

Understanding fly by wire

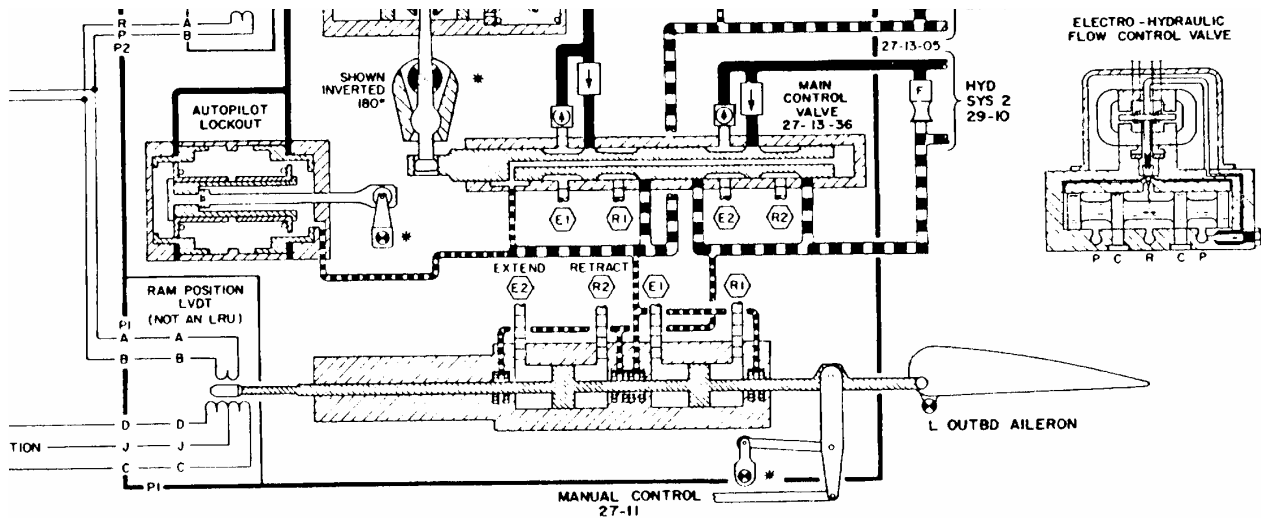
Eigentlich muss ich ja über mich selber lachen. Ein Satz von Nebojsa Erdesi im Bericht über den Falcon 4.0 im FS MAGAZIN #2/2006, nämlich "Die Steuerbefehle des Knüppels werden nicht einfach per fly by wire an die Tragflächen weitergereicht", hat mich als Flugzeugmechaniker dazu bewogen, einen ausführlicheren Bericht über fly by wire zu schreiben. Dieser wurde in verkürzter Form im FS MAGAZIN # 3/2006 auf Seite 63 abgedruckt. Hier der komplette mit den Zeichnungen und Bildern.

Mir fällt auf, dass die wenigsten Leute den Begriff "fly by wire" in seinem vollen Umfang verstehen – und das ja in er Regel auch gar nicht müssen. Die Allgemeinheit denkt, "fly by wire" sei *nur* das Aussenden elektrischer Steuersignale an Aktuatoren (Hydraulikzylinder) der jeweiligen Steuerflächen.

Dass sich doch sehr viel mehr hinter diesen drei kleinen Wörtern verbirgt, möchte ich anhand von drei komplett unterschiedlich gesteuerten Flugzeugen aufzeigen. Ich werde hier kurz die MD-80 anreissen, da diese eine sehr eigenwillige Konstruktion ist. Des Weiteren sehen wir uns kurz die MD-11 und deren Regelkreis an, um letztlich an der A 320 effektives fly by wire kennenlernen zu können.

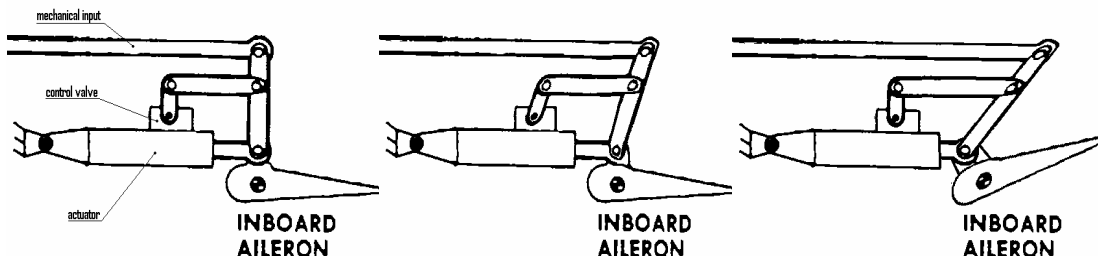
Hydraulische Aktuatoren konventioneller Bauart

Vorab möchte ich erstmal erläutern, wie denn so ein konventioneller Aktuator funktioniert und mechanisch angesteuert wird. Hierfür sehen wir uns einen Aileron-Aktuator der MD-11 an:



Was hier zu sehen ist, ist das elektrohydraulische Schema. Darauf möchte ich nicht detailliert eingehen. Erwähnenswert finde ich, dass es am Aktuator einen mechanischen Input (mit follow-up-Mechanismus) und/oder elektrohydraulische flow control valves (siehe rechte Seite). Diese Bauart kann entweder mechanisch oder elektrisch betätigt werden.

Das interessante daran ist der einfache wie geniale follow-up-Mechanismus - siehe die drei Bilder unten:



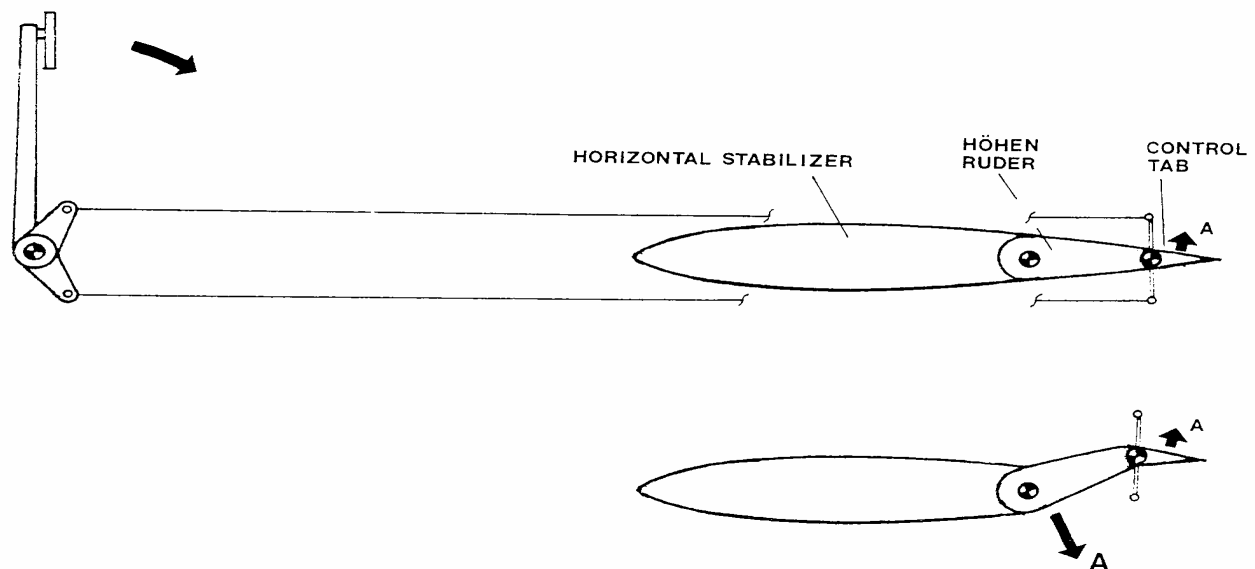
Wenn der Pilot über die Steuersäule einen Input gibt, wird dieser indirekt an das control valve weitergeleitet. Die unterste Verbindung funktioniert jetzt als Drehpunkt, da die Steuerfläche momentan fest in seiner Position verharrt. Das control valve leitet den Hydraulikdruck (normal sind 3000 psi) auf die entsprechende Seite und der Aktuator fährt in die entsprechende Richtung. Da nun der Steuerinput des Piloten konstant bleibt (der Pilot hält das Steuer in eine Richtung), funktioniert jetzt die obere Verbindung als Drehpunkt. Der sich jetzt bewegende Aktuator fährt solange, bis das control valve wieder in Neutralstellung steht. Jetzt entspricht die Aileron-Stellung dem Steuerausschlag des Piloten.

Angenommen, eine Kraft wäre in der Lage, die Steuerfläche aus ihrer gewünschten Position zu bewegen, läuft automatisch das control valve auf und steuert dagegen, bis sich die Steuerfläche wieder in der gewünschten Position befindet. Dies alles passiert in Bruchteilen von Sekunden, aber ich denke, das Prinzip ist relativ einfach zu verstehen, wenn man die sich abwechselnden Drehpunkte nachvollziehen kann. Die Längen der Steuerstangen auf den Bildern sind nicht gleich lang. Das liegt daran, dass ich hier mit mässigem Erfolg selbst gezeichnet habe. Am echten Aktuator ist das Gestänge immer gleich lang.

Auf dem elektrohydraulischen Bild (weiter oben) sieht man auf der linken Seite ein so genanntes LVDT (Linear Variable Differential Transducer). Dieses gibt die physische Steuerflächenposition an die Monitore im Cockpit zurück - und an den Autopiloten. Denn dieser steuert die Steuerflächen-Aktuatoren rein elektrisch über flow control valves (siehe rechte Seite elektrohydraulisches Bild). Unter diesen Umständen gibt die mechanische Apparatur das Feedback an die Piloten zurück (bewegende Steuersäule).

Die gute alte MD-80

Jetzt da wir wissen, wie so ein konventioneller Aktuator funktioniert, widmen wir uns der MD-80. Diese hat an den Ailerons überhaupt keine Hydraulik-Aktuatoren. Wie ich Eingangs bereits erwähnt habe, ist die MD-80 eine wirklich eigenwillige Konstruktion. Die Ailerons werden rein aerodynamisch über controlltabs ausgelenkt. Die Steuersignale der Steuersäule werden über control cables (Steuerseile) direkt an diese controlltabs geführt, die ihrerseits das Aileron aerodynamisch bewegt. Die einzigen hydraulischen Steuerflächen bezüglich der Rollachse an diesem Flugzeug sind die Rollspoiler.



Bei solcherlei Anlenkung sind die Steuerdrücke sehr klein. Es werden relativ kleine Servo-Actuatoren verwendet, die direkt in die Steuerseile der Ailerons greifen und das Aileron unter Autopilot-Einsatz rein mechanisch mit den selben Steuerseilen kontrolliert, als würde der Pilot manuell steuern. Die Servos sind Elektromotoren – ähnlich wie diese im Modellbau anzutreffen sind. Beinahe unnötig zu erwähnen, dass auch unter diesen Umständen die Steuersäule unter Autopilot immer den Steuerbefehlen entsprechend mitfährt (feedback).



Unter dem Cockpit, nach oben sehend: Oben links im Bild der Aileron-Servo (dual) - rechts im Bild der Stickpusherservo.

Die MD-11, ein modernes Verkehrsflugzeug

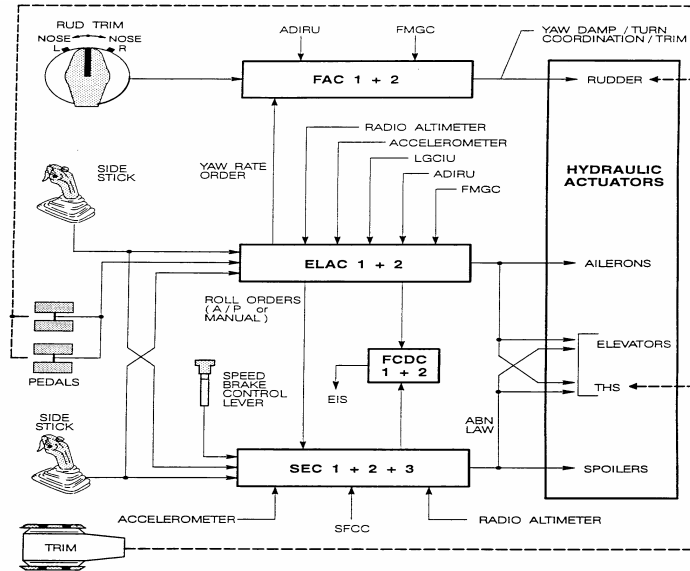
Die MD-11 ist mechanisch grundsätzlich sehr ähnlich aufgebaut wie die MD-80 (Steuerseile, Slat- und Flapsystem...), nur dass dieses Flugzeug sehr viel schwerer ist und deshalb nicht mehr ohne hydraulisch gesteuerte Ailerons operieren kann.

Jetzt können wir uns unser Wissen über den Aileron-Aktuator in Erinnerung rufen. Wie schon erwähnt werden die Steuersignale unter Autopilot elektrisch an die Aktuatoren geführt und diese elektrisch gesteuert, hydraulisch ausgelenkt. Doch Achtung: Die Aktuatoren mit elektrischen Signalen zu steuern, hat (fast) nichts mit fly by wire zu tun!

Die A-320, ein neuer Typ Zivilflugzeuge

Jetzt (endlich) widmen wir uns definitiv dem echten fly-by-wire-Prinzip. Anders als bei konventionellen Flugzeugen gibt es bei der A-320 keine mechanischen Steuerseile mehr, die direkt an die Aktuatoren geführt werden (Ausnahme: Rudder und THS [Trimable Horizontal Stabilizer] als backup). Hier wird ausschliesslich mit elektrischen Signalen operiert - auch bei manuellem Flug.

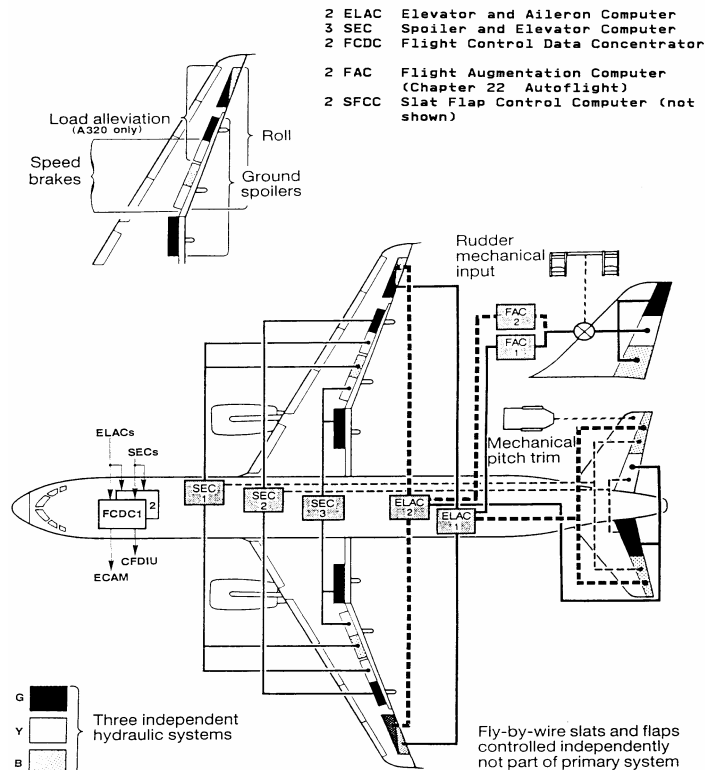
Doch nicht mehr direkt, wie bei der MD-11 unter Autopilot. In diesem Fall sind zwischen den Steuerinputs des Piloten und den Steuerflächen diverse Computer zwischengeschaltet, die auch im manuellen Flug ziemlich viel "mitzureden" haben.



Jetzt wird es ziemlich abstrakt, denn die primären Computer im fly-by-wire-Regelkreis des A 320 sind:

- 2 x ELAC (**E**levator **A**ileron **C**omputer)
- 3 x SEC (**S**poiler **E**levator **C**omputer)
- 2 x FAC (**F**light **A**ugmentation **C**omputer)
- 2 x FCDC (**F**light **C**ontrol **D**ata **C**oncentrator)

...und diverse andere Computer und Systeme, die Signale an oben genannte Computer liefern oder von diesen erhalten. Der wesentliche Unterschied zu konventionellen Flugzeugen ist, dass die Steuerflächen nicht mehr zwingend im Verhältnis 1:1 das tun, was der Pilot steuert. Vielmehr kontrollieren jetzt die Computer ihre Steuerflächen, um genau das zu erreichen, was der Pilot gerne hätte.



Ich sage bewusst "gerne hätte", denn dies passiert nur noch innerhalb der physikalisch möglichen Grenzen (flight envelope). Jegliche Manöver ausserhalb dieser Grenzen werden konsequent unterdrückt und verhindert (stall, overspeed, G-load, excessive pitch and bank attitude). Das System kompensiert auch automatisch äusserliche Störeinflüsse wie Turbulenzen und allen anderen Kräften, die da ungewollt am Tragwerk des Flugzeugs zehren. Die Aileron-Aktuatoren am A 320 haben überhaupt keine mechanische Anlenkung mehr. Des Weiteren haben die Piloten hier kein Feedback mehr an den Sidesticks - was es auch nicht mehr braucht...

A 320, ein neuer Pilotentyp wird geboren

Anders als an konventionellen Flugzeugen musste der Pilot hier lernen *loszulassen*. Im Prinzip lässt der Pilot auch im manuellen Flug die Computer gewähren und "zeigt" den Computern über den Sidestick, wo er hin möchte. *Loslassen* heisst für die Computer pitch- und bank-attitude beizubehalten. Dieses Verhalten hat sogar dazu geführt, dass sich Airbus für die Landung einen neuen Mode hat einfallen lassen - der so genannte "flare-mode".

50 Fuss über der Piste wird die momentane pitch attitude abgespeichert. Von nun an verhält sich die Steuerung für pitch wie bei einem konventionellen Flugzeug. Unter dreissig Fuss wird der gespeicherte wert stufenweise auf zwei Grad nose down reduziert. Dies zwingt den Piloten, das Flugzeug aktiv über den Sidestick zu flaren.

Was sich hier oberflächlich betrachtet einfach anhört, hat in der Operation durchaus seine Vorteile. Für die Piloten ist dies eine enorme Arbeitsentlastung, somit sie sich konzentrierter den anderen Aufgaben des jeweiligen Flugs widmen können (NAV, COM, Systeme, Luftraum und so weiter). Fly by wire ist im Detail natürlich noch erheblich komplexer, aber ich denke diese Erläuterungen sollten ausreichen, um zu verstehen, dass fly by wire eben nicht nur daraus besteht „elektrische Signale an Aktuatoren aussenden“. Dies beherrschten schon die Autopiloten von MD-11 und Co.

Mit fly by wire hat Airbus im Februar 1987 ein völlig neues Konzept in der Zivilluftfahrt eingeführt. Dank fly by wire kann bis an die Grenzen Machbaren geflogen werden, ohne Gefahr zu laufen, eben diese Grenzen zu überschreiten. So konnte auch die Performance erheblich gesteigert werden.

Christian Pauli
c_pauli@hispeed.ch



Abdruck und Bereitstellung des Artikels im Downloadbereich der Homepage des FS MAGAZIN unter der URL

http://www.fsmagazin.de/Links/download_click.htm

mit Genehmigung des Autors. Änderungen des Artikels, gleich mit welchem technischen oder manuellen Verfahren, ist untersagt.

Vor jeglichem – auch auszugsweisem – Abdruck ist zwingend die schriftliche Genehmigung des Autors einzuholen.