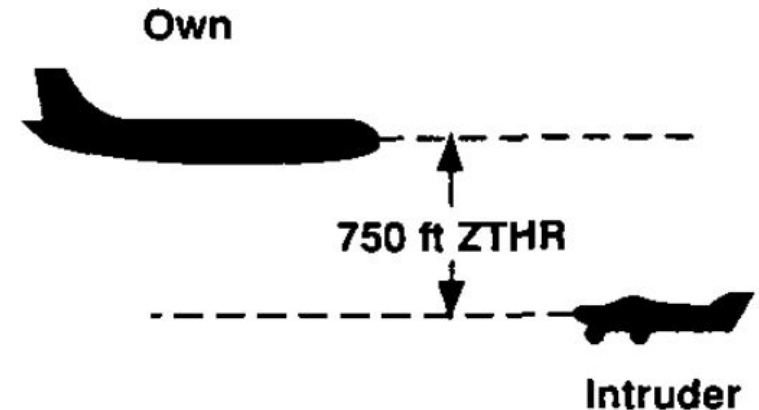


TCAS

Traffic Collision Avoidance System

Cedric Pump
WS 2021/22



Quelle: [1]

Grundlagen Luftraumüberwachung

Air Traffic Control (ATC) nutzt zur Luftraumüberwachung eine Kombination aus Radar-Verfolgung und Transponder- basierten Systemen für die Positionsbestimmung.

- **Secondary Surveillance Radar (SSR)**
- **Transponder Abfragen**
 - **Mode A**
 - **Mode C**
 - **Mode S**
- **Andere Überwachungsmechanismen (ADS-C oder ADS-B)**

Grundlagen Luftraumüberwachung

Transponder

Abfrage des Transponders auf der Frequenz 1030 MHz

Antwort auf der Frequenz 1090 MHz

wird ein Transponder angefragt (Interrogation) antwortet er mit dem SQWK Code

Der vierstellige SQWK Code (0000 - 7777) bietet 4096 Kombinationen und hilft bei der Identifikation der Flugzeuge

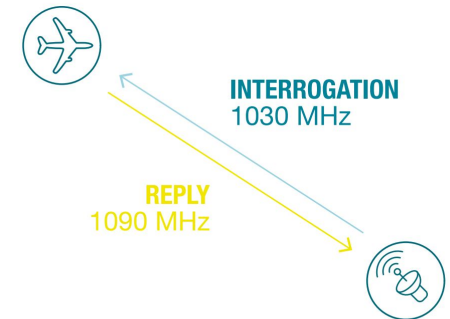


Figure 1-1: SSR interrogation and transponder reply

Quelle: [2]



Quelle: [8]

Grundlagen Luftraumüberwachung

Transponder Mode A

- Antwortet auf Interrogation mit SQWK Code
- keine Übertragung von Flughöhe oder Position
- Entfernung und Richtung werden Zeitdifferenz zwischen Interrogation und Reply bzw. Antennenrichtung berechnet
- Ident Funktion möglich
- nicht in allen Lufträumen zugelassen

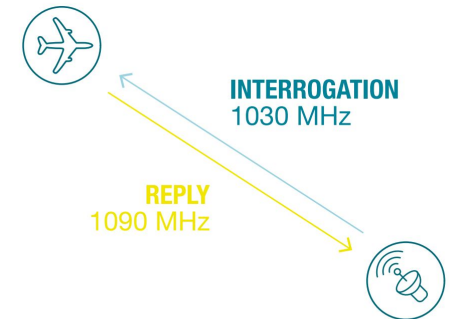


Figure 1-1: SSR interrogation and transponder reply

Quelle: [2]



Quelle: [8]

Grundlagen Luftraumüberwachung

Transponder Mode C

- Antwortet mit SQWK Code und Flughöhe
- Entfernung und Richtung werden Zeitdifferenz zwischen Interrogation und Reply bzw. Antennenrichtung berechnet

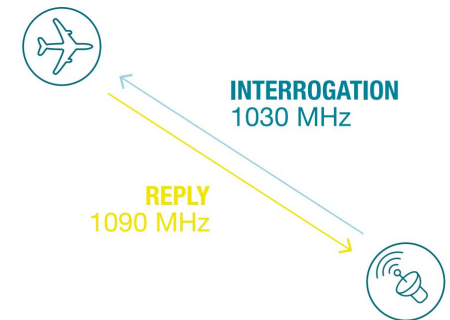


Figure 1-1: SSR interrogation and transponder reply

Quelle: [2]



Quelle: [8]

Grundlagen Luftraumüberwachung

Transponder Mode S

- **Antwortet mit auf Interrogation mit Flugdaten:**
 - **24 bit Adresse (eindeutiger Identifier)**
 - **Richtung und Geschwindigkeit**
 - **Flughöhe**
 - **je nach Typ mehr (ELS, EHS, ADS-B) ...**
- **Abwärtskompatibel zu Mode A und C**
- **Ermöglicht senden und empfangen von Daten (DataLink)**
 - **Ermöglicht Kommunikation mit anderen Flugzeugen und ATC**
- **Drei Nachrichtenpattern verfügbar:**
 - **AllCall, Broadcast, Selective, Interrogate**

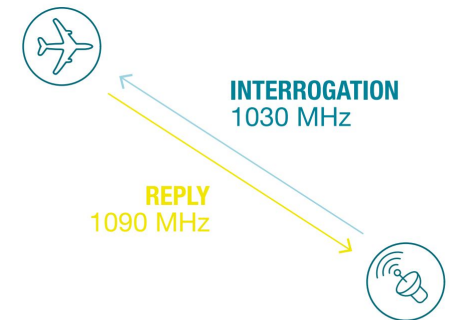


Figure 1-1: SSR interrogation and transponder reply

Quelle: [2]



Quelle: [8]

TCAS Geschichte

- 1955 Anfrage der Air Transport Association (ATA) an die Industrie
- Schluss nach langen Untersuchungen, dass ein kooperativer Ansatz notwendig ist
- Erstes ACAS nutzt hoch synchronisierte Timeslots zur Distanzbestimmung
- ATA entwickelt TAU-basierte Logic zur Kollisionserkennung
- 1974 wird Entwicklung des Beacon-based Collision Avoidance System eingeleitet
- Erste Konzepte sind wirksam im Luftraum mit geringer Flugdichte
- Vertical-only Logic wurde entwickelt
- Entwicklung des 360 Grad Displays
- 1981 wird TCAS basierend auf BCAS entwickelt
 - bessere Kollisionserkennung in stark ausgelasteten Lufträumen
 - Vorwarnungen bei Flugzeugen ohne Mode-C Transponder

TCAS Konzept

- **Basiert auf der Verwendung von Mode-S Transpondern**
 - **Kompatibel mit Mode-A/C**
- **Organisiert in 4 Phasen: Detection, Acquisition, Tracking, Coordination**
- **Interrogation benachbarter Flugzeugen im mit Mode-S Transponder zur Positionsbestimmung**
- **Erzeugt Warnungen wenn Flugzeuge in bestimmte Bereiche eindringen:**
 - **Traffic Advisory (TA)**
 - **Resolution Advisory (RA) mit Korrektur Manövern**
- **Koordinierte Manöver zwischen beteiligten Flugzeugen**

TCAS Versionen

TCAS I

- **Kostengünstige Variante für General Aviation Flugzeuge**
- **liefert nur Warnung durch Traffic Advisories**

TCAS II

- **Verwendung in Cargo und Airline Flugzeugen**
- **liefert Traffic Advisories und Resolution Advisories**
- **Ausweichmanöver werden auf vertikaler Ebene durchgeführt**
- **Kooperative Manöver**

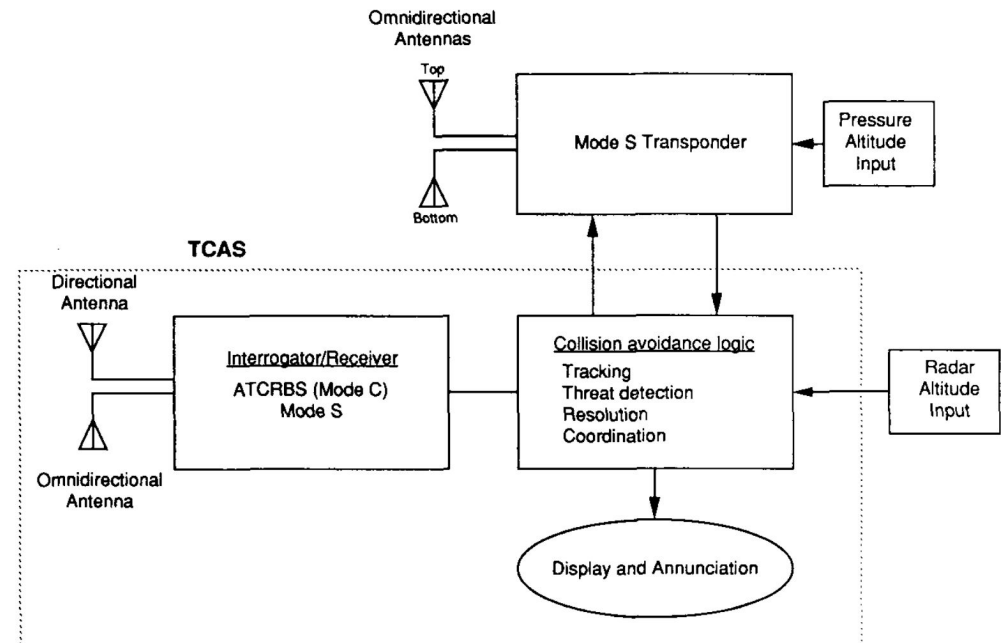
TCAS III

- **Ausweichmanöver werden auf vertikaler und horizontaler Ebene durchgeführt**
- **Eine einföhrung ist wegen technischen Schwierigkeiten nicht abzusehen^[2]**

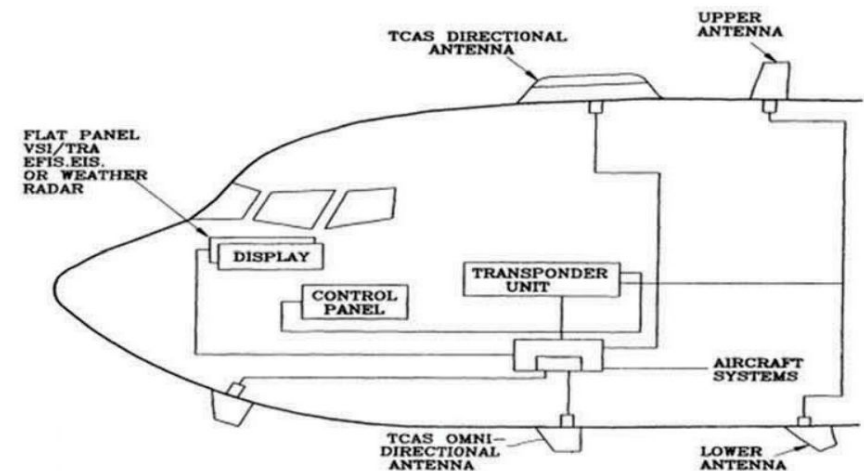
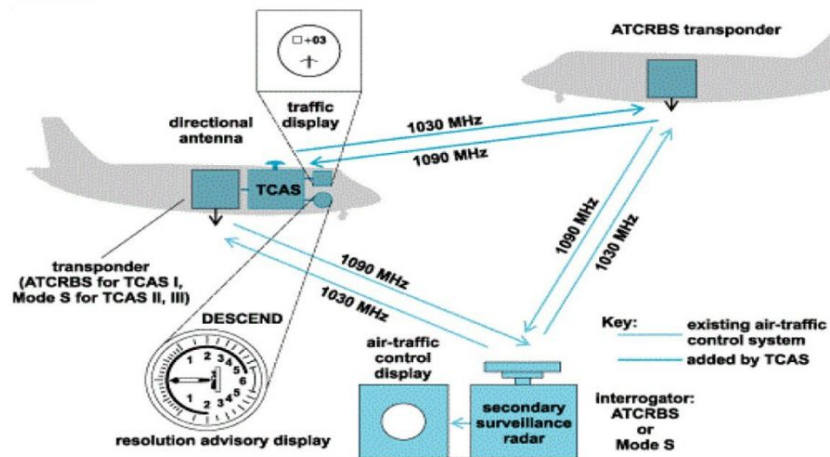
Das TCAS II System ist ein kooperatives System

Mode S Transponder für selektive Kommunikation für Interrogations und Koordination

Mode C Transponder für passive Interrogation und Abwärtskompatibilität



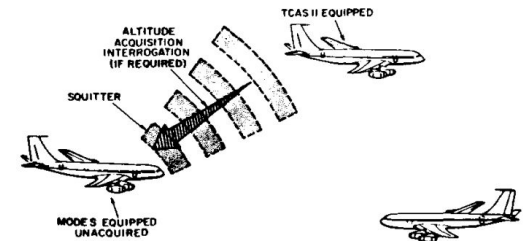
Quelle: [1]



Quelle: [9]

Detection / Acquisition Phase

- Flugzeuge senden periodischen Squitter Nachrichten durch Luftüberwachung durch ATC min 24 Bit ID (Broadcast)
- Flugzeug horcht nach Spitter-Nachrichten aus ATC
- Gefundene Flugzeuge werden periodisch interrogiert
 - Mode-S Transponder antworten mit Extended Squitter
 - Mode-C Transponder antworten mit Flughöhe
 - Mode-A Transponder antworten mit SQWK Code
- Berechnung der Distanz über die Antwortzeit

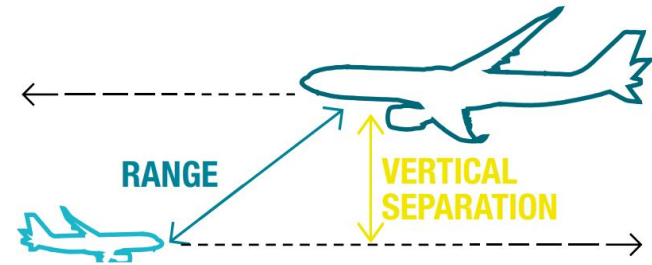


Quelle: [1]

Tracking Phase

Aus den Antworten werden folgende Parameter berechnet:

- Distanz aus Antwortzeit
- Richtung aus relativer Antwortzeit an Antennen (bearing)
- Steigrate (vertical Speed)
- vertikaler Abstand (vertical Separation)
- Änderungsrate der Distanz über mehrere Nachrichten (distance rate)
- Änderungsrate des vertikalen Abstands über mehrere Nachrichten (vertical rate)



Quelle: [2]

In stark frequentierten Lufträumen werden variable Leistungs und directionale Interrogations verwendet um Flugzeuge zu unterscheiden

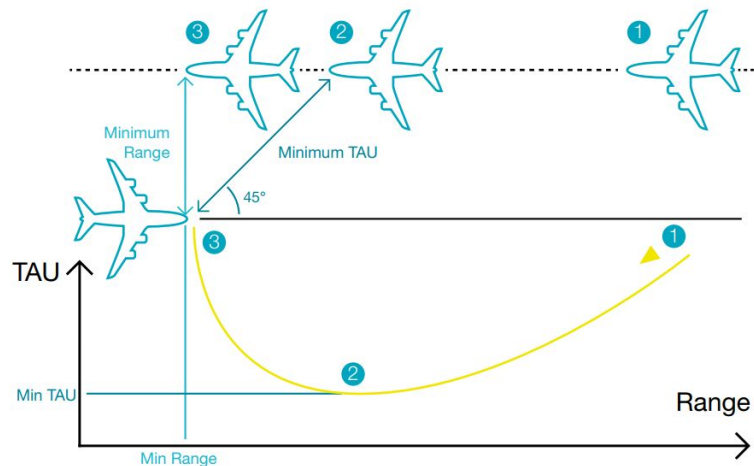
Coordination Phase

Kollisionserkennung

TCAS II verwendet zwei Kriterien zur Kollisionserkennung

Betrachtet wird der Punkt des geringsten Abstandes bei Annäherung (CPA)

- vertikaler Abstand an CPA
- Zeit bis CPA erreicht wird: TAU
 - Die Verwendung der Tau basierten Logic ist Vorteilhaft in bestimmten Situationen



Auf parallelen Airways erreicht TAU das Minimum vor der Distanz und verhindert unnötige Warnungen

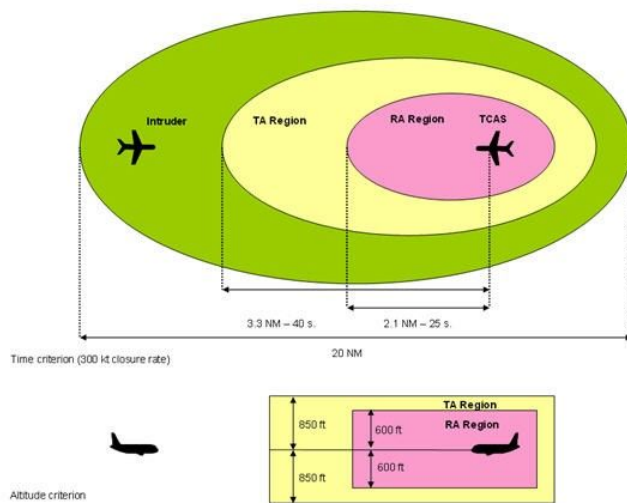
Quelle: [2]

Coordination Phase

Kategorisierung

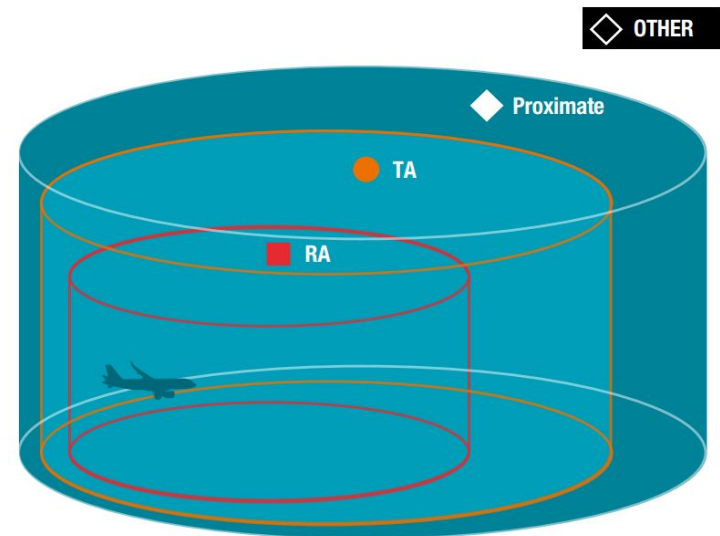
Flugzeuge werden auf Grundlage der ermittelten Parameter kategorisiert in:

- **OTHER:** weit entfernt in Flughöhe oder Distanz
- **PROXIMATE:** nahe in Flughöhe oder Distanz
- **TA (Traffic Advisory):** geringes TAU oder geringes Distanz Threshold
- **RA (Resolution Advisory):** kritisches TAU oder geringes Distanz Threshold



Example of ACAS Protection Volume between 5000 and 10000 feet

Quelle: [4]



Quelle: [2]

Coordination Phase

Display

Die Anzeige der der Traffic Informationen erfolgt im Navigationsdisplay oder in kombinierter Form im Variometer



Kategorie OTHER



Kategorie PROXIMATE
relative Flughöhe +1100 Fuß, sinkend



Kategorie TA
relative Flughöhe -900 Fuß, level



Kategorie RA
relative Flughöhe -500 Fuß, steigend



Navigationsdisplay, Quelle: [4]



Variometer mit TCAS II, Quelle: [5]

Coordination Phase

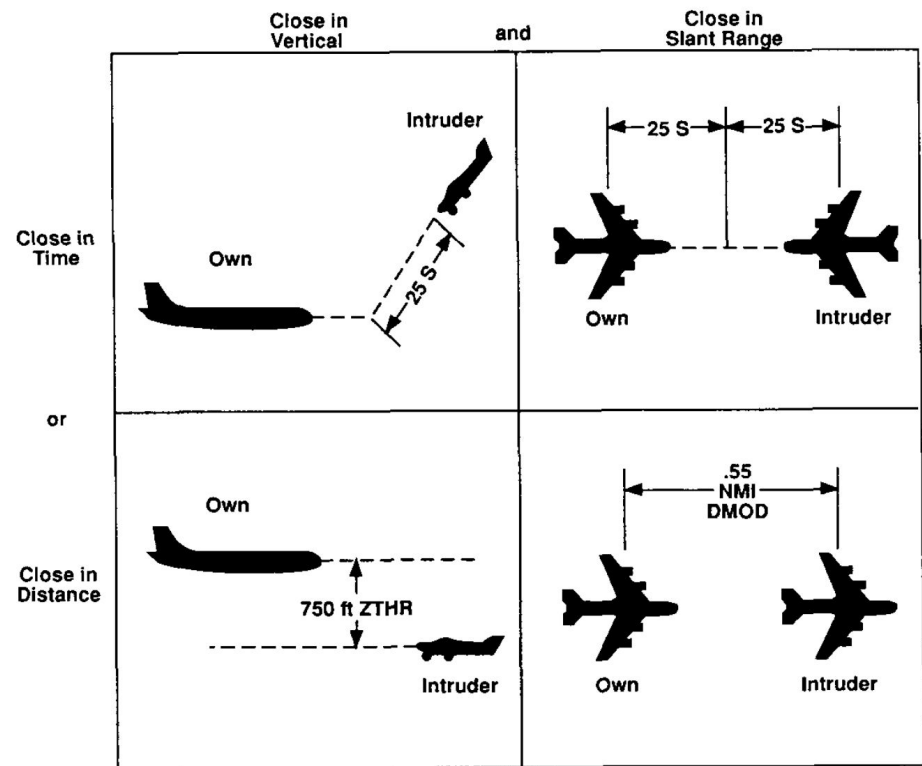
Ausweichempfehlung (Resolution Advisory)

Ziel der Ausweichempfehlung ist es eine größtmögliche vertikale Distanz zu erzeugen

Das kreuzen der Flugbahn des eindringenden Flugzeugs wird hierbei nach Möglichkeit vermieden.

Aus komplexitätsgründen sind alle Ausweichmanöver vertikaler Art

Performenzfaktoren können die Ausweichempfehlungen einschränken



Quelle: [1]

Coordination Phase

Ausweichempfehlung

Ausweichempfehlungen werden akustisch und visuell angezeigt



TA auf VSI, Quelle: [5]

Traffic Advisory

Preventive RA

Korrektive RA

Clear of Conflict



RA auf VSI, Quelle: [5]

TCAS überwacht das Manöver und nimmt ggf. Anpassungen vor

Quellen

[1] Development and Operation of the Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)
by Thomas Williamson and Ned A. Spencer, IEEE 1989

[2] Getting to grips with Surveillance
by AIRBUS S.A.S., Airbus Flight Operations 2018

[3] A TCAS-II Resolution Advisory Detection Algorithm
by Cesar Munoz, Anthony Narkawicz and James Chamberlain,
Guidance, Navigation, and Control and Co-located Conferences, NASA 2013

[9] Design and Development of a Multi-Feed End-Fired Microstrip Antenna for TCAS Airborne System
by Debajit De and Prasanna K. Sahu, Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 78, 69–81, 2017

[4] Traffic collision avoidance system Wikipedia Article
https://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_collision_avoidance_system stand 13.12.2021

[5] Bild Variometer
https://www.seaerospace.com/images/fag/CAS-66A_wih_tics.jpg stand 16.12.2021

[6] Bild Aircraft Indicators
<https://www.ifr-magazine.com/training-sims/flight-traffic-displays/> stand 16.12.2021

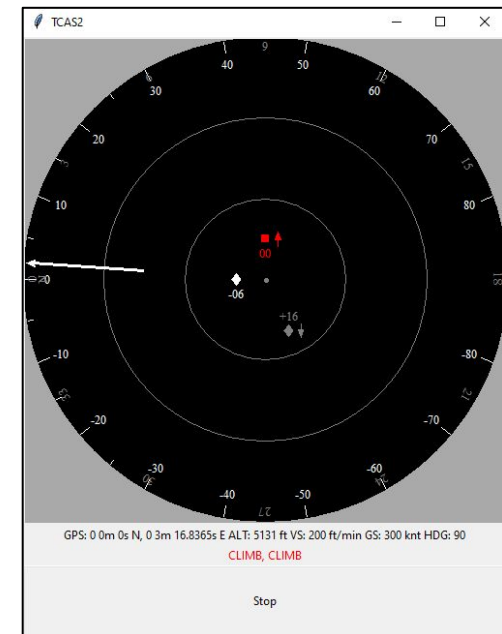
[7] Bilder Advisories
https://www.researchgate.net/figure/2-Example-RA-display-and-annunciation_fig2_282301142 stand 16.12.2021

[8] Bild Transponder Panel
<https://www.aviationmatters.co/aircraft-transponders-how-they-work/>
<https://www.trig-avionics.com/product/stack-transponder-2/> stand 17.12.2021

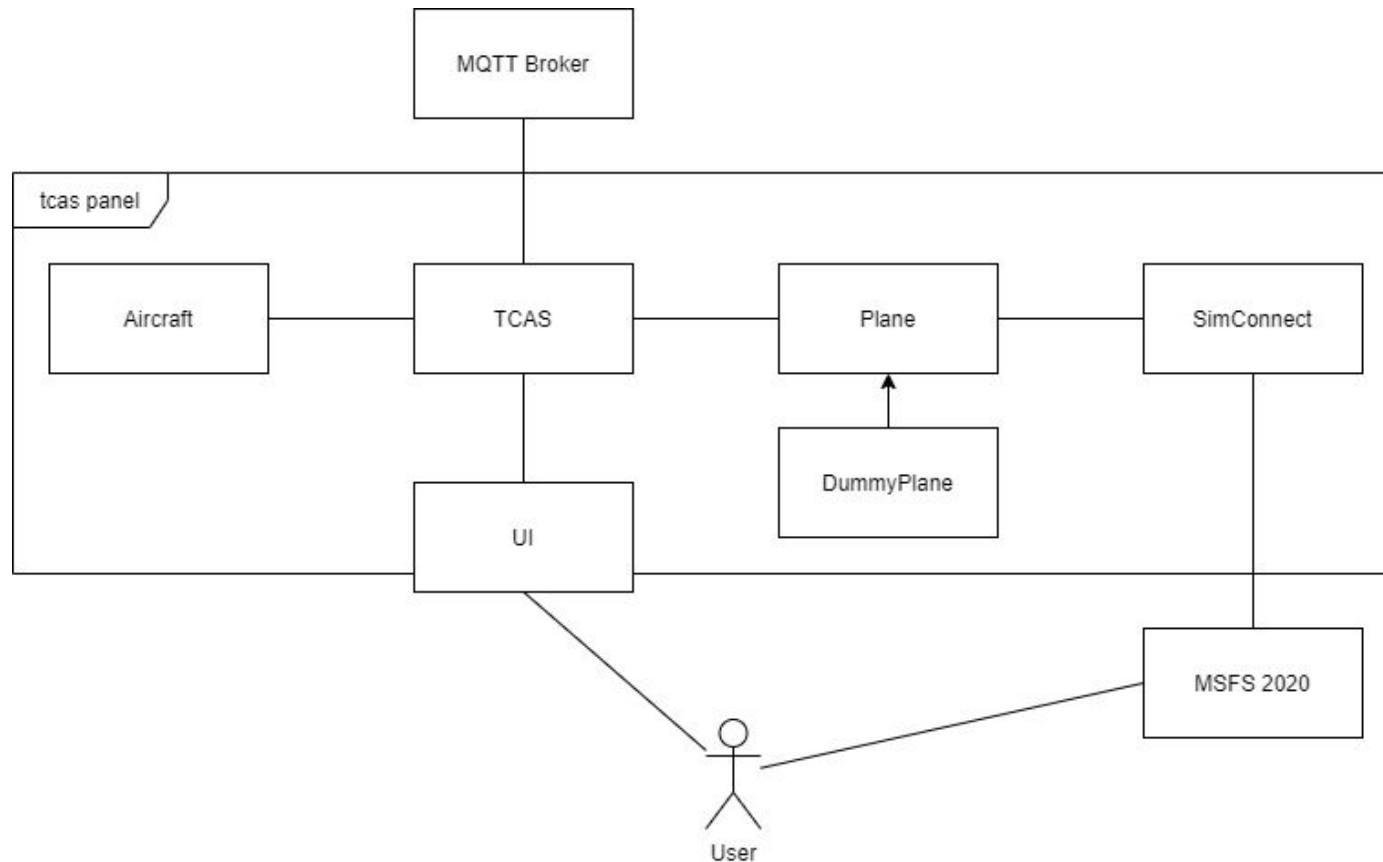
Noch Fragen?

TCAS - eine verteilte Implementierung für MS Flight Simulator 2020

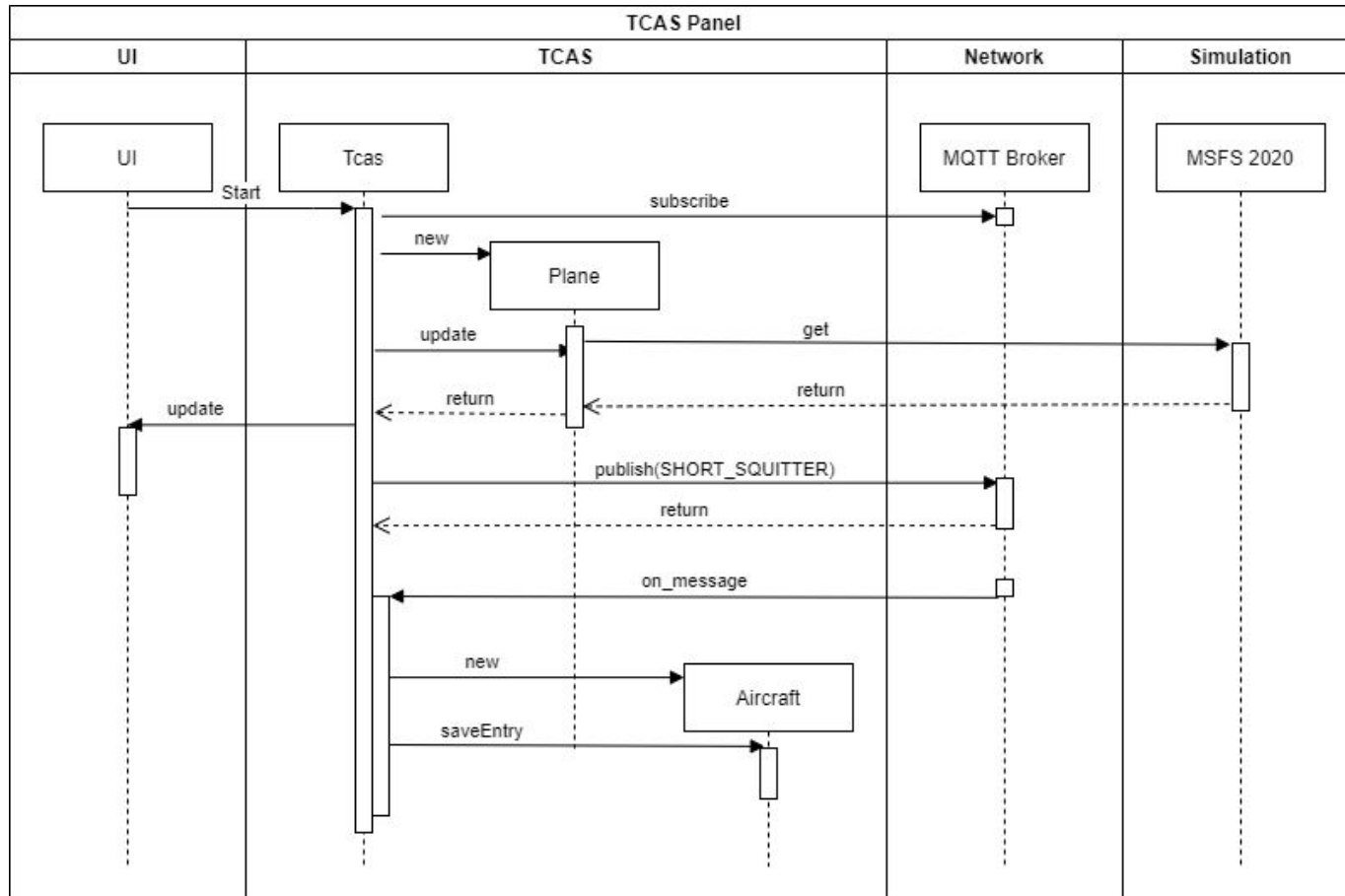
Cedric Pump
WS 2021/22

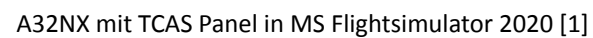


Übersicht



Ablauf



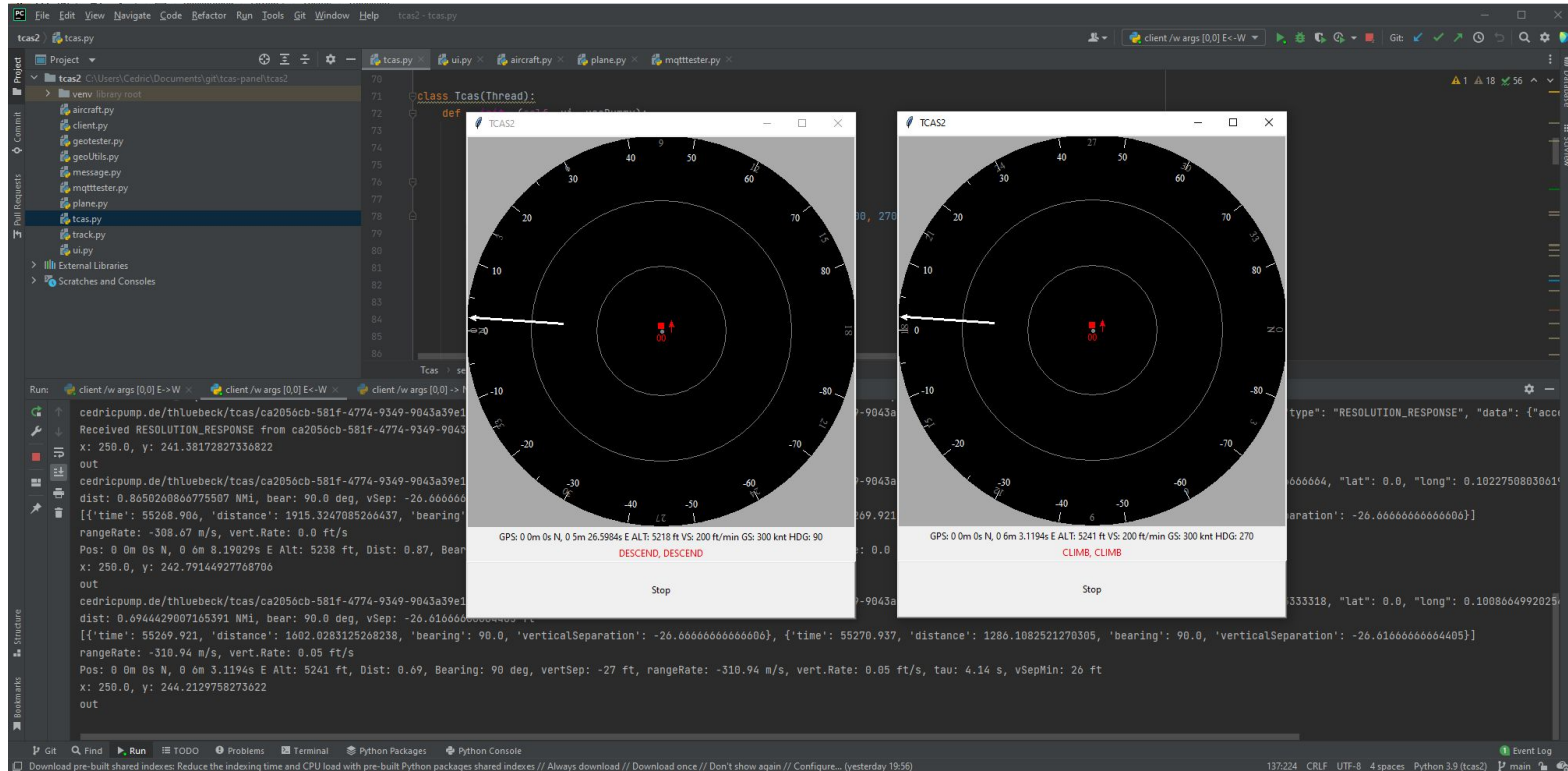


Beispiel



MS Flightsimulator 2020 mit TCAS Panel

Live Demo



Quellen

[1] flightnews24.de

<https://flightnews24.de/2021/11/29/a32nx-bald-mit-auto-tcas/> stand 16.12.2021

Diskussion!