



# Primary Flight Display und Fly-by-Wire

Vorlesung 2

Blockseminar A320 Operationelle Systembedienung  
Universität Würzburg / Informatik VIII

Dipl.-Ing. (FH) Nikolaus J. Braun

---

# Guten Morgen!



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Tape
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

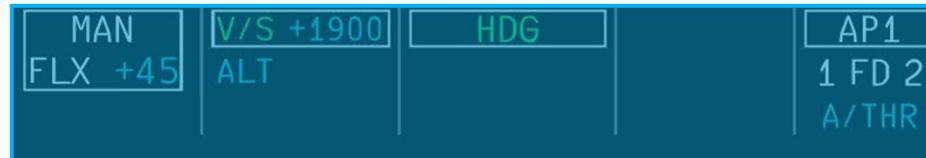
## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

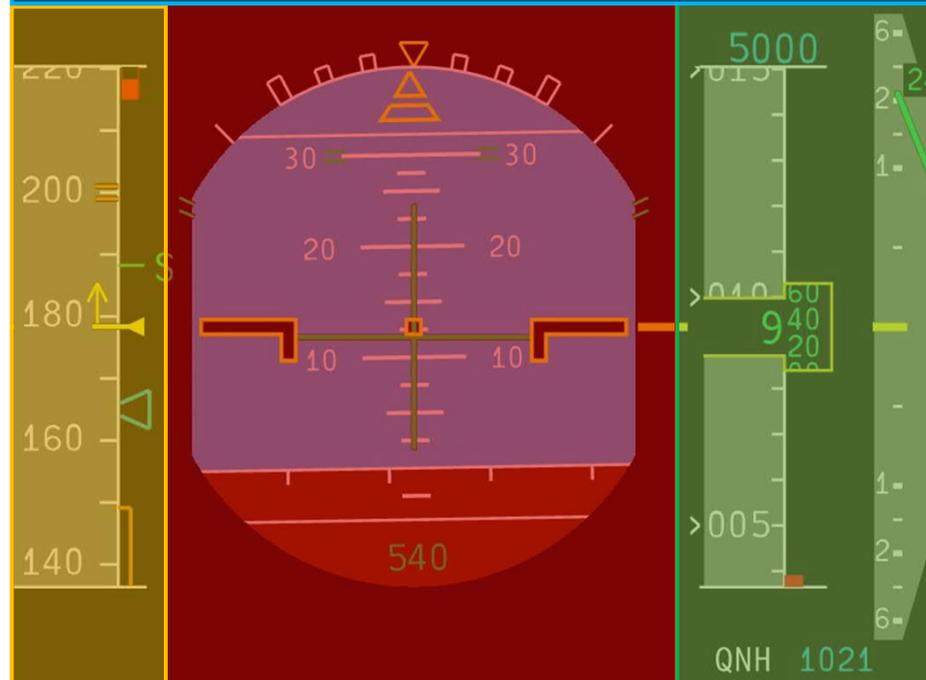
## 3. Auto Thrust

# Primary Flight Display

Flight Mode Annunciator



Speed Scale



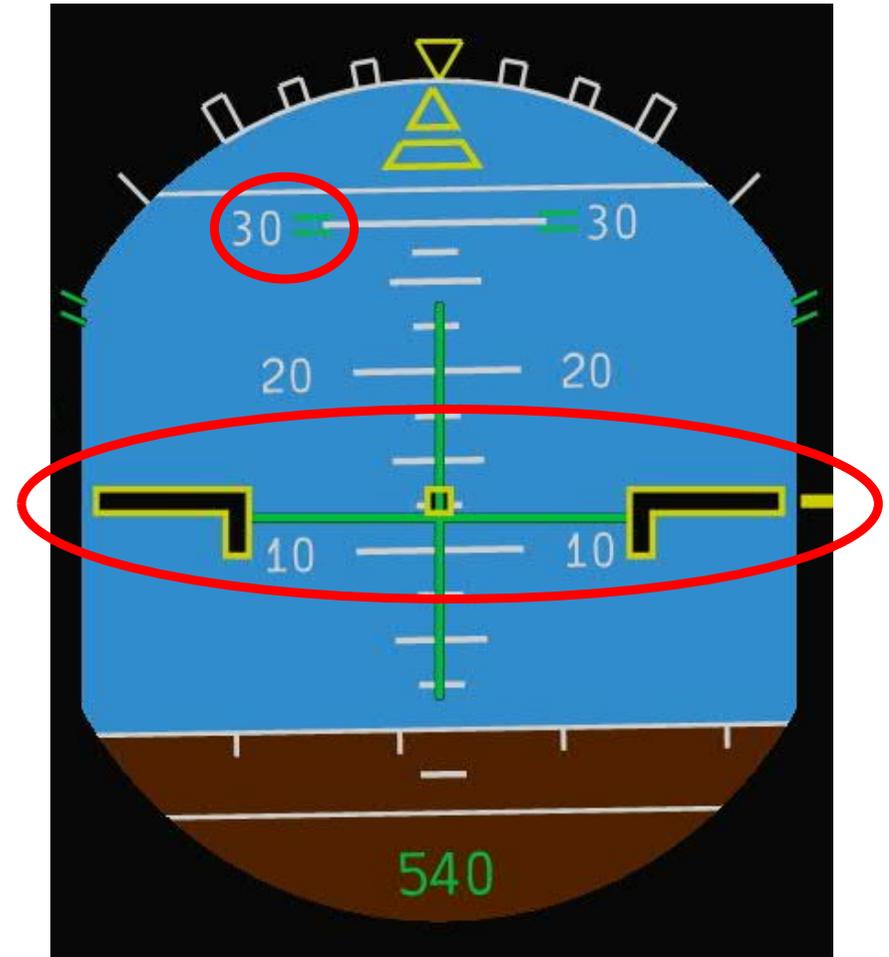
Altimeter

Compass Scale



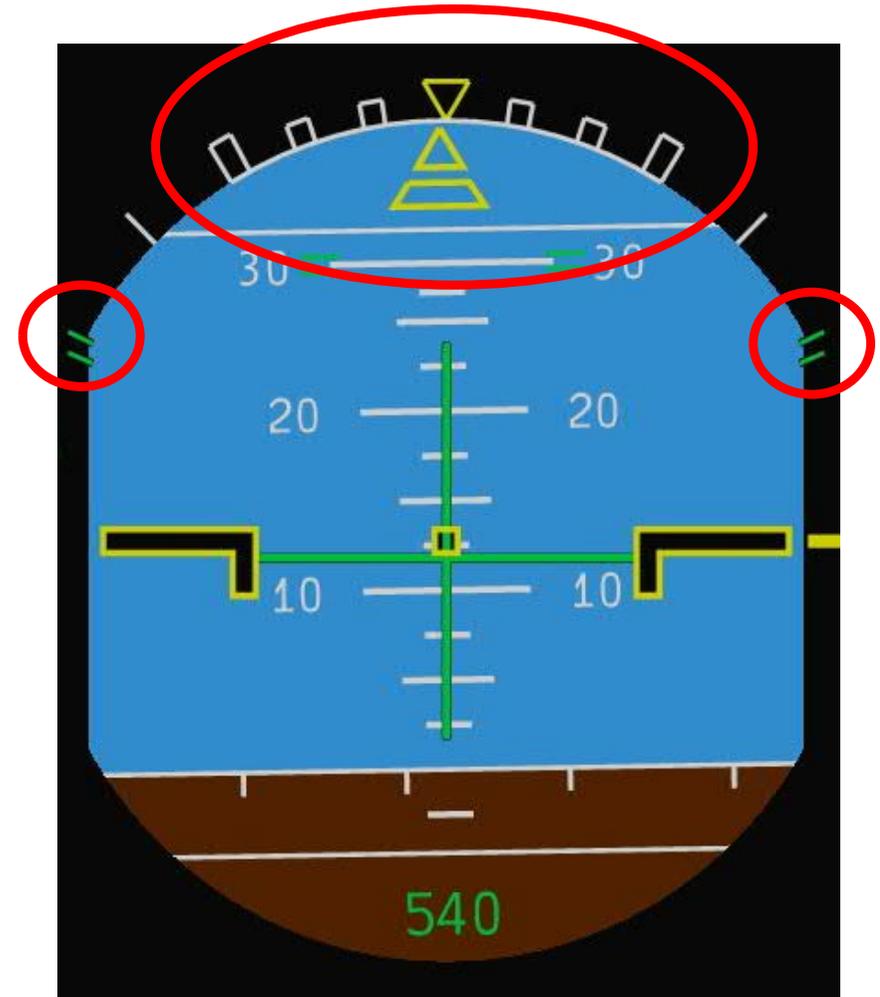
# Primary Flight Display - Horizont

- Lagedarstellung
  - Winkel der Flugzeuglängsachse gegenüber der Horizontalen (Pitch,  $\Theta$ )
  - Haupteinteilung in 10°-Schritten, Feineinteilung in 2,5° Schritten
  - Veränderung der Fluglage um 1° ergibt im normalen Flug (360 kts) eine Änderung der Vertikalgeschwindigkeit von 600ft/min (Näherung)
- Limitierung auf maximal +30° / -15°
- Keine Darstellung der Trajektorie (Y)
- Keine Darstellung des Angle of Attack (AoA,  $\alpha$ )



# Primary Flight Display - Horizont

- Lagedarstellung
  - Winkel der Flugzeugquerachse gegenüber der Horizontalen (Bank,  $\Phi$ )
  - Haupteinteilung in 10°-Schritten
  - Standard Turn: 25° Bank
- Limitierung auf +/- 67°
- Integrierte Yaw-Anzeige (Gierwinkel,  $\beta$ )
- Steuerkurs (Heading, Azimuth,  $\Psi$ ) im unteren Bereich, 10° Skala ohne Werte



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Tape
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

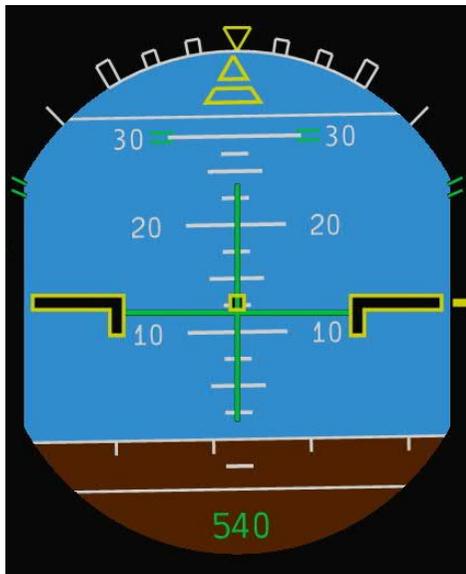
- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

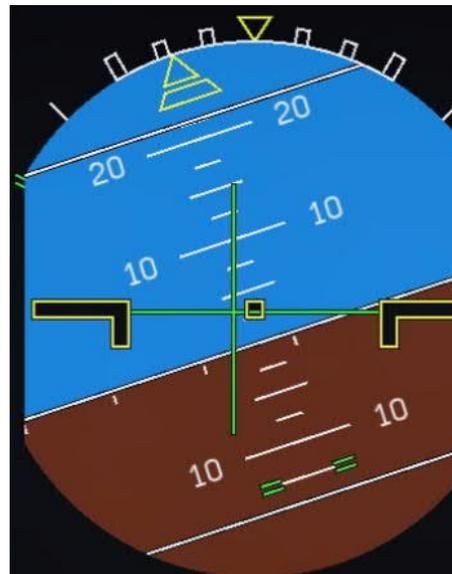
# Primary Flight Display – Flight Director

- Darstellung der Flight Guidance

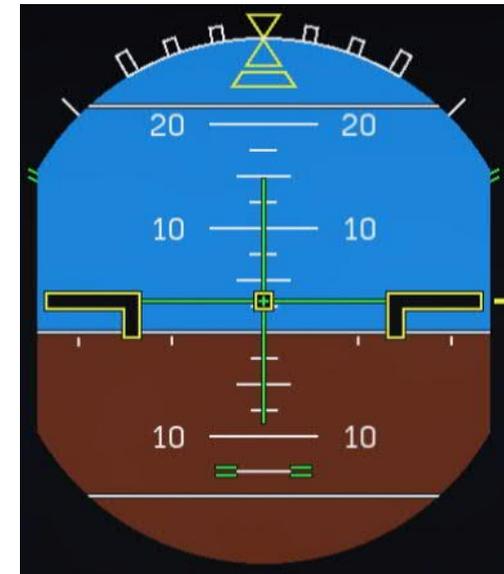
- Kommandogerät, beruhend auf Eingaben an Flight Control Unit (FCU) oder aus Flight Management System (FMS)
- Laterales und vertikales Kommando
- Zeigt keine Ablagen/Abweichungen
- Zentrierte Anzeigen bedeuten nicht, dass das Flugzeug auf der Soll-Trajektorie ist. Es ist entweder darauf, oder korrigiert wieder dahin.



Roll ok, Pitch zu hoch



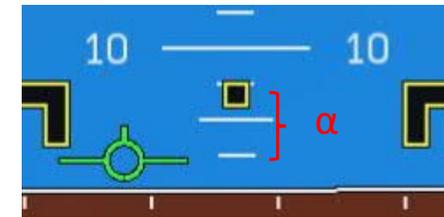
Roll nach links korrigieren,  
Pitch leicht zu hoch



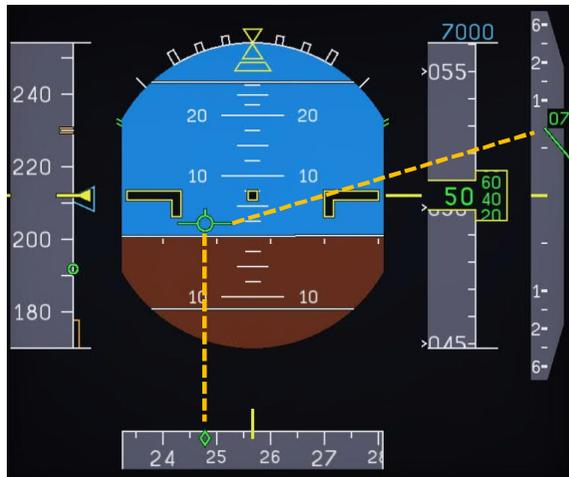
Roll und Pitch zentriert

# Primary Flight Display – Flight Path Vector (FPV)

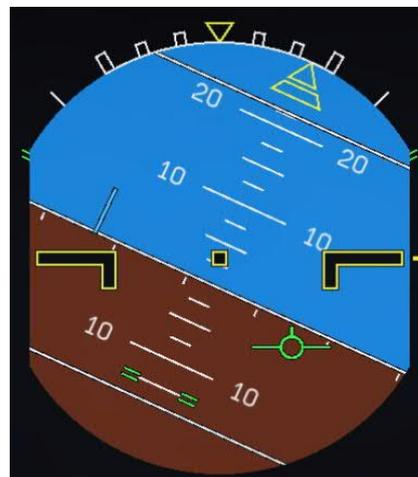
- Darstellung der Trajektorie
  - Darstellung der Bahnwinkel X, Y
  - Indirekte Darstellung von Anstell- und Schiebewinkel ( $\alpha$ ,  $\beta$ )
- Optional mit Flight Director zu kombinieren, aber wenig gebräuchliche Darstellung



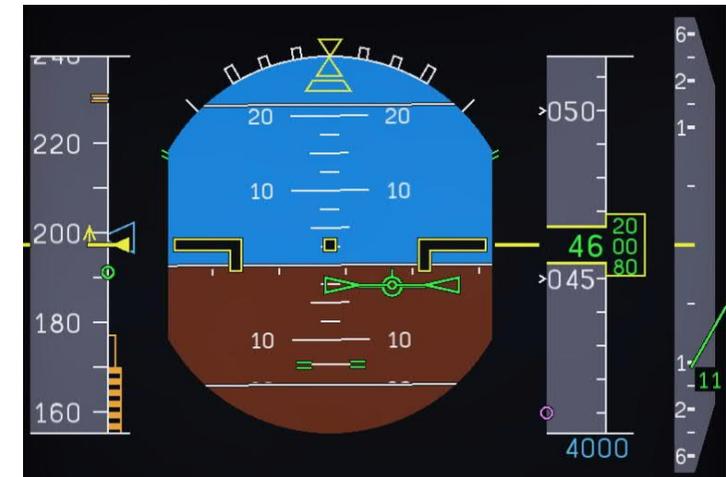
Angle of Attack



Im Steigflug, Wind von rechts



Im Kurvensinkflug,  
Wind von links



FPV mit Flight Director,  
Sinkflug mit Wind von links

# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

# Primary Flight Display – Speed Scale

- Darstellung der angezeigten Eigengeschwindigkeit (Indicated Airspeed) in Knoten
  - Aktuelle Speed als gelbe Markierung mit Trendpfeil
  - Gewählte Geschwindigkeit als blaues (selected) oder magenta (managed) Dreieck
  - Mindestgeschwindigkeit aerodynamisch  $V_{LS}$
  - Mindestgeschwindigkeit operationell  $F, S, O$  („green dot“) oder im  $V_{LS}$  Endanflug
  - Maximalgeschwindigkeit  $V_{MO}/M_{MO}$
  - Maximalgeschwindigkeit für nächstes (=höheres) Slat/Flap-Setting  $V_{FEnext}$
  - Weitere Geschwindigkeiten für Start ( $V_1$ ,  $VR$ ), Managed Modes

Speed	Variabel?	Abhängig von?
$V_{LS}$	Ja	Gewicht, Höhe
$F, S, O$	Ja	Gewicht, Höhe, Config
$V_{FEnext}$ , $V_{FE}$	Nein*	Konfiguration
$V_{MO}$ , $M_{MO}$	Ja	Konfiguration, Höhe
Speedtarget	Ja	FMS, Pilot

\*) Unterschiedlich faktoriert bei Start und Landung



$V_{MO}$

gewählte Geschwindigkeit

$V_{FEnext}$

aktuelle Geschwindigkeit mit deutlichem Speedtrend

$F$  aktuelle operationelle Mindestgeschwindigkeit

$V_{LS}$

# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

# Primary Flight Display – Barometric Altimeter

- Darstellung der Flughöhe
- Bezug auf den eingestellten Druckwert
  - Lokaler Luftdruck (QNH) in „hecto Pascal hPa“ (z.B. 1021) oder inch Mercury (inHG) 29.67 (in USA, Canada)
  - Standard Luftdruck (STD 1013,2hPa/29.92inHG) verbindlich für alle oberhalb der Übergangshöhe (Transitionlevel, Transitionaltitude)
- Höhen bezogen auf QNH in Füßen, z.B. Dreitausend Fuß = 3000 Fuß
- Höhen bezogen auf STD als Flight Level in Hektouß, z.B. Flightlevel One-Nine-Zero = FL 190 (= 19000 Fuß)

Gewählte Höhe

Aktuelle Höhe

Luftdruckbezug



NB1

**tbc**

Nikolaus Braun; 24.09.2019

# Primary Flight Display – Vertical Speed Indicator

- Anzeige Vertikalgeschwindigkeit
- Basiert auf Sensordaten der Initialreferenzsysteme (kurzfristig) sowie der barometrischen Druckmesser (mittel und langfristig)
- Anzeige der Steig/Sinkrate in 100 Fuß als Zahlenwert
- Skala großformatig bis 1000 FPM, danach kleiner werdend bis 6000 FPM. Höhere Werte nur noch als Zahlenwert.
- Kann Ausweichkommandos des TCAS (Traffic Awareness and Collision Avoidance Systems) darstellen



Aktuelle  
Vertikalgeschwindigkeit

# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

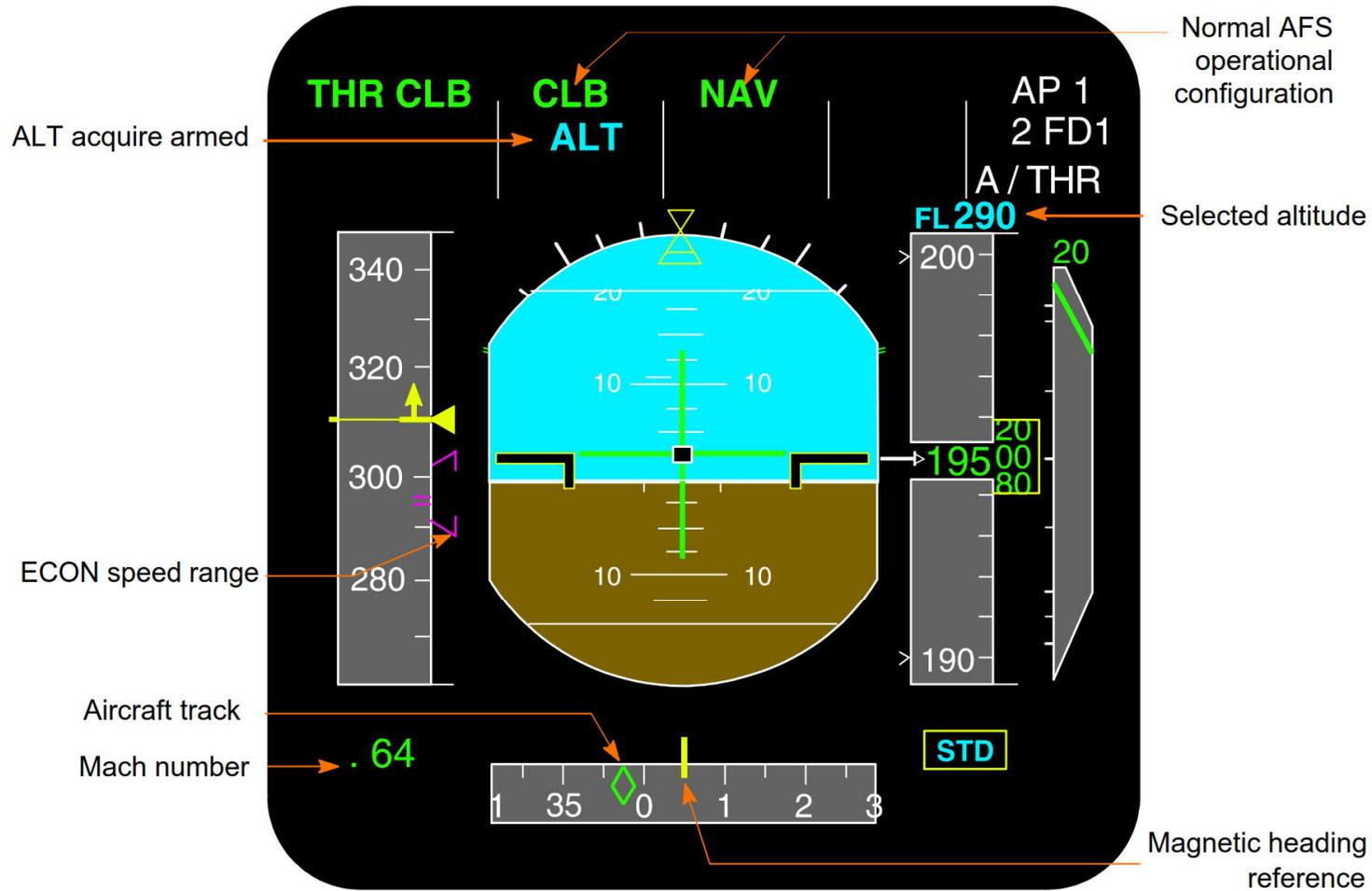
- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

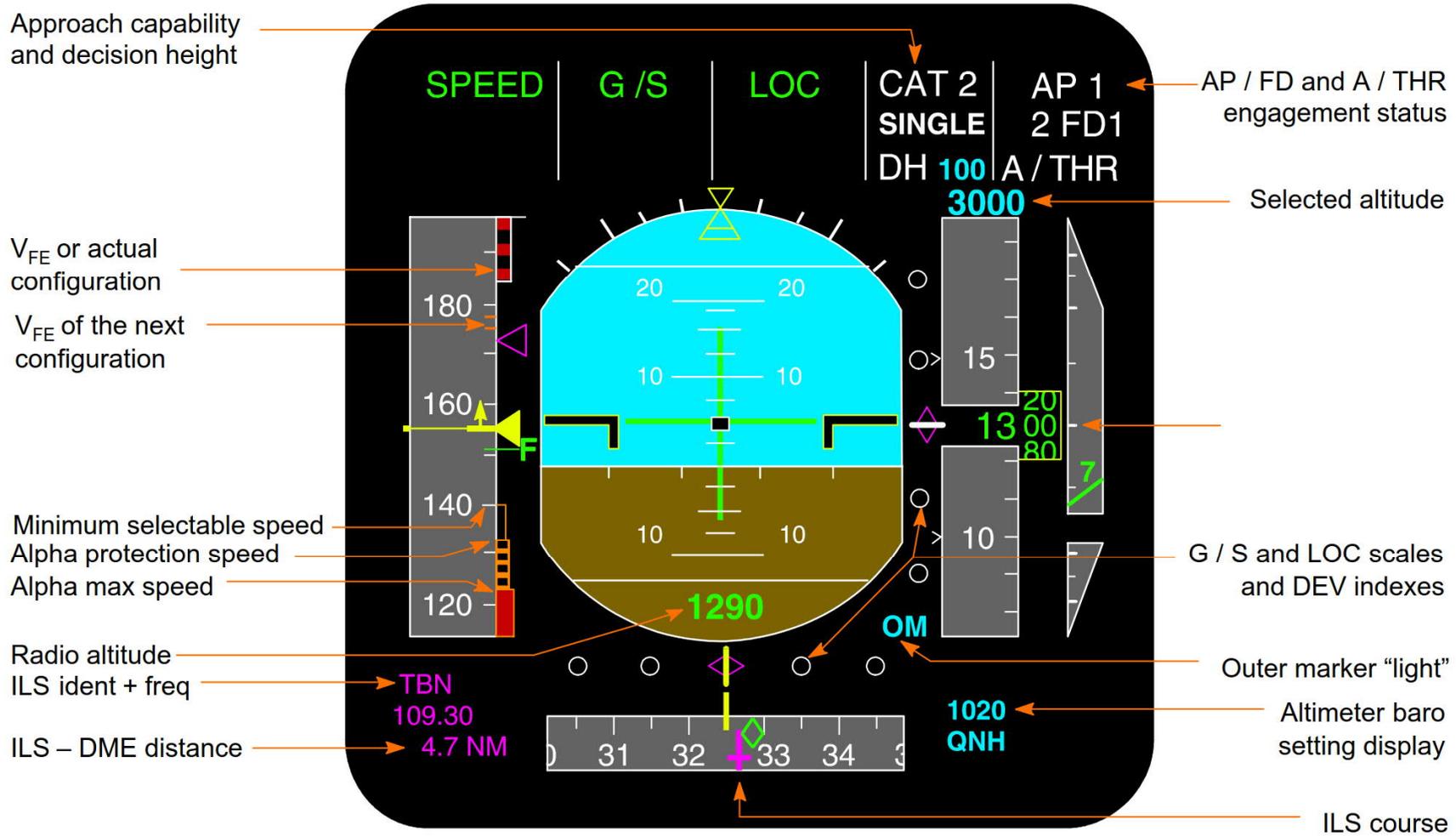
- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

# Primary Flight Display – Other Indications



# Primary Flight Display – Other Indications



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

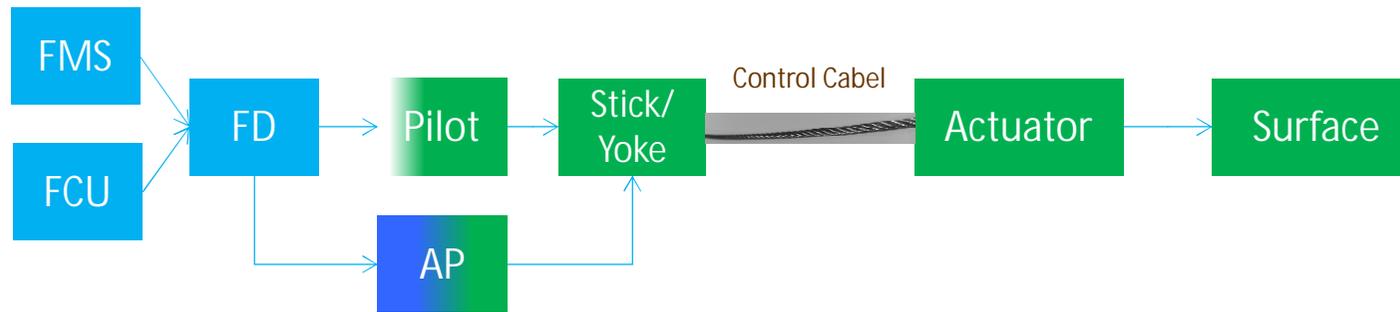
## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

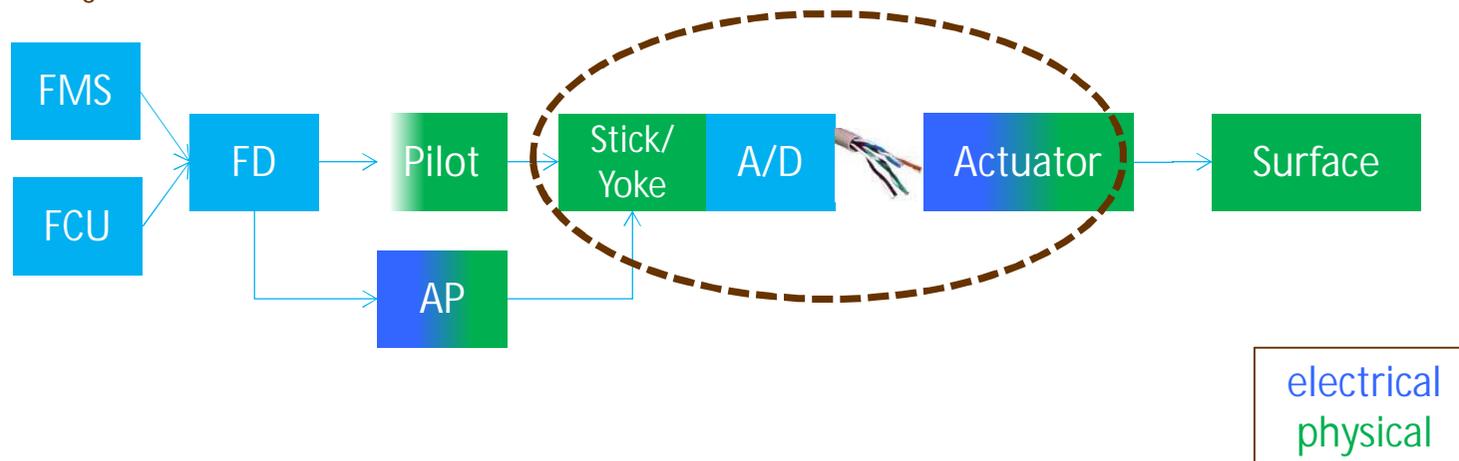
## 3. Auto Thrust

# „Fly by Wire“ -Konzept

Classic Flight Control Architecture

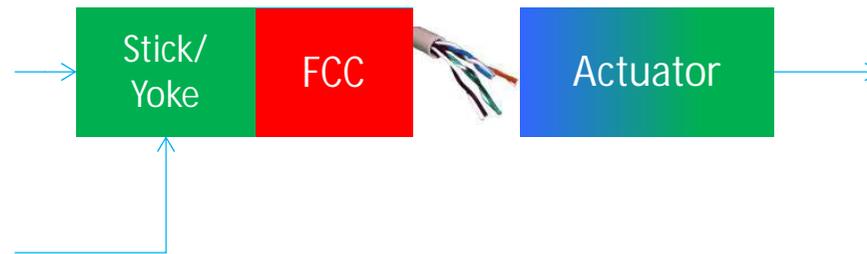


FBW Flight Control Architecture



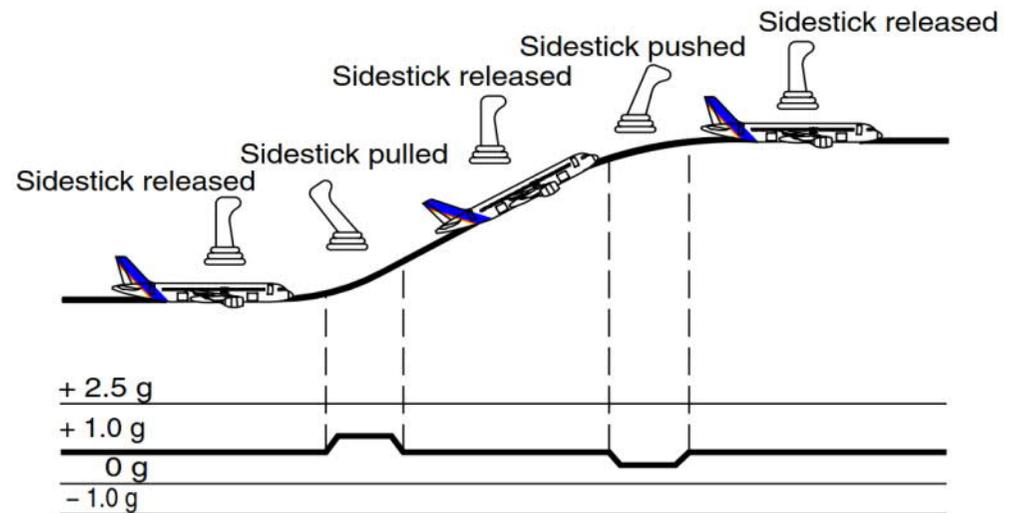
# „Fly by Wire“-Konzept

Airbus FBW Flight Control Architecture



Flight Control Computers re-define input signal

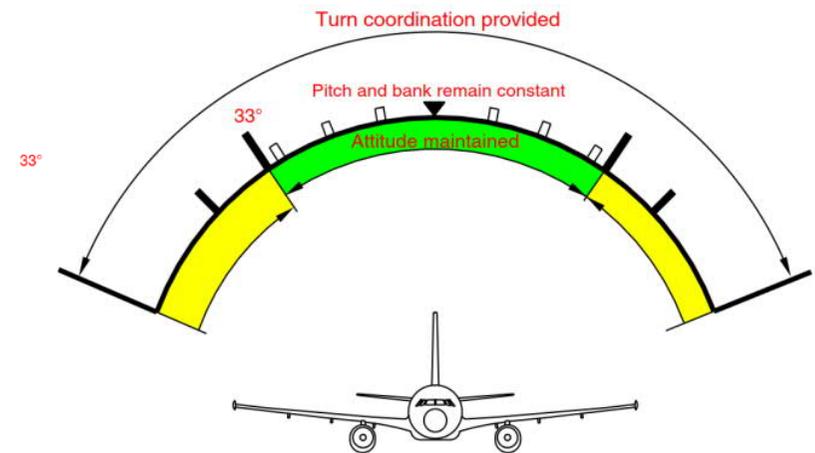
- Physical pitch input becomes g-load command
  - No input = 1g, A/C maintains present vertical trajectory
  - Trim is automatically adopted and compensates thrust changes



© AIRBUS FCTM

# „Fly by Wire“-Konzept

- Physical bank input becomes roll rate command
  - No input = Roll rate  $0^\circ/s$
  - Max rate limited to  $15^\circ/s$
  - Stick input results in identical aircraft reaction, independent of speed
  - Pitch requirement coordinated
  - Yaw (rudder) requirement coordinated
  - In landing phase transition to „Roll Direct Law“, i.e. ‚stick to surface‘ control



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

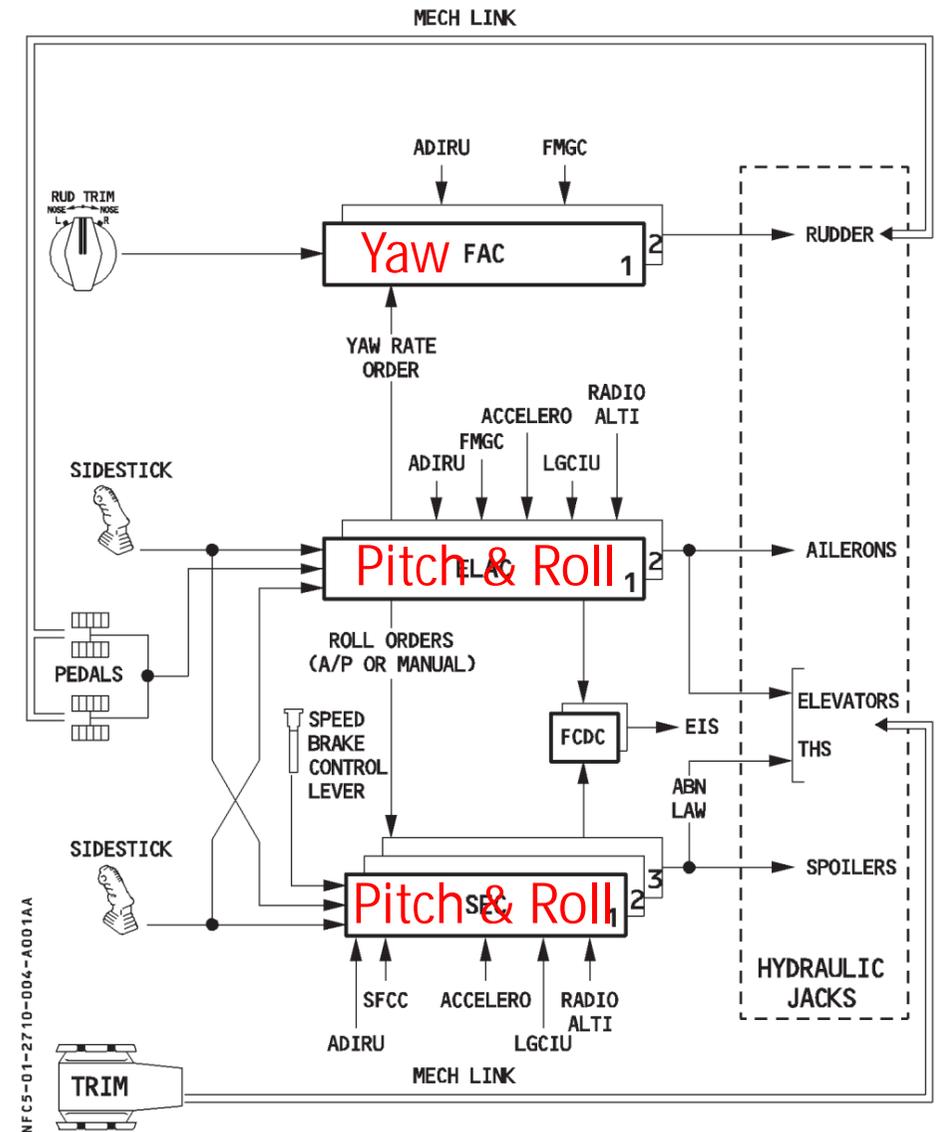
## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

# „Fly by Wire“ - Bestandteile

- Diverse sekundäre Computer zur Datenerfassung
- Drei Computer-Gruppen
  - 2 Elevator Aileron Computer (ELAC)
    - Ailerons
    - Elevator
    - Pitch Trim
  - 3 Spoiler Elevator Computer (SEC)
    - Spoiler
    - Elevator
    - Pitch Trim
  - 2 Flight Augmentation Computer (FAC)
    - Rudder
- Mechanische Verbindung zu Rudder und Pitch Trim
- Alle Steuerflächen werden hydraulisch bewegt
  - Bei Redundanz steuert ein Aktuator, der andere dämpft
  - Eine direkte, mechanische Bewegung der Steuerflächen (“manual Reversion”) ist nicht möglich





# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

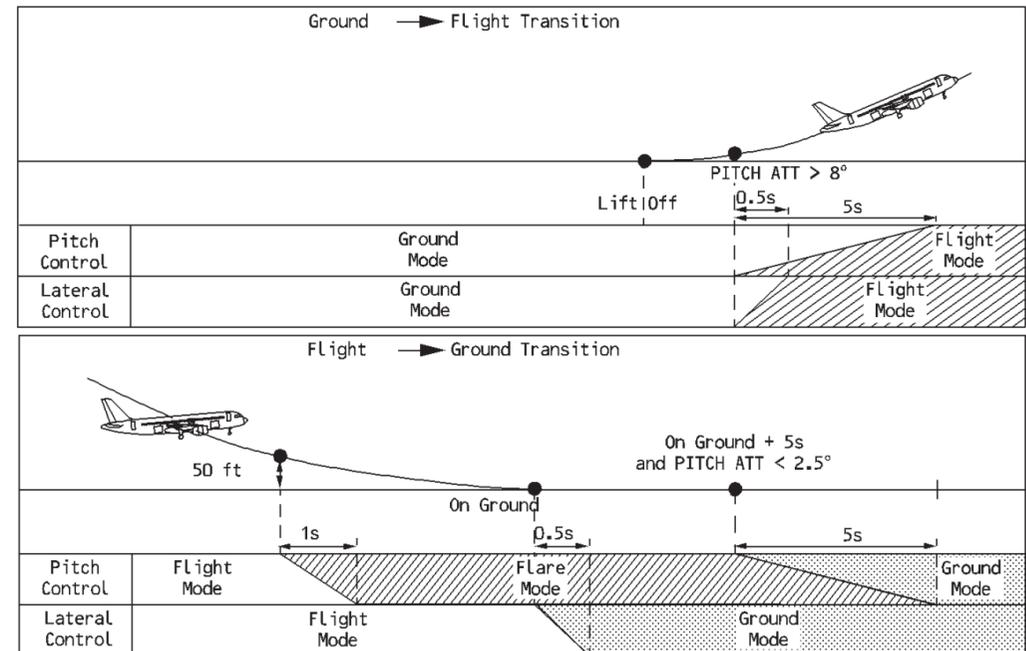
# „Fly by Wire“ – Normal Law: Pitch Control

## Take Off

- Ground Mode (“Direct”)
- Flight Mode („Normal“)

## Landung

- Flight Mode („Normal“)
- Flare Mode (Nose down input)
- Ground Mode (“Direct”)



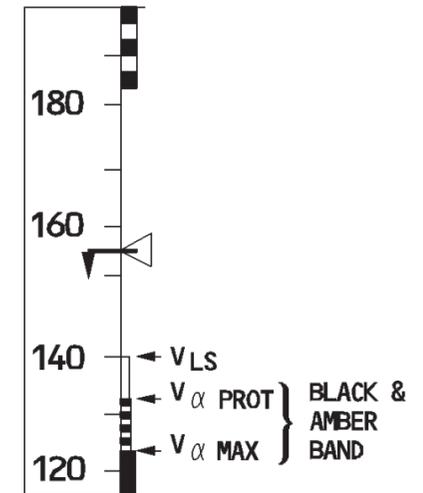
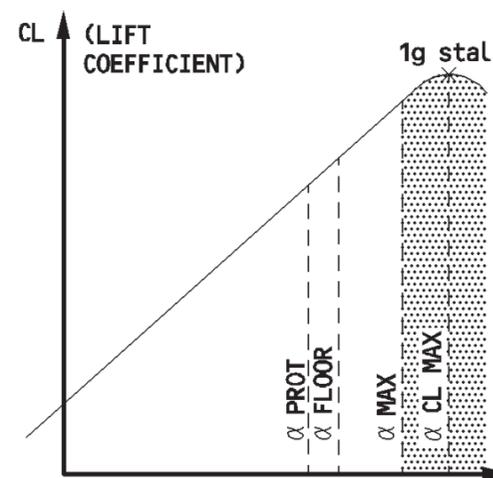
# „Fly by Wire“ – Normal Law: Pitch Control

## Normal Law Pitch Control

- 1g-Command
  - Eine einmal eingestellte Trajektorie wird vertikal beibehalten, z.B. Geradeausflug
- Automatic Pitch Trim Control
  - Trimänderungsbedarf, z.B. durch Schub- oder Konfigurationsänderungen wird automatisch durchgeführt

## Protections

- High Speed Protection
- Load Factor (+2.5g bis -1g clean, sonst +2g bis 0g)
- Pitch Attitude (-15° bis +30° Pitch)
- High Angle of Attack (dynamisch)



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

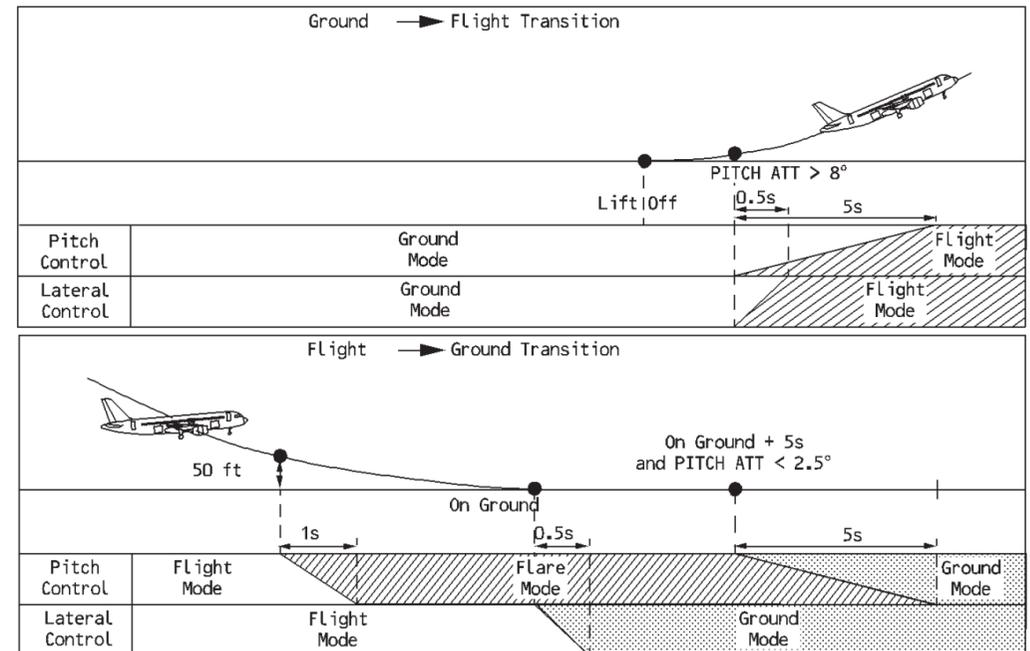
# „Fly by Wire“ – Normal Law: Roll

## Take Off

- Ground Mode (“Direct”)
- Flight Mode („Normal“)

## Landung

- Flight Mode („Normal“)
- Ground Mode (“Direct”)



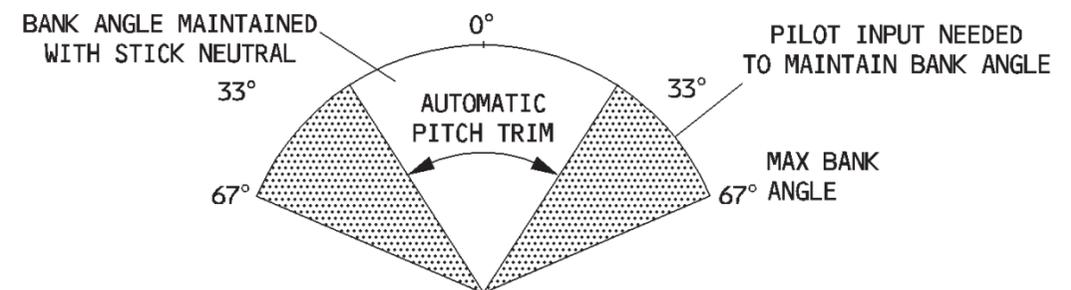
# „Fly by Wire“ – Normal Law: Roll

## Normal Law Roll Control

- Wings Level
  - Basic Mode, entsprechend Roll Rate =  $0^\circ/\text{s}$
- Roll Rate Command
  - Geschwindigkeitsunabhängige Stickinputs bewirken identische Flugzeugreaktion

## Protections

- Max Bank Beschränkung ( $67^\circ$ )
  - Bis  $33^\circ$  voll koordinierter Turn und RollRate  $0^\circ/\text{s}$  möglich; Auto Trim aktiv
  - $33^\circ$ - $45^\circ$ : Reduktion der Bank auf  $33^\circ$  ohne Input, keine Turnkoordination, kein Auto Trim
  - Ab  $45^\circ$ : Kein Flight Director
  - Bei  $67^\circ$ : Limit



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

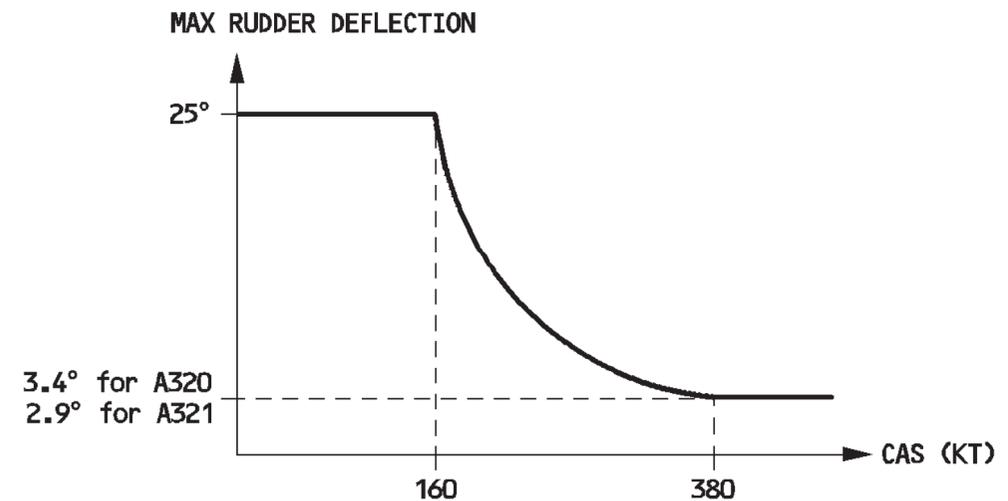
- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

# „Fly by Wire“ – Normal Law: Yaw

## Yaw Control - Rudder

- Korrektur des Drift Angles bei Crosswind-Landungen
- Engine Out
- Sekundärfunktionen
  - Turnkoordination
  - Yaw Damping



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

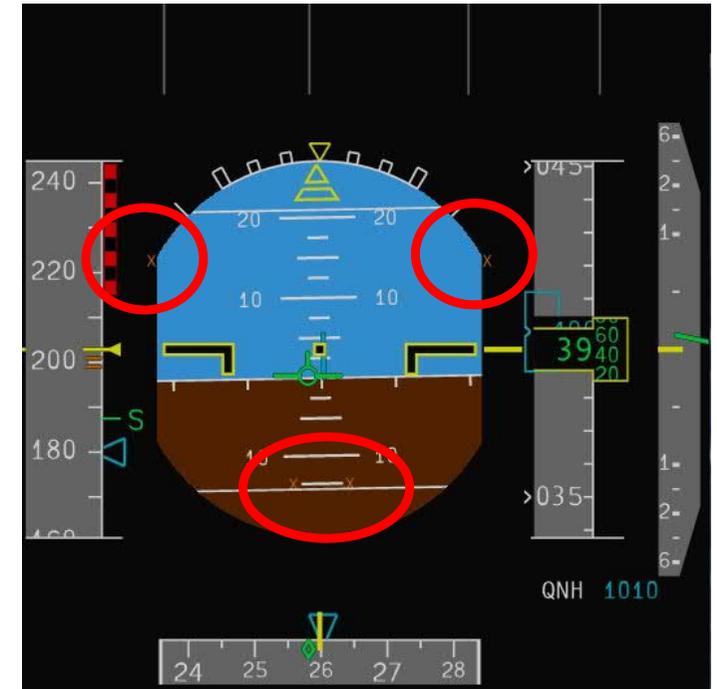
# „Fly by Wire“ – Alternate Law

## Alternate Law

- (Meist) Kein Autopilot
- Teilweise kein Auto-Thrust
- Bei Gear Down: Direct Law

## Protections

- Keine oder eingeschränkte Protections
  - Keine Pitch Limitierung
  - Load Factor normal
  - Low Speed Stability statt AoA-Protection
  - High Speed Stability statt Protection
  - Keine Bank Beschränkung



```
F/CTL ALTN LAW  
(PROT LOST)  
MAX SPEED.....320 KT  
AUTO FLT A/THR OFF  
CAB PR SYS 2 FAULT  
HYD PTU  
IGNITION  
LDG LT  
FUEL X FEED
```

# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

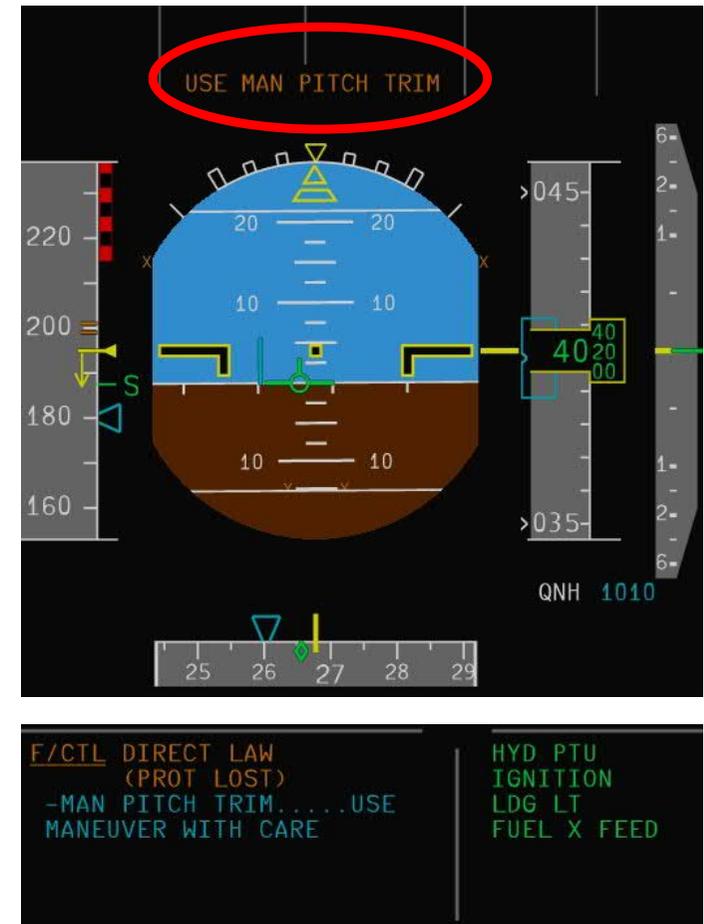
# „Fly by Wire“ – Direct Law

## Direct Law

- Kein Autopilot
- Kein Auto-Thrust
- Kein Auto-Trim
- Klassisch “Stick to Surface”

## Protections

- Keine Protections



# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

## 3. Auto Thrust

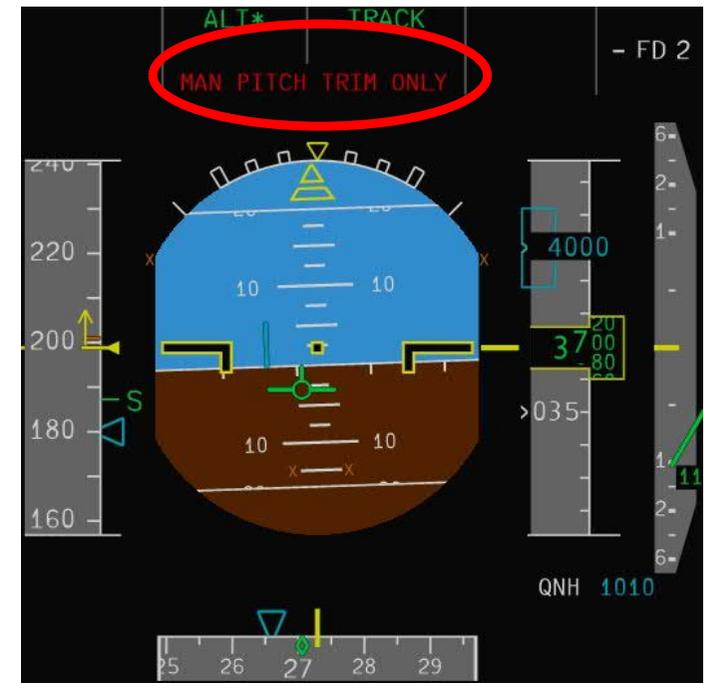
# „Fly by Wire“ – Mechanical Back Up

## Mechanical Back Up

- Notfallszenario, laut Airbus nur temporär vorstellbar bis mindestens Direct Law wieder hergestellt ist
- Nur noch Rudder und Pitch Trim
  - Rudderinput ergibt Giermoment, dadurch veränderte Anströmung, dadurch Auftriebsänderung und Bank = Kurvenflug
  - Pitch Trim sehr träge, schlecht gedämpfte Pitchsteuerung

## Protections

- Keine Protections



```
F/CTL L+R ELEV FAULT          AUTO FLT
MAX SPEED.....320/.77
-MAN PITCH TRIM.....USE
-SPD BRK.....DO NOT USE
F/CTL ELAC 1 FAULT
      ELAC 2 FAULT
      SEC 1 FAULT
```

# Übersicht

## 1. Primary Flight Display

- Horizont
- Flight Director  
Bird / Flight Path Vector
- Speed Scale
- Baro Altimeter  
V/S Indication
- Other Indications

## 2. Fly-by-Wire

- Konzept
- Bestandteile
- Normal Law
  - Pitch
  - Roll
  - Yaw
- Alternate Law
- Direct Law
- Mechanical Back-Up

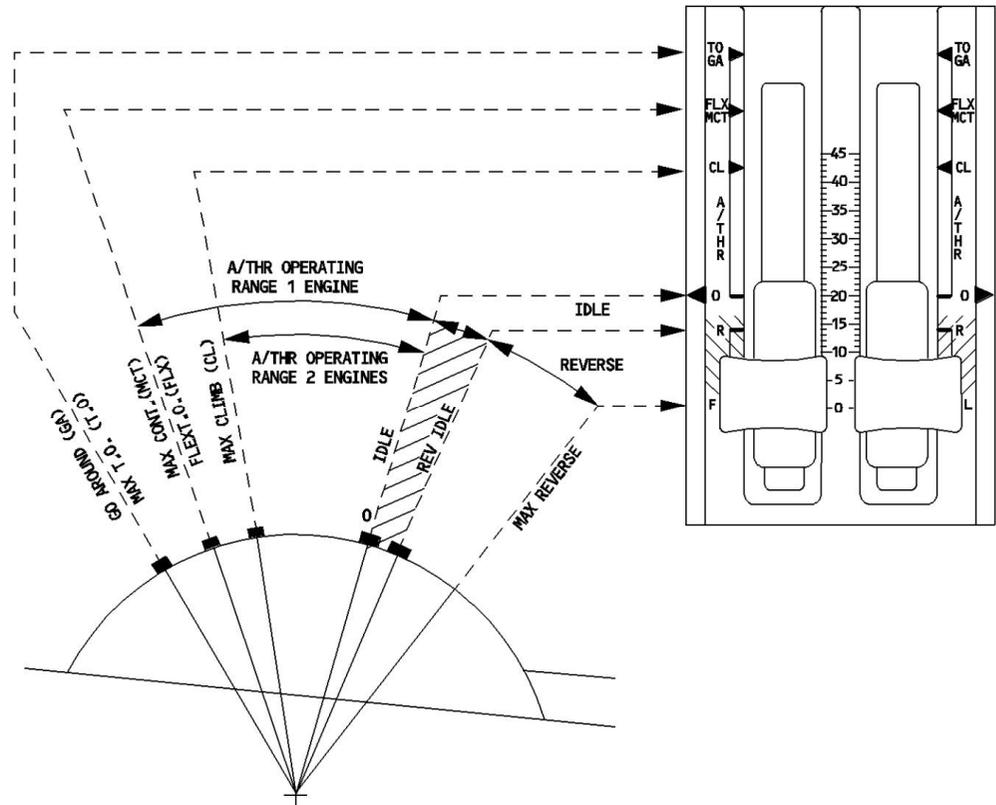
## 3. Auto Thrust

# Auto Thrust

## Schubregelung

- Rasten

- IDLE
- CLB – Climb Thrust
- FLX / MCT – Flex Temperature Take Off oder Max Continuous Thrust (MCT)
- TOGA – Take Off / Go Around (Full Thrust)
- REV - Umkehrschub



# Auto Thrust - Modes

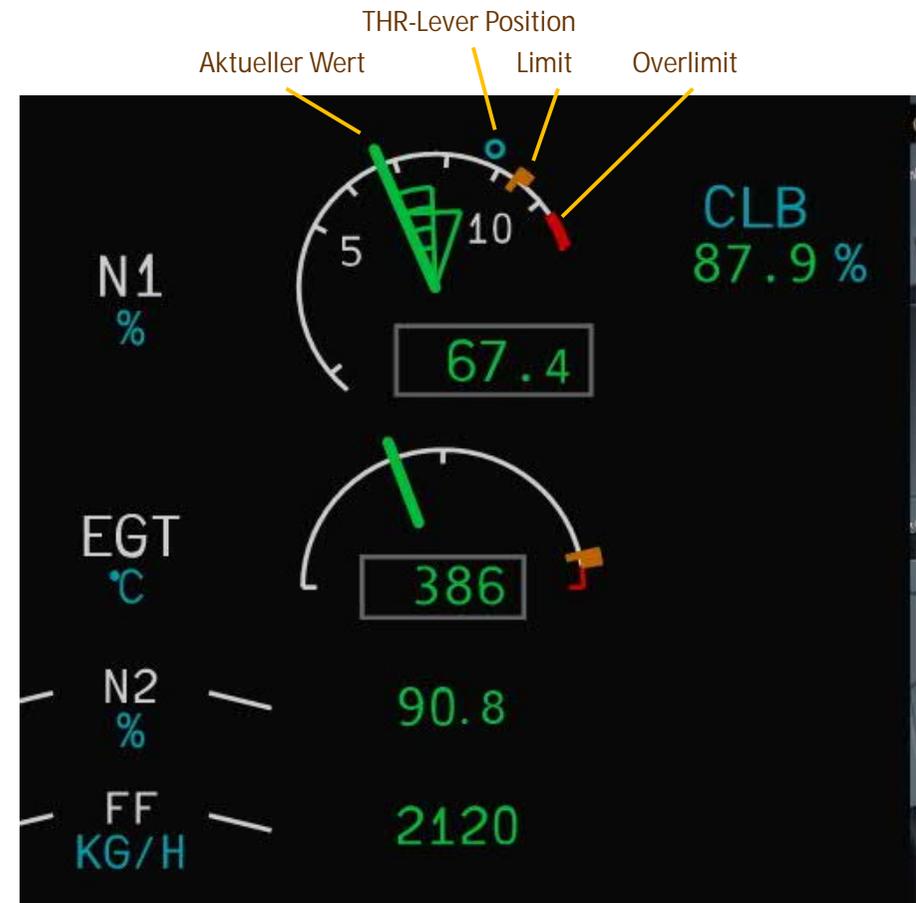
## Schubregelung

- Kennwerte
  - $N_1$  Drehzahl Hauptwelle [%]  $\approx$  Schub (IAE: Engine Pressure Ratio (EPR))
  - Exhaust Gas Temperature (EGT) [°C] Kontrollwert für Belastung des Triebwerks
  - Fuel Flow [kg/h] aktueller Verbrauch
- Take Off – Festes Setting wird eingestellt
  - TOGA
  - FLEX – reduzierte Startleistung, um thermische Triebwerksbelastung zu reduzieren
  - Derate – reduzierter Startleistung, praktisch nicht genutzt auf kontaminierten Runways
- Limit Modes
  - CLB – das “Standard Regelimit” im normalen Flugverlauf
  - MCT – ersetzt CLB bei 1 Engine Out
  - IDLE – Leerlauf, Drehzahl unterschiedlich an Boden und im Flug
- Unterschied CLB-MCT-TOGA nur am Boden signifikant, mit größerer Höhe abnehmend bis identisch
- Regelung
  - SPEED / MACH
  - Abhängig von Vertical Mode

# Auto Thrust

## Schubregelung

- Kennwerte
  - N<sub>1</sub> Drehzahl Hauptwelle [%] ≈ Schub (IAE: Engine Pressure Ratio (EPR))
  - Exhaust Gas Temperature (EGT) [°C] Kontrollwert für Belastung des Triebwerks
  - Fuel Flow [kg/h] aktueller Verbrauch
- Take Off
  - TOGA
  - FLEX
  - Derate
- Limit Modes
  - CLB
  - MCT
  - IDLE
- Regelung
  - SPEED / MACH
  - Abhängig von Vertical Mode



# Auto Thrust

	Thrust	Speed	Vertical Speed
Take Off	Fix	Dynamisch	Dynamisch
THR CLB/MCT/IDLE	Fix	Fix	Variabel
SPEED / MACH / DES	Variabel	Fix	Fix / 0

# Referenzen

- Luftfahrt Koordinatensysteme: <https://m-server.fk5.hs-bremen.de/kos/kos.html>
- [http://www.smartcockpit.com/docs/A320\\_Flight\\_Deck\\_and\\_Systems\\_Briefing\\_For\\_Pilots.pdf](http://www.smartcockpit.com/docs/A320_Flight_Deck_and_Systems_Briefing_For_Pilots.pdf)
- Screenshots Prepar3D, FS Labs A320-X
- Airbus FCOM SIM A320