuteten Wind entlang der Strecke wurden die „Air Miles“ berechnet, die der Flugkörper durch die Luft zurücklegen musste, um das Ziel trotz Windeinfluss zu erreichen. Bei der V1 erfolgte die Messung mit einem kleinen Propeller als „Integrator“. Hatte dieser die vorausberechneten Umdrehungen erreicht, wurde das Triebwerk abgeschaltet und der Autopilot gab einen Vollausschlag nach unten ...

Beim Bendix Air Position Indicator erfolgte die Bestimmung der zurückgelegten Air Miles durch Integration der True Airspeed, die mithilfe der Luftdaten ermittelt wurde. Das API-System bestand aus vier Komponenten: Ein Verstärker, der die Bauteile mit Strom versorgte, ein Controller, der eine Pumpe ansteuerte, sowie eine Pumpe, die mit Luftdruck eine Welle antrieb, deren Drehzahl proportional zur True Air Speed war. Diese flexible Welle war mit dem vierten Bauteil verbunden, dem Air Position Indicator Computer, dem Instrument, das oben abgebildet ist. Die Welle mit der True Air Speed trieb auch die „Air Miles“ Anzeige an.

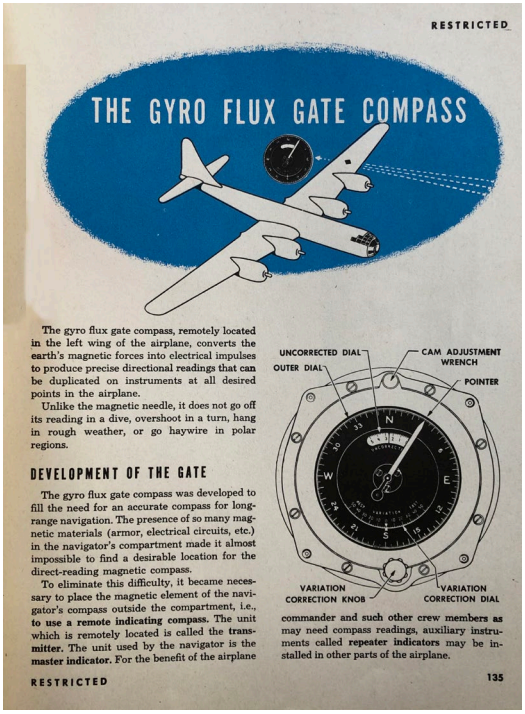
Ich habe leider keine technische Beschreibung finden können, wie im API Controller die True Air Speed bestimmt wurde. Die Berechnung dieser wichtigen Größe für die Navigation stand schon in den 1940er-Jahren ganz oben auf der Wunschliste der Entwickler, lange bevor es Computer im heutigen Sinn gab. Als Beispiel für den Aufwand, der zur mechanischen Berechnung der Luftdaten getrieben wurde, dient ein Bild des Bendix MG-1 – eines anderen frühen „Air Data Computer“, der alle Berechnungen elektromechanisch erledigte.

Über die Anzeige der Air Miles hinaus zeigte der Air Position Indicator auch die aktuelle „Air Position“ an. Für diese Berechnung wurde ständig das kreiselstabilisierte True-Heading-Signal benötigt. Dazu war der API Computer mit einem Bendix-Gyro-Flux Gate-Compass-System verbunden. Die



Bendix MG-1 Mechanical Central Air Data Computer für den F-86 Sabre Jet, das erste amerikanische strahlgetriebene Jagdflugzeug (Erstflug 1947) Bild: Glennsmuseum.com

Anzeige der Air Position war neu und erleichterte dem Navigator erheblich die Arbeit. Kurse auf der Karte werden nach True North eingetragen. Und genau wie die Kartennavigation benötigt der Air Position Indicator den True Heading und nicht den magnetischen, den das Flux Gate anzeigt. Dazu konnte der Navigator am Flux Gate Compass die Variation einstellen. Dann wurde der True Heading angezeigt. Oder er konnte die Einstellung am Air Position Indicator vornehmen. Aber auf keinen Fall an beiden Geräten. Es gab also auch für den Navigator jede Menge Möglichkeiten, Fehler zu machen ...



RESTRICTED

THE GYRO FLUX GATE COMPASS

The gyro flux gate compass, remotely located in the left wing of the airplane, converts the earth's magnetic forces into electrical impulses to produce precise directional readings that can be duplicated on instruments at all desired points in the airplane.

Unlike the magnetic needle, it does not go off its reading in a dive, overshoot in a turn, hang in rough weather, or go haywire in polar regions.

DEVELOPMENT OF THE GATE

The gyro flux gate compass was developed to fill the need for an accurate compass for long-range navigation. The presence of so many magnetic materials (armor, electrical circuits, etc.) in the navigator's compartment made it almost impossible to find a desirable location for the direct-reading magnetic compass.

To eliminate this difficulty, it became necessary to place the magnetic element of the navigator's compass outside the compartment, i.e., **to use a remote indicating compass.** The unit which is remotely located is called the **transmitter.** The unit used by the navigator is the **master indicator.** For the benefit of the airplane commander and such other crew members as may need compass readings, auxiliary instruments called **repeater indicators** may be installed in other parts of the airplane.

RESTRICTED 135

B-29 Gyro Flux Gate Compass. Der Sensor war in der äußeren linken Tragfläche. Quelle: B-29 Airplane Commander Training Manual for the Superfortress, Ausgabe 1945 Sammlung des Autors

Wie mit dem Air Position Indicator navigiert wurde

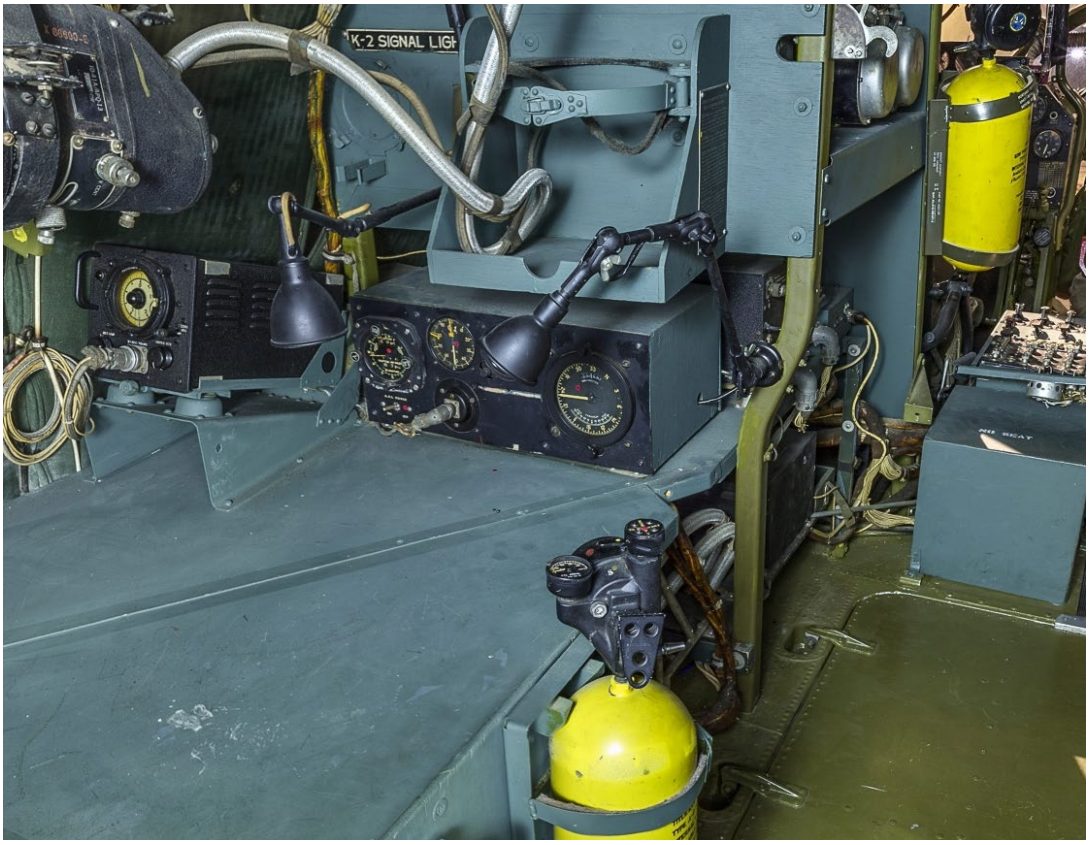
Der Air Position Indicator war ein Flugwegrechner für die Langstreckennavigation. Er war ein Instrument für den Navigator und nicht als Anzeige für die Piloten gedacht.

Heutzutage können wir uns kaum mehr vorstellen, dass die Piloten – von den ersten Funknavigationsanzeigen abgesehen – früher keinerlei Anzeige im Cockpit hatten, wo sie sich befanden. Wollte man wissen, wo man war, musste man den Navigator fragen.

Entwickelt wurde der Air Position Indicator für den B-29 Bomber, ein Flugzeug für – nach damaligen Möglichkeiten – extreme Langstrecken. Ursprünglich sollte mit den B-29 Deutschland von Ägypten aus bombardiert werden (Kairo-Berlin: 1.566 Nautische Meilen). Dann aber wurde der Bomber ausschließlich in Asien eingesetzt. Zuletzt zum Abwurf der ersten beiden Atombomben. Die Entfernung z.B. für den Flug der „Enola Gay“[1] von der Insel Tinian (100 NM nordöstlich von Guam) über Iwo Jima nach Hiroshima betrug 1.358 NM. Hin und zurück also 2.716 NM. Das entspricht ungefähr der Strecke von London nach Montreal über den Nordatlantik, eine Reichweite, die nach dem Krieg keines der ersten Langstrecken-Verkehrsflugzeuge fliegen konnte.

Hauptnavigationsmittel damals war die Koppelnavigation (Dead Reckoning). Echte Positionsbestimmungen wurden in der Regel nur stündlich durchgeführt, hauptsächlich mit Astro-Navigation, aber auch visuell, z.B. durch Überflug einer Insel oder einer anderen Landmarke. Und das blieb auch so z.B. bei den frühen Atlantiküberquerungen mit Verkehrsflugzeugen bis zur Einführung der Trägheitsnavigation in den 1970er-Jahren.

1) Die „Enola Gay“ warf 1945 die Atombombe über Hiroshima ab.



Funker/Navigator-Station der B-29 mit dem Air Position Indicator in der Mitte des Kartentisches
Bild: Foto: NMUSAF – National Museum of the United States Air Force

Alle diese Flüge hatten einen Navigator an Bord. Die Beschreibung zur Arbeit mit dem Air Position Indicator habe ich im „Navigator's Information File" der USAAF von 1945 gefunden.

Das „Navigator's Information File" hebt von allen Methoden der Navigation die Koppelnavigation besonders hervor:

„Importance:
The successful termination of any flight depends on dead reckoning. Navigators returning from all over the world – from the Aleutians, where weather is always a problem; from the Marianas, where long over-water flights are made constantly; from China, the land of no maps – stress this fact: ***Dead reckoning is the basis of all navigation****. Use it.*
Celestrial, pilotage, radio, and Loran are all aids to dead reckoning. Use them only as aids."

Dead Reckoning mit einem Navigator an Bord war eine komplizierte Sache. Wenn wir heute einen klassischen VFR-Flug ohne GPS planen, bestimmen wir die Tracks zwischen den Wegpunkten und berechnen mit dem vorhergesagten Wind die zum Vorhaltewinkel passenden Headings und die Flugzeiten. Der Navigator machte damals vor dem Flug nichts anderes. Sowie das Flugzeug unterwegs war, musste er auf der Karte die sich u.U. ständig wechselnden Headings einzeichnen und deren Länge passend zur True Airspeed und der Flugzeit markieren. Das war nicht einfach, denn die True Airspeed änderte sich dauernd: Im Steigflug und mit der Höhe, im Sinkflug und bei Turbulenz. Ebenso konnten die vorberechneten Headings nicht immer eingehalten werden: Der Steigflug nach dem Start ging schon mal in eine andere Richtung, Gewitter mussten umflogen werden etc. Um also seine Dead Reckoning Position (DR Position) zu einer bestimmten Zeit zu bestimmen, musste der Navigator den zugehörigen Punkt (Air Position) auf diesem Plot von Headings und Distanzen (die Distanzen hier sind „Air Miles", berechnet aus TAS und Flugzeit) finden und daran den passend zur abgeflogenen Zeit geschätzten Windvektor anbringen: An dieser DR-Position glaubte der Navigator dann zu sein.

Der Air Position Indicator nahm den Navigator diese komplizierte und zeitaufwendige Arbeit ab. Dennoch war die Arbeit mit dem API nicht trivial. Um den API zu benutzen, benötigte man eine Karte, Navigationsbesteck, eine genaue Uhr, Stift und am Ende für regelmäßigen Positionsbestimmungen eine Sextanten, nautische Handbücher, einen optischen „Driftmeter" und natürlich den E-6B Computer, den „Drehmeier", für alle möglichen Berechnungen.

Das Verfahren für die Arbeit mit dem Air Position Indicator war genau strukturiert:

- Vor dem Start: Die exakte Position des Flugplatzes im API eindrehen. Die angezeigten „Air Miles" im Navigationslog notieren. (Die Anzeige konnte nicht zurückgesetzt werden.) Die Variation im API Computer auf 0 setzten, im Flux Gate Compass die örtliche Variation eindrehen. API und Flux Gate Compass einschalten.
- Nach dem Start: Bei 90 MPH erste Funktionskontrolle: Die nun stabilisierte True Heading Anzeige des API und des

Flux Gate Compass müssen übereinstimmen. Die eingegebene Variation erneut kontrollieren.

- Im Flug: Regelmäßig die angezeigte Air Position des API auf der Karte eingetragen. Entsprechend dem vermuteten Wind den Windvektor anbringen: Das war dann die DR-Position.
- Fix: Spätestens jede Stunde eine Positionsbestimmung vornehmen (meist mit Astronavigation). Dieses Fix wurde zusammen mit der API-Position derselben Uhrzeit in die Karte eingetragen: Der Vektor von API-Position zum Fix war der durchschnittliche Wind seit Initialisierung, der nun für die weitere Navigation verwendet werden konnte. Nach Bestimmung eines Fixes die API-Position im Computer auf diese Position zurücksetzen, damit im weiteren Flug die API-Position nicht zu weit von der DR-Position wegläuft.
- Kein Fix möglich (z.B. in den Wolken): War es nicht möglich, eine Positionsbestimmung durchzuführen, wurde der Air Position Indicator spätestens nach zwei Stunden auf die aktuelle Dead Reckoning Position zurückgesetzt. So wurde erreicht, dass die Air Position auf der Karte nicht zu weit vom geplanten Track weg wanderte.

Damals gab es keine andere Möglichkeit, als Dead Reckoning über die Ozeane zu fliegen. Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass sich 1947 der Bendix Air Position Indicator in dem Flugzeug wiederfand, das als erstes den Atlantik vollautomatisch überquerte.

Vollautomatisch über den Atlantik

In der Ausgabe 2020/06 von ***Pilot und Flugzeug*** habe ich bereits über den automatischen Flug der US Air Force C-54 über den Nordatlantik geschrieben. Die „Robert E. Lee“ war 1947 „no-hands“, also ohne Eingreifen der Crew, vollautomatisch von Stevensville, Neufundland, nach Brize-Norton, England, geflogen. Inzwischen habe ich etwas mehr über den Ablauf des Fluges herausgefunden. Robert Hotz hatte vor dem historischen Flug und danach die Gelegenheit, das Flugzeug zu inspizieren. Er berichtete darüber in der „Aviation Week“ vom 27. Oktober 1947. Durch diesen Artikel kann ich nun folgende Informationen ergänzen:

- Der etwa schreibtischgroße „Master Sequence Selector“, das elektromechanische Herzstück der automatischen Ablaufsteuerung, war bereits die zweite Generation, die erprobt wurde. Er wog etwa 320 kg. Das Gerät war extra so groß gebaut worden, damit man es leichter modifizieren konnte.
- Für den Dead-Reckoning-Teil des Fluges wurde ein Bendix Air Position Indicator (wie oben beschrieben) verwendet. Der API ersetzte einen modifizierten Air Milage Counter aus einer erbeuteten deutschen V1, der vorher eingebaut war.
- Der „Start“ Pushbutton im Cockpit, mit dem auf der Runway mit laufenden Motoren der automatische Flug eingeleitet wurde, konnte das Flugzeug mit einer zeitlichen Verzögerung starten, die es der Crew erlaubte, vor dem Flug das Flugzeug zu verlassen.

- Neben der Möglichkeit, eine Funkstation mit dem ADF anzufliegen und ein ILS zu tracken, war das Flugzeug auch für Landungen mit dem Sperry MLS ausgerüstet (das nie in Serie ging).
- Der Sequence Selector war so flexibel ausgelegt, dass er später auch andere Navigationsdaten nutzen konnte: VOR, DME, Loran (sowie ein automatischer Empfänger realisiert worden war) und automatische Astro-Navigation (1947 ebenfalls noch nicht realisiert).
- Die Programmierung mit Lochkarten ermöglichte es, völlig individuelle Sequenzen zu programmieren, andere Routen, andere Flugprofile – auch auf anderen Flugzeugtypen. Somit war das Gerät, wenn man so will, das erste FMS (Flight Management System) der Welt.
- Das Flugzeug war neben dem Bendix Autothrottle-System mit automatischer Propeller-Synchronisation ausgerüstet.
- Die Maschine verfügte über eine automatische Bugrad-Steuerung und über automatische Bremsen.

Auch den genauen Ablauf des vollautomatischen Fluges von 1947, also die Abfolge der „Sequences“ des Master Sequence Selectors, beschrieb Robert B. Hotz in seinem Artikel:

- Startknopf gedrückt: Klappen fahren auf Startstellung, Bremsen werden gelöst, Triebwerke laufen auf Takeoff-Power hoch, automatischer Start.
- 50 Fuß Radio-Altitude: Fahrwerk fährt ein, Leistung wird auf Climb Power reduziert.
- 1.000 Fuß Radio Altitude: Klappen fahren ein. Flugzeug bleibt auf Runway Heading.
- Reiseflughöhe erreicht: Eindrehen, Dead Reckoning auf den vorprogrammierten Heading.
- Vorprogrammierte Air Milage im API wird erreicht: Autopilot beginnt das Tracking inbound zum Funkfeuer auf einem Wetterschiff mit dem ADF.
- ADF Nadel schlägt um 180° um: Station wurde passiert. Einnehmen nächster DR-Heading.
- Vorprogrammierte Air Milage im API wird erreicht: Autopilot beginnt erneut das Tracking, diesmal inbound zu einer BBC-Radiostation mit dem ADF.
- ADF Nadel schlägt um 180° um: Station wurde passiert. Einnehmen letzter DR-Heading.
- Vorprogrammierte Air Milage im API wird erreicht: Autopilot beginnt erneut das Tracking, diesmal inbound zur Compass-Locator Station der RAF Basis Brize-Norton mit dem ADF.
- ADF-Nadel schlägt um 180° um: Station wurde passiert. Approach Sequenz wird gestartet.
- Flugzeug beginnt Sinkflug und kreist dabei um das Brize-Norton Beacon.
- 2.000 Fuß Radio Altitude: Einnehmen Intercept Heading für den Brize-Norton Localizer. Fahrwerk und Klappen werden ausgefahren.
- Localizer Intercept: Flugzeug folgt dem Localizer, Autothrottle hält die Approach Speed +–2 MPH.
- Glideslope Intercept: Flugzeug folgt dem ILS bis über die Runway.
- Flare: Wird vom Radio-Altimeter ausgelöst. Allerdings lediglich eine Flugla-

geänderung in Drei-Punkt-Lage (zum Aktivieren des Bugrad-Micro-Switches), dadurch ruppige Landung.

- Bugrad-Micro-Switch schaltet: Flugzeug am Boden, Gashebel Leerlauf, Bugradsteuerung aktiv, Bremsen aktiv.

Fairchild-Maxson Line of Position Computer, 1930er-Jahre. Dies war der erste Navigationscomputer mit einer „Database“. Bild: Glennsmuseum.com

An Bord der Robert E. Lee wusste lediglich einer der RAF Beobachter, wohin die automatische Reise gehen würde. Der Rest der Crew kannte lediglich die Frequenzen der verwendeten Funkfeuer sowie den Kurs des Localizers am Zielort.

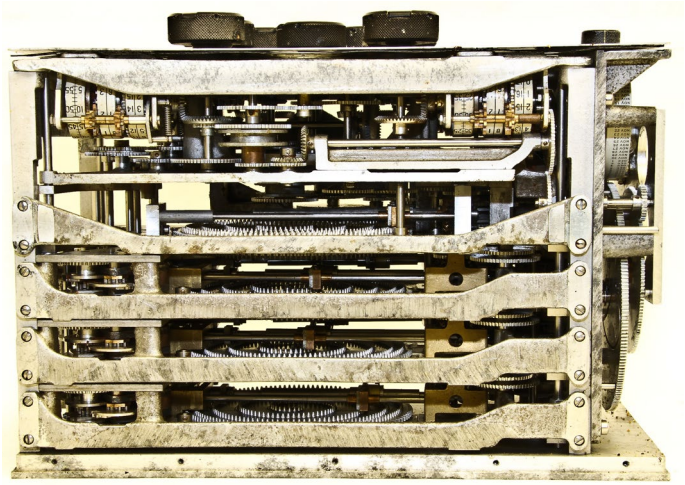
Nach dem Flug von 1947 planten die ambitionierten Auto-Flight Pioniere der USAF als Nächstes, die „Robert E. Lee“ ganz alleine, also ohne Besatzung, über den Pazifik fliegen zu lassen. Wie die Geschichtsschreibung zeigt, ist daraus nichts geworden. Die Führung der USAF hat wohl dem gesunden Menschenverstand vertraut und diese Pläne nicht genehmigt. Besser isses. Wer schon mal ein tropisches Gewitter von außen gesehen hat, weiß, dass es keine gute Idee gewesen wäre, da ein Flugzeug auf Autopilot reinfliegen zu lassen.

Astronavigation

Die Astronavigation war – wie bereits erwähnt – bis zur Einführung der Trägheitsnavigation das wichtigste Tool für den Navigator. Die Berechnungen zur Ermittlung der Position oder zumindest zu einer „Line of Position“ waren kompliziert und erforderten einen geübten Navigator. Kein Wunder, dass einer der ersten Computer an Bord von Langstreckenflugzeugen ein Hilfsmittel für die Astronavigation war.

In den 1930er-Jahren brachte Fairchild den Fairchild-Maxson Line of Position Computer heraus. Das Gerät war ein Wunder der Uhrmacherkunst, extrem teuer und der erste Navigationscomputer mit einer auswechselbaren „Database“. Einziger Kunde war das US Army Air Corps. Airlines konnten und wollten sich so etwas nicht leisten. Außerdem flogen sie in den 1930er-Jahren auch noch keine Langstrecken über den Ozeanen. Es gibt meines Wissens nur ein einziges ziviles Flugzeug, in dem der Line of Position Computer eingebaut war. Das war Howard Hughes‘ Lockheed 14 Super Electra, mit der er mit einer vierköpfigen Crew 1938 in 91 Stunden einmal um die Welt flog. Er bekam den Computer nur, weil er mit Fairchild befreundet war.

Das Line-of-Position-Verfahren war nur eine der vielen möglichen Methoden der Astronavigation. Daher ist es nicht verwunderlich, dass dieser Computer keine sehr große Ver-



Innenansicht des Fairchild-Maxson Line of Position Computer. Die „Database" war das rechts angebrachte, zusätzliche Modul aus Zahnrädern und Scheiben, in die die astronomischen Daten für jeweils ein Vierteljahr eingefräst waren. Bild: Glennsmuseum.com

militärischen Geräten auseinanderzusetzten, wenn man die Geschichte der Autopiloten verstehen möchte.

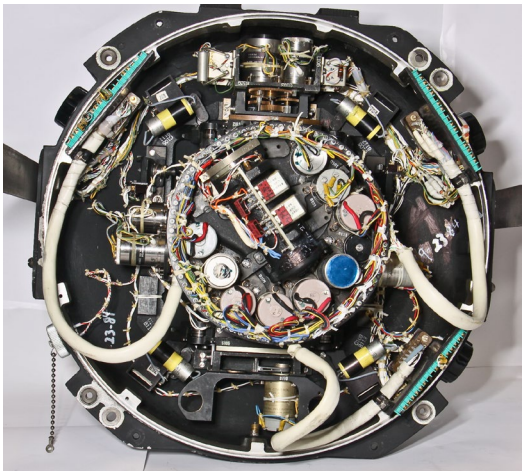
Wenn man heute in der Literatur über die Bomben-Zielgeräte des 2. Weltkriegs nachforscht, sind die ersten „Treffer" Berichte über die Norden Bombsight der USAAF, das wohl berühmteste Zielgerät der amerikanischen Luftwaffe. Dass diese Geräte schon in den 1940er-Jahren als Spitzenprodukte in den Avionik-Himmel hochgelobt wurden und dieser legendäre Ruf bis heute überdauert hat, lag nicht zuletzt an dem enormen Marketing-Aufwand der Firma Norden. Man warb mit dem „Top-Secret"-Status des Super-Geräts, obwohl dieser längst in „restricted"[2] umgewandelt worden war.

breitung fand. Dennoch träumte – wie in dem Aviation Week Artikel von 1947 erwähnt – die Air Force schon von vollständig automatisierter Astronavigation. Dieses Ziel wurde zielstrebig verfolgt und erst später (nach Einführung des Transistors) in Langstrecken-Bombern wie der achtstrahligen B-52 (Erstflug 1952) eingesetzt. Automatische Astronavigation gab es nur beim Militär, für Airlines war ein Navigator billiger. Das halbautomatische „Optical Scanning Telescope" des Apollo Guidance Computers war eine weitere spätere Anwendung der automatisierten Astro-Navigation, die heute fast nur noch in der Raumfahrt genutzt wird.

Der Bombsight-War in den USA

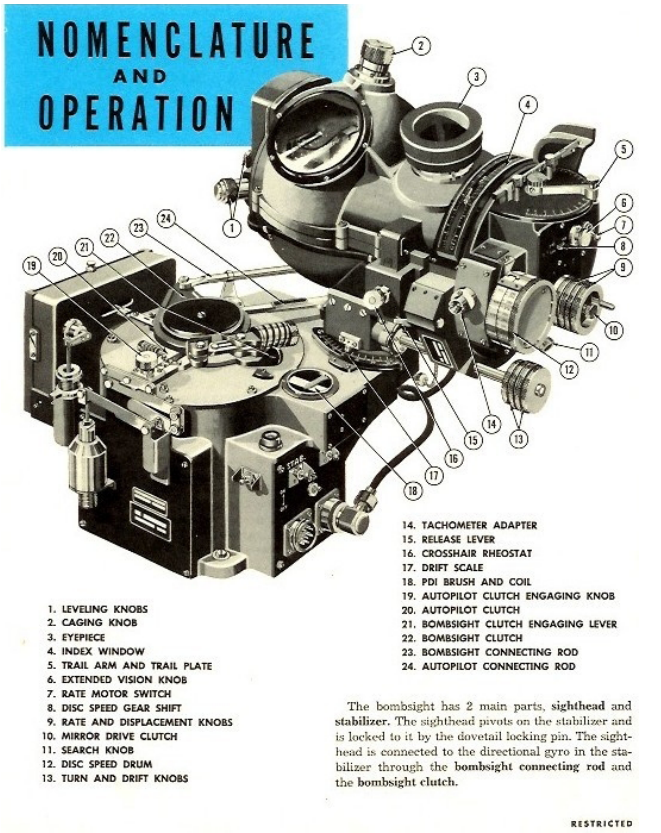
Die Fortschritte bei den ersten leistungsfähigen Drei-Achs-Autopiloten in den USA hingen ganz eng mit der Entwicklung der Bomben-Zielgeräte (Bombsights) zusammen. Deshalb ist es erforderlich, sich mit diesen

2) Ein deutscher Spion hatte Informationen weitergeleitet. Außerdem erbeuteten deutsche Stellen mehrere Norden Bombsights von notgelandeten Maschinen.



Innenleben des MD-1 Astro Navigators, der in späteren B-52-Versionen eingesetzt wurde. Bild: Glennsmuseum.com

Dann streute man das Gerücht, die Präzision des Zielgeräts erfordere beim Fadenkreuz (engl. „cross-hair“) das spezielle dünne Haar einer berühmten Blondine, der „Arcadia Mary“ genannten Mary Babnick, die auf einer Militärbasis den Soldaten das Tanzen beibrachte. Um das Gerät selbst wurde ein großer Geheimhaltungsaufwand betrieben. So musste der optische Kopf der Zieleinheit nach jedem Einsatz mit bewaffneter Begleitung in einen Norden-Raum weggeschlossen werden. Die Bombenschützen wurden eingeschworen, das Geheimnis der Bombsight notfalls mit dem Leben zu verteidigen. Noch 1945 fand sich im „B-29 Airplane Commander Training Manual for the Superfortress“ im Kapitel Notwasserung („Ditching Procedure“) folgende Anweisung:



Die berühmte Norden Bombsight, das Standard-Bomben-Zielgerät der USAAF im 2. Weltkrieg Quelle: Bombardiers Information File, 1945

> *„3. Bombardier*
> *a. Acknowledge in turn: „BOMBARDIER DITCHING“*
> *b. Remove parachute harness, winter flying boots, and flak suite. Loosen shirt collar and keep flak helmet on.*
> *c. Destroy bombing data and remove bomb sight. Pass bombsight back to rear or forward pressure compartment to be jettisoned through bomb bay doors…“*

Anders als bei Norden wurde von Sperry niemals öffentlich erwähnt, dass man überhaupt an so etwas wie einem Bomben-Zielgerät arbeitete. Das Projekt war eben geheim und dabei blieb es auch.

Die Norden Bombsight war ein mit Gleichstrom (DC) betriebenes elektro-mechanisches, kreiselstabilisiertes Bomben-Zielgerät. Entwickelt wurde das Gerät von Carl L. Norden (1880–1965). Der in Java geborene Norden studierte an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, bevor er in die USA auswanderte. Bis 1915 arbeitet er an kreiselgestützten Schiffs-Stabilisatoren bei der Sperry Gyroscope Company (später sein größter Konkurrent). Anschließend beriet er die US-Navy in vielen Projekten. Ab 1921 beschäftigte er sich in dieser Funktion mit dem Bomben-Ziel-Problem und entwickelte zusammen mit einem Partner ein eige-

nes Bomben-Zielgerät. 1928 wurde die Firma Carl L. Norden Inc. gegründet. Im selben Jahr bestellte die US Navy gleich 40 Norden Bombsights, die ersten wurden 1931 ausgeliefert.
Die Norden Bombsights waren damals allen anderen Produkten auf dem Markt überlegen. Daher beschloss die US Navy, alle ihre Bomber mit diesen Gerät auszurüsten. Man schloss einen exklusiven (und für Norden lukrativen) Vertrag mit der Carl L. Norden Inc.: Norden wurde „dedicated source" für die Navy, was bedeutete, dass die Navy ausschließlich Bombsights von Norden kaufte. Norden durfte im Gegenzug seine Produkte nur an die US Navy verkaufen.

Die Bombsights waren insofern wichtig für die Entwicklung der Autopiloten, als sie unmittelbar mit den ersten Autopiloten gekoppelt wurden. So lieferte Norden zu seiner Bombsight gleich einen eigenen, wenn auch einfachen Autopilot mit, das Stabilized Bombing Approach Equipment (SBAE).
Als in den 1930er-Jahren die US Army ihre eigene Fliegertruppe aufbaute, wollte man ebenfalls die Norden Bombsight. Das Problem war nur: Norden durfte nur an die Navy liefern, also konnte das US Army Air Corps nur bei der Navy bestellen. Das konnte nicht gutgehen, denn die Navy ging natürlich immer vor. So beendete 1936 die Navy erst einmal die Auslieferung an das Air Corps, weil Norden mit den Lieferungen nicht nachkam. Die Geräte wurden dort noch nach alter Tradition einzeln von Hand gefertigt. Das US Army Air Corps wandte sich hilfesuchend an die Konkurrenz, die Sperry Gyroscope Company ...
Die Sperry Gyroscope Company wurde 1910 von dem Erfinder Elmer Ambrose Sperry (1860–1930) gegründet. Am Ende seines Lebens hielt Sperry die Rechte an 360 Patenten. Sperry wurde bekannt für seine hervorragenden Kreiselprodukte, unter anderem Kreiselkompasse für Schiffe, Feuerleitgeräte für Kriegsschiffe und andere. Sein Sohn Lawrence gründete 1918 die Lawrence Sperry Aircraft Company, die sich ganz auf Kreiselinstrumente für die Luftfahrt und auf Autopiloten konzentrierte. Lawrence Sperry hatte bereits 1915 in Le Bourget seinen ersten Autopiloten vorgeflogen. Nach dem Tod von Lawrence Sperry – er starb 1924 beim Absturz seiner Maschine über dem Ärmelkanal – kam die Luftfahrtsparte wieder zurück zur Sperry Gyroscope Company.

Sperry war kein Neuling, was Bombsights anging. Bereits 1914 – Norden arbeitete damals schon drei Jahre bei Sperry – erhielt Sperry das erste Patent auf eine kreiselgestützte Bombsight. Norden hat also reichlich Know-how von Sperry in sein eigenes Unternehmen mitgenommen. Erst 1936, als die US Army Air Force Lieferprobleme bei Norden bekam, kam die Bombsight- und Autopilot-Entwicklung bei der Sperry Gyroscope Company so richtig in Fahrt. Sperry konnte bald sein wesentlich besseres Produkt, die Bombsight S-1, vorlegen, die mit dem neuen Sperry A-5 Autopilot zusammenarbeitete.

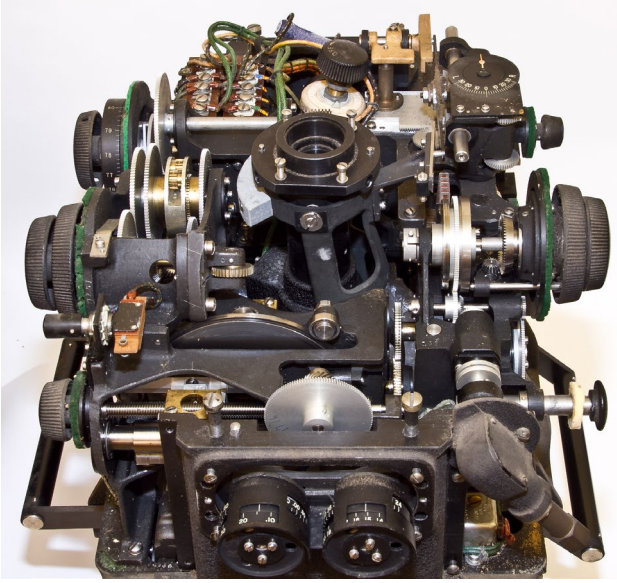
Bis dahin hatte Norden zwar ein Monopol für Bombsights gehabt, aber die Norden Bombsight hatte etliche Schwachstellen[3]:

- Die Kohlen-Bürsten der DC-Stromversorgung nutzten schnell ab und mussten häufig ersetzt werden. Zudem

3) Aus „The Bombsight War: Norden vs. Sperry", Loyd Searle, SPECTRUM, September 1989

lagerte sich der Abrieb – feinster Kohlenstaub – in den Kardan-Lagern ab, erhöhte die Reibung und den Verschleiß. Daher mussten die Präzisionslager öfter gereinigt und geölt werden.
- Das Ausrichten des Horizontkreisels (Vertical Gyro) war schwierig, musste von Hand erfolgen und dauerte über acht Minuten.
- Die Bedienknöpfe für Azimut und Entfernung waren nur auf der rechten Seite des Geräts, daher war eine schnelle beidhändige Bedienung nicht möglich.
- Der Vertical Gyro der Norden Bombsight hatte eine zu geringe Bewegungsfreiheit. Bei ordentlich Turbulenz oder heftigen Manövern schlug er an seine Limits an, geriet ins Taumeln – und der Bomben-Anflug war ruiniert.

Als Sperry in das Bombsight Geschäft eintrat, konnte die Firma ein viel besseres Produkt anbieten:
- 1937 hatte Orland E. Esval, Sperrys führender Elektroingenieur, einen neuen Kreisel entwickelt, der bei gleichem Gewicht mit 30.000 RPM viermal so schnell drehte wie der bei Norden. Das verringerte die Reibung in den Lagern und verbesserte die Präzision.
- Etwa zur selben Zeit entwickelte Esval zusammen mit Carl Frische (später Sperrys Präsident) die automatische Kreiselaufrichtung, wie sie heute noch in den luftgetriebenen künstlichen Horizonten der Allgemeinen Luftfahrt eingebaut ist. Damit war die langwierige manuelle Ausrichtung des Vertical Gyro passé.
- Auch der Kurskreisel wurde erneuert. Anders als bei Norden, wo dieser mechanisch mit der Bombsight verbunden war, bekam der Sperry-Kurskreisel einen berührungslosen elektrischen Pickup, dessen Signale über einen Verstärker einen Servomotor ansteuerten, der wiederum die Optik stabilisierte – der erste „closed loop amplifier“ in der Luftfahrt, wenn auch mit Röhren betrieben.
- Die neuen Kreisel waren selbstschmierend und wurden berührungslos über Induktion angetrieben. Das erforderte allerdings eine Wechselstrom-Versorgung (AC) zu einer Zeit, als in Flugzeugen ausschließlich DC-Stromversorgung üblich war. Das US Army Air Corps war so begeistert von der



Innenleben eines Sperry S-1, des ersten vollelektrischen kreiselstabilisierten Bomben-Zielgeräts, ca. 1941. Die S-1 Bombsight wurde in den B24E der 15th Air Force im Mittelmeerraum eingesetzt und auch in den „lendlease“ B-24, die der Royal Air Force (RAF) überlassen wurden.
Bild: Glennsmuseum.com

Sperry Bombsight, dass es eine 400 Hz AC-Stromversorgung – wie heute noch üblich – einführte. Diese Änderung kam auch späteren Funkgeräten und anderer Avionik zugute.

Der erste kriegerische Einsatz einer US Bombsight erfolgte im April 1941 – ein halbes Jahr vor dem Kriegseintritt der USA –, als ein britischer Lockheed Hudson Mk V mit einer modifizierten Sperry Bombsight[4] ein deutsches Versorgungsschiff vor Dänemark angriff. Aus 8.000 Fuß Höhe wurde ein einziger Anflug auf das Schiff gemacht, und die abgeworfenen Bomben trafen quer über das Achterschiff.

Das US Army Air Corps war beeindruckt von der Leistung des Sperry A-5 Autopiloten und der S-1 Bombsight. Im Juni 1941 erhielt Sperry einen Regierungsauftrag zum Bau einer 186.000 Quadratmeter großen Fabrik in Great Neck, New York – ausschließlich für den Bau des A-5 Autopiloten und der S-1 Bombsight. Von da an sollten alle Army Air Corps Bomber mit dem A-5 Autopiloten ausgerüstet werden, der sowohl mit dem S-1 Bomben-Zielgerät von Sperry als auch mit dem M-Series Zielgerät von Norden arbeiten sollte.

Norden war „not amused“ von diesem Deal und begann einen Krieg mit allen Mitteln gegen Sperry. Bei Sperry kannte man sich gut aus mit solchen Schlachten unter der Tischplatte. So hatte Sperry in den 1930er-Jahren versucht, die Erfinder der Klystron-Röhre auszubooten und sich mit einer lächerlichen Abfindung in den Besitz ihrer Patente zu bringen. Hätte das funktioniert, hätte Sperry ein Monopol für das Microwave Landing System (MLS) bekommen (Blindlandungen und die Einführung des ILS – Teil 2, ***Pilot und Flugzeug*** 2020/06).

Nun wurde Sperry selbst Ziel der Angriffe. Norden zog alle Register, wie man sie in Lobbyisten-Kreisen so drauf hat. Zuerst einmal versuchte Norden, seine Bombsight so zu modifizieren, dass sie nicht mehr mit dem Sperry A-5 Autopiloten kompatibel war. Sperry versuchte bei einem Treffen mit Air Corps, Navy und Theodore H. Barth, dem Partner von Norden und Präsident der Firma, die Wogen zu glätten. Das Air Corps schlug vor, Norden könne die Bombsights liefern, aber sie müssten mit dem Sperry A-5 kompatibel sein. Sperry schlug vor, auf alle Patentverletzungsklagen gegen Norden zu verzichten, die Sperry-Erfindungen in den Norden Geräten beträfen. Was immer vorgeschlagen wurde, Barth lehnte es ab.

Als man bei Norden mit den üblichen Lobby-Tricks gegen Sperry nicht so richtig etwas erreichte, kam der Griff in die Schlammkiste. Wir erinnern uns (Blindlandungen und die Einführung des ILS – Teil 1, ***Pilot und Flugzeug*** 2020/05): Sperry-Patente zu Kurskreiseln, Wendezeigern und künstlichen Horizonten wurden seit den 1920er-Jahren auch von Deutschlands führendem Fluginstrumente-Hersteller Askania verwendet. Ebenso hatte Sperry vor dem Krieg Lizenzen nach Japan erteilt. Nun holte also Norden die Keule raus und behauptete, Sperry sei „unamerikanisch“, eigentlich gar keine amerikanische Firma, sondern lediglich ein internationaler Konzern, der sogar die Geg-

4) Norden hatte sich geweigert, im Lend-Lease-Programm seine amerikanische Bombsight an andere Nationen auszuliefern.

ner der USA belieferte. Und obwohl Sperry seit den 1920er-Jahren z.B. die US Marine mit Kreiselgeräten und Feuerleitzentralen belieferte, blieb ein wenig von dem Schmutz hängen.

Dann starben zwei wichtige Männer, die den Air Corps Deal mit Sperry eingefädelt und tapfer verteidigt hatten: 1942 kam Fred Vose, der Chef des Military Marketing bei Sperry, bei einem Flugzeugabsturz nahe Salt Lake City ums Leben. Sein militärischer Kontaktmann, Generalmajor Andrews, stürzte im Frühjahr 1943 über Island ab. So gewannen die Gegner von Sperry die Oberhand. Es wurde ungeprüft im Air Corps nach oben gereicht, die Norden Bombsight sei der von Sperry überlegen. Im November 1943 wurde die Anweisung herausgegeben, alle Verträge für die Sperry S-1 Bombsight und den A-5 Autopiloten zu canceln. Die Arbeiten in der neu erbauten Fabrik wurden eingestellt, etwa 2.600 nagelneue Bomben-Zielgeräte zerstört und ihre Handbücher verbrannt. Angeblich wurden tausende fertige A-5 Autopiloten eingelagert und nicht mehr ausgeliefert.

Bis zum Ende des 2. Weltkriegs bekam Norden nun das Monopol für alle Bombenzielgeräte von US Navy und Air Force. Allein für die UAAF wurden bis Kriegsende etwa 72.000 Norden Bombsights produziert. Die Treffsicherheit der Geräte war aber immer übertrieben worden. So lagen bei einem Angriff auf die Kugellagerfabriken in Schweinfurt im Oktober 1943 nur etwa 10 % der abgeworfenen Bomben weniger als 500 Fuß (etwa 150 Meter) vom Ziel entfernt.[5]

5) Wikipedia, Oakland Aviation Museum

Ab 1943 wurde nur noch der Honeywell C-1 Autopilot in amerikanische Bomber eingebaut.

Der Firmenname Norden ist heute ausgestorben. Norden produzierte nach dem Krieg jahrzehntelang optische und Radar-Zielgeräte für das Militär, Displays für Kampfflugzeuge und Feuerleitsysteme. Norden wurde von United Aircraft, später United Technologies, als „Norden Systems“ übernommen. Später kam die Firma zu Northrop Grumman und ging 2013 unter Verlust des ursprünglichen Firmennamen in der Elektronik-Sparte von Northrop Grumman auf.

Den Namen Sperry gibt es heute noch. Unter diesem Namen firmierten verschiedene Unternehmen. Ein Teil der Sperry Gyroscope Company z.B. ging in den 1950er-Jahren nach Phoenix Arizona und wurde später zur Sperry Flight Systems Company. Als ich 1978 dort an der Flugschule war, sah ich ab und zu einen Jet starten, der von Sperry zur unbemannten Drohne umgebaut worden war.

Honeywell, gegründet 1885, ist heute unter dem Namen „Honeywell International“ ein internationaler Konzern mit über 100.000 Mitarbeitern und ist immer noch in der Luftfahrt und in der Rüstungsindustrie tätig.

Der Sperry A-5 Autopilot

In die ersten B-17 Bomber, die in den 1930er-Jahren vom Band liefen, wurde der einfache kommerzielle Sperry A-3 Autopilot eingebaut. Das Militär war damit gar nicht zufrieden. Dieser Autopilot konnte mit seinen pneumatisch-hydraulischen Servos das

Sperry A-5 Autopilot Control Panel, ca. 1941. Bei diesem Gerät war die automatische Höhenhaltung deaktiviert.
Bild: Aeroantique.com

Flugzeug gerade in Turbulenz nicht ausreichend stabilisieren. Um diese Mängel zu beseitigen, entwickelte Sperry den komplett neuen A-5 Autopiloten.

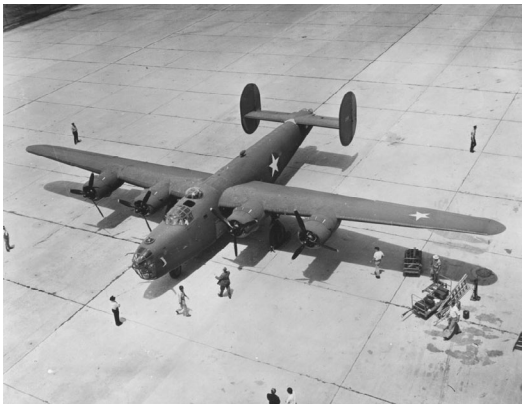
Der Sperry A-5 Autopilot war der beste, der Anfang der 1940er-Jahre in den USA zur Verfügung stand. Er konnte das Flugzeug um alle drei Achsen kontrollieren. Der Autopilot hatte viele Innovationen eingebaut, die in der oben beschriebenen Sperry Bombsight S-1 enthalten waren. Unter anderem die neuen, besonders schnell laufenden Kreisel und die automatische Kreiselaufrichtung. Der A-5 war der erste voll-elektrische Autopilot. Ausgestattet mit zwei Kreiseln, Vertical Gyro und Directional Gyro, je einem elektronischen Röhrenverstärker je Achse sowie drei elektro-hydraulischen Steuerservos. Der A-5 war auch der erste Autopilot, der nicht blind nach Ablagen korrigierte, sondern auch Geschwindigkeit und Beschleunigung der Ablagen berücksichtigte. So wurde eine außergewöhnlich gute Dämpfung erreicht und Schwingungen sofort gestoppt. Der Autopilot konnte entweder vom Piloten bedient werden oder auf die Bombsight umgeschaltet werden. Dann wurde das Flugzeug vom Bomben-Zielgerät aus gesteuert.

1941 hatte, wie oben erwähnt, die USAAF entschieden, alle ihre Bomber mit diesem Autopiloten auszurüsten. Für die Produktion der Autopiloten und der dazugehörigen Bomben-Zielgeräte Sperry S-1 wurde eigens eine riesige Fabrik errichtet. Es ist nicht

genau bekannt, in welche Flugzeuge der Autopilot wirklich eingebaut worden war, sicher jedoch in den Consolidated B-24 „Liberator“ Bomber, von dem bis Kriegsende über 18.000 Stück gebaut wurden. Nachdem die USAAF 1943 den Großauftrag für den A-5 gestrichen hatte, wurden dennoch weitere Exemplare nach England verkauft.

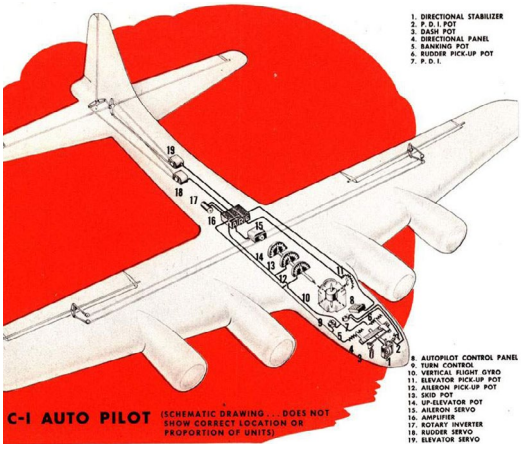
Der Minneapolis-Honeywell C-1 Autopilot

Wie oben beschrieben, hatte die USAAF 1943 den Krieg zwischen Norden und Sperry satt. Nachdem sich die Air Force mit der Navy geeinigt hatte und endlich ausreichend Norden Bomben-Zielgeräte für die Air Force zur Verfügung gestellt werden konnten, einigte man sich auch auf einen gemeinsamen neuen Autopiloten: Der Minneapolis-Honeywell C-1 Autopilot vereinte die besten Features, die es bis dahin auf dem Autopiloten-Markt gab, also auch die Innovationen von Sperry. Die Honeywell-Leute waren oft bei Sperry, um sich die neuen Technologien anzueignen. Sperry war also nicht ganz raus aus dem neuen Deal, die Firma stand nur nicht mehr als Hersteller auf dem Preisschild.



Consolidated B-24 Liberator. Die meisten Exemplare wurden in Fords Fertigungskomplex Willow Run bei Detroit gebaut. Quelle: Wikipedia

Minneapolis-Honeywell Autopilot Control Panel für das C-1 Autopilot System, ca. 1945 Quelle: Aeroantique.com



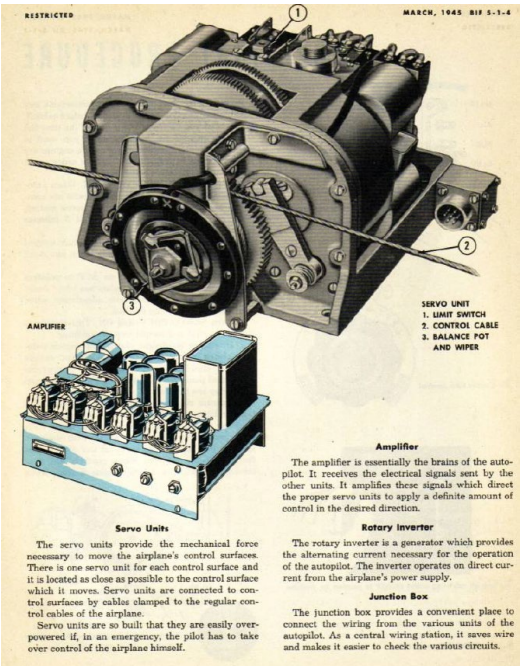
Das Control Panel des C-1 Autopiloten war nur eines von 19 Bauteilen des kompletten Systems. Quelle: USAAF Training Manual 1945

Wer heute ein komplexes Flugzeug fliegt, für den ist es normal, nach dem Start einfach den Autopiloten einzuschalten und sich dann erstmal einen Kaffee zu bestellen.
Das war früher ganz anders. Auch wenn der C-1 wie der A-5 ein vollelektrischer Autopilot war, so hatte er seine Eigenheiten, die mit den damals verwendeten Bauteilen zusam-

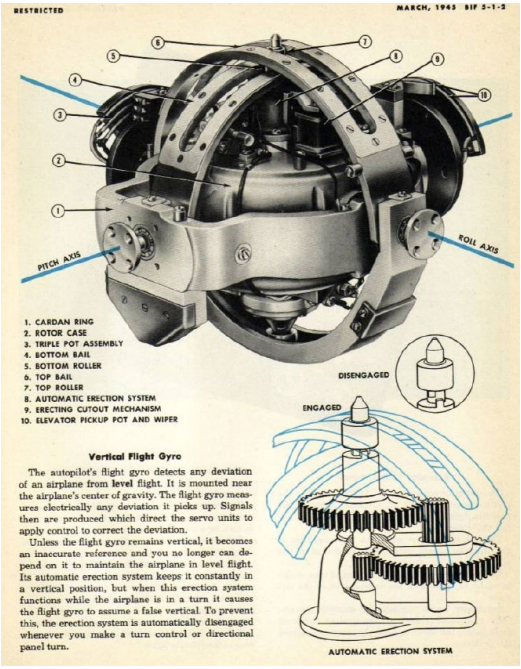
men hingen. Das waren keine digitalen Computer, sondern analoge Rechner mit temperaturabhängigen Vakuum-Röhren und einigen elektro-mechanischen Bauteilen, wie z.B. die Potentiometer, bei denen ein Pickup über eine Drahtwindung lief.
Allein die Vorflugkontrolle des C-1 Autopiloten umfasste elf Punkte, die mit diesen Eigenheiten zu tun hatten. So musste z.B. mit dem Master Switch eingeschaltet die Steuerung um alle Achsen bis in den Endanschlag bewegt werden, um die Potentiometer von Dreck und Staub zu reinigen.
Auch das Einschalten im Flug war nicht trivial und füllte zwei ganze Seiten im Handbuch. Nach dem Einschalten des Master Switch musste man erst mal zehn Minuten warten, bevor man mit den anderen zehn Punkten der Einschalt-Sequenz fortfahren konnte. In dieser Zeit fuhren die Kreisel hoch, richteten sich auf und die Röhren wurden auf Betriebstemperatur gebracht. Wenn er dann aber einmal lief, hatte man mit dem C-1 einen hervorragenden Autopiloten.

Formation Stick für den C-1 Autopilot

In diesem letzten Abschnitt möchte ich auf ein System hinweisen, das heute weitgehend unbekannt ist: den Formation Stick für den C-1 Autopilot.
Wenn man sich ein wenig mit Luftfahrtgeschichte auskennt, fallen einem schon ein paar Flugzeuge ein, die mit einem Sidestick gesteuert wurden. Und ich meine hier nur Sidesticks ohne jede mechanische Verbindung zu den Flight Controls. Solche Sidesticks gab es z.B. für die extra-atmosphärische Lagekontrolle der NASA X-15 (Erstflug 1959) sowie in den Raumkapseln von Mercury, Gemini und Apollo. Im zivilen Bereich hatte der A320 erstmals einen Sidestick mit digitaler Fly-by-Wire-Steuerung.



C-1 Autopilot Servo und Amplifier (oben) und C-1 Autopilot Vertical Gyro (unten)
Quelle: USAAF Bombardiers' Information File 1945



Die erste Fly-by-Wire-Anwendung mit Sidestick überhaupt war aber der Formation Stick für den C-1 Autopilot von 1943. Man hatte erkannt, dass es auf Langstreckenflügen für die Bomber Crews ermüdend war, das Flugzeug ständig von Hand zu steuern. Um Abhilfe zu schaffen – und natürlich auch für das Bomben-Zielgerät – war der C-1 Autopilot geschaffen worden. Aber es gab ein Problem: Die Bomber flogen nicht allein, sondern oft in großen, zum gegenseitigen Schutz auch in engen Formationen. Formationsfliegen war über das C-1-Autopilot-Bedienpanel nicht möglich. Dann kam jemand auf die Idee mit dem Sidestick:
In vielen Cockpits, z.B. in B-17 Bombern, wurden Formation Stick Units an den Seitenwänden von Pilot und Copilot angebracht. Nach Aktivierung konnten die Piloten mit diesen Sidesticks das Flugzeug ganz normal steuern. Die Sidesticks waren nur elektrisch mit dem C-1 Autopiloten verbunden. Es gab keine Verbindung zur normalen Seil-Steuerung des Flugzeugs.

Formation Stick für den C-1 Autopilot mit Befestigung und Armstütze
Bild: Aeroantique.com

Der Formation Stick ermöglichte ganz normales Fliegen von Hand. Der Stick war – wie der des A320 – federbelastet in der Mittelstellung und konnte in Pitch und Roll ausgeschlagen werden. Die Steuerung mit dem Sidestick ermöglichte präzises Steuern in der Formation mit anderen Flugzeugen. Ließ man den Stick wieder los, übernahm der C-1 Autopilot und hielt Höhe und Kurs. Das Fliegen mit dem Formation Stick hatte schon einige Elemente heutiger Fly-by-Wire-Systeme. Wenn der Pilot das Flugzeug in eine Querlage brachte – wie bei Airbus-Flugzeugen – musste er nicht ziehen, um die Höhe zu halten. Das erledigte der C-1. In der Pitch musste der Formation Stick lediglich für vertikale Manöver betätigt werden. Und ein weiteres Feature hatte das System, das nicht mal die Steuerung des Airbus A340 hat: Turn Coordination. Schlug man den Formation Stick seitlich aus, wurde automatisch Seitenruder gegeben, sodass die Maschine nicht ins Schieben kam. Bewegte man dagegen beim A340 den Sidestick – z.B. nach dem Start in New York – für die erste Kurve nach links, gierte der A340 wie ein altes Ka-7-Segelflugzeug nach rechts (negatives Wendemoment). Turn Coordination gab es bei Airbus erst auf dem A380.

Mit dem Formation Stick für den C-1 Autopilot waren sogar aggressive Manöver möglich. Lediglich nach Steilkurven mit mehr als 40°-Querlage musste man erst mal zehn Minuten Wings-Level fliegen, bis die Kreisel wieder aufgerichtet waren.

Der Formation Stick hatte mehrere Modes: „ON SERVO BOOST“ verband den Stick direkt elektrisch mit den Flight Control Servos. Also fliegen, wie von Hand, ohne Turn Coordination. Diese Stellung wurde nur für engen Formationsflug benutzt. Im Mode „ON“ funktionierte der Stick wie oben beschrieben über den C-1 Autopiloten mit allen Features. Im Mode „ON ELEVATOR ONLY“ steuerte der Stick nur die Höhenruder. Diese Stellung wurde im Bombing Run benutzt, wenn der Bombardier die laterale Steuerung über das Zielgerät vornahm. Wie jeder heutige Sidestick hatte der Stick einen Mike-Button und einen „Transfer Button“, mit dem die Kontrolle an den anderen Stick abgeben werden konnte.

RESTRICTED MARCH, 1945 BIF 5-7-1

FORMATION STICK

FORMATION STICK AND JUNCTION BOX

1. TRANSFER SWITCH BUTTON
2. TRIGGER SWITCH FOR MICROPHONE
3. GRIP
4. CONTROL MECHANISM
5. ARM REST

The formation stick permits the pilot or copilot to maneuver an airplane quickly though using the autopilot. It gives him, with a minimum of physical effort, the additional control of the airplane necessary for formation flying.

In airplanes equipped with this device, there are 2 formation sticks in the pilot's compartment. One is at the pilot's left, the other at the copilot's right. Only one stick is engaged at a time. A control switch button on top of each stick makes it possible to transfer control from one stick to another.

The extent to which a pilot using the formation stick can control his plane through the autopilot depends on **function selector** setting. For example:

1. When function selector is OFF, autopilot operates normally and formation stick has no control.
2. When the function selector is at ON SERVO BOOST, the formation stick directly controls the servo units of the autopilot. The airplane must then be flown as if it had no autopilot, and as if the formation stick were connected directly to the control cables. The ON SERVO BOOST position is the best setting for the function selector when the airplane is flying in a tight formation and constant maneuvering is necessary.
3. When the function selector is at ON, the stick functions just as the autopilot turn control knob does, except that it provides elevator control as well as aileron and rudder control. This setting is best for lone flying, loose formation flying, or when little maneuvering is necessary.
4. When the function selector is at ON ELEVATOR ONLY, the formation stick controls the attitude of the airplane with respect to the pitch axis only. Moving the stick sideways has no effect on the aileron and rudder controls. This position is used on the bombing run when the pilot wants to use the formation stick instead of the elevator centering knob to control altitude.

The formation stick also has a trigger switch connected in the microphone circuit. It operates whether or not the formation stick or autopilot is engaged. This switch permits the pilot or copilot to use his microphone without releasing formation stick.

Release switches are installed in all airplanes equipped with the formation stick. These switches enable the pilot or copilot to release all three servo units quickly, thereby returning the airplane to manual control. The switches are conveniently mounted on the airplane's control wheels. They are effective whether the formation stick is in use or not.

Caution

Airplane must be level before function selector is turned from one position to another.

PDI must be centered when function selector switch is turned to ON SERVO BOOST.

Autopilot turn control must not be used when function selector switch is at ON SERVO BOOST.

RESTRICTED

Beschreibung des Formation Stick Quelle: USAAF Bombardiers' Information File 1945

Ein Quick Disconnect Switch auf dem normalen Steuerhorn schaltete alle drei Steuerservos ab, und das Flugzeug ließ sich wieder von Hand steuern.

Fazit

Die Luftfahrttechnik in den 1940er-Jahren war schon weit fortgeschritten. Viel weiter, als man heute generell annimmt. Elektromechanische Navigationscomputer unglaublicher Komplexität wurden schon gebaut, als der Rechenschieber das einzige Instrument war, mit dem die Ingenieure in den Fabrik-

hallen arbeiteten. Viele Innovationen der 1930er- und 1940er-Jahre im Autopilot-Bau sind heute noch in Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt verbaut – und funktionieren immer noch – 90 Jahre später! So finden sich in meiner Arrow Kreisel nach den Sperry-Patenten von damals im Wendezeiger, im künstlichen Horizont und im HSI. Gucken Sie mal in Ihr Cockpit und überlegen Sie sich, wann solche Instrumente oder Systeme erstmals genutzt wurden. Mal sehen, was in 90 Jahren von den Innovationen von heute noch in den Flugzeugen sein wird ...

PeterKlant@Lindbergh-aviation.de

Quellen und Literatur:

[1] Fairchild-Maxson Line-of-Position Computer
https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/4531hjpg
[2] Norden Bombsight
http://www.twinbeech.com/norden_bombsight.htm
https://en.wikipedia.org/wiki/Norden_bombsight#Autopilot
[3] Gyroscopic Autopilot
https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscopic_autopilot
[4] National Air and Space Museum Multimedia Gallery
https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery
[5] National Museum of the U.S. Air Force Wright-Patterson AFB, near Dayton, Ohio
https://www.nationalmuseum.af.mil/
[6] B-29 Airplane Commander Training Manual for the Superfortress
USAAF, 1945
[7] Bombardiers' Information File
USAAF, 1945
[8] Navigators' Information File
USAAF, 1945

Eine Sammlung von Handbüchern der United States Army Air Force findet sich hier:

[9] Army Air Forces Collection
Historical Documents from World War II
http://aafcollection.info
[10] „The Bombsight War: Norden vs. Sperry"
Loyd Searle, SPECTRUM, September 1989
[11] Plan Trans-pacific Robot Flight Without Crew for Automatic C-54
Aviation Week, Robert Hotz, October 27 1947

Die folgenden Personen haben Fotos für diesen Artikel zur Verfügung gestellt, vielen Dank. Ich kann deren außergewöhnliche Webseiten nur empfehlen:

Glenn's Computer Museum
Photos with permission by Glenn Henry; www.Glennsmuseum.com
[12] AeroAntique
AeroAntique presents vintage military aircraft instruments, warbird parts, and other aviation-related artifacts.
Photos with permission by John Turanin
www.Aeroantique.com