

„Systemansatz für „Sense & Avoid“ in UAVs in nicht-kooperativer Umgebung“

Dr. René Knorr, Andreas Lenz

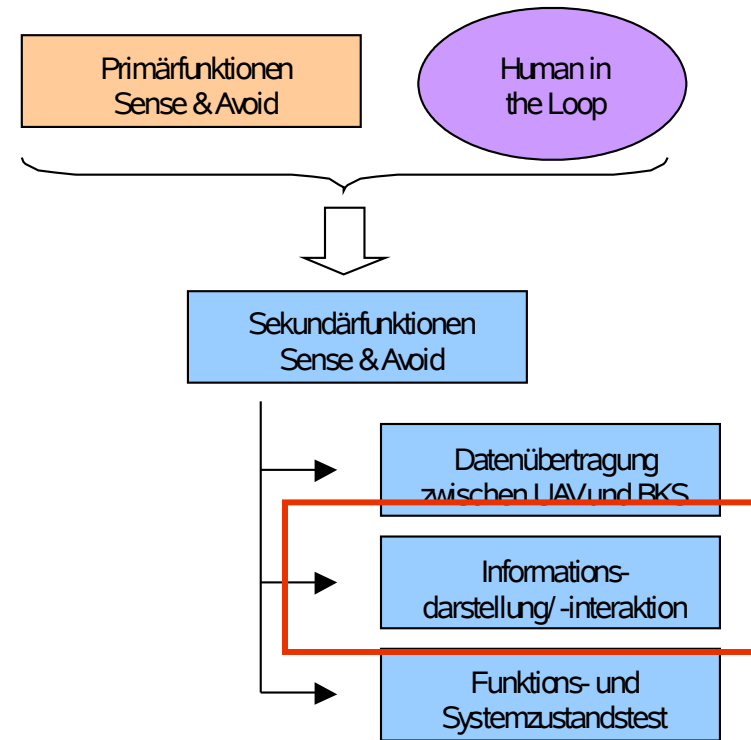
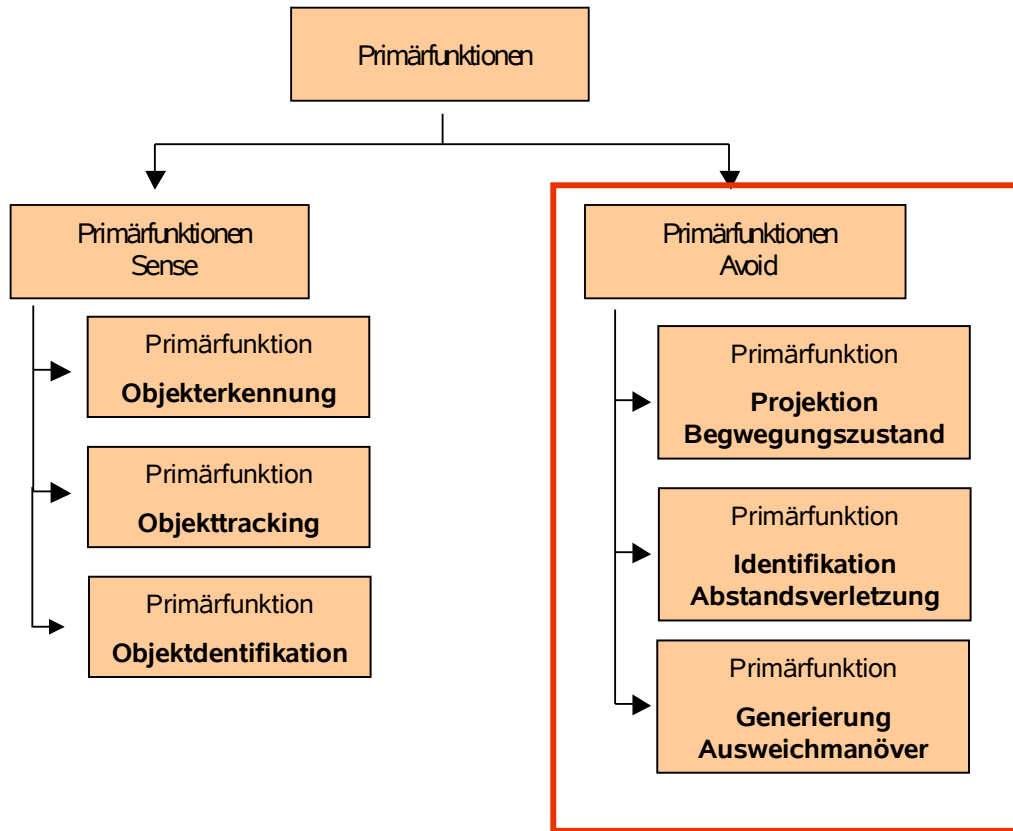
**DGLR WS Fachausschüsse T6.2 & T6.3
14. und 15. Februar 2007**

Worum geht es: Entdecke & Vermeide



- I. Sense & Avoid (S&A) Funktionsraum**
- II. Funktionale S&A Systemarchitektur**
- III. Aufbau Subsystem Avoid**
- IV. Umsetzung der S&A Primärfunktionen**
- V. Ansätze zur Erweiterung HMI**
- VI. Zusammenfassung**

I. Sense & Avoid (S&A) Funktionsraum



I. Sense & Avoid (S&A) Funktionsraum

— Funktionshierarchie →

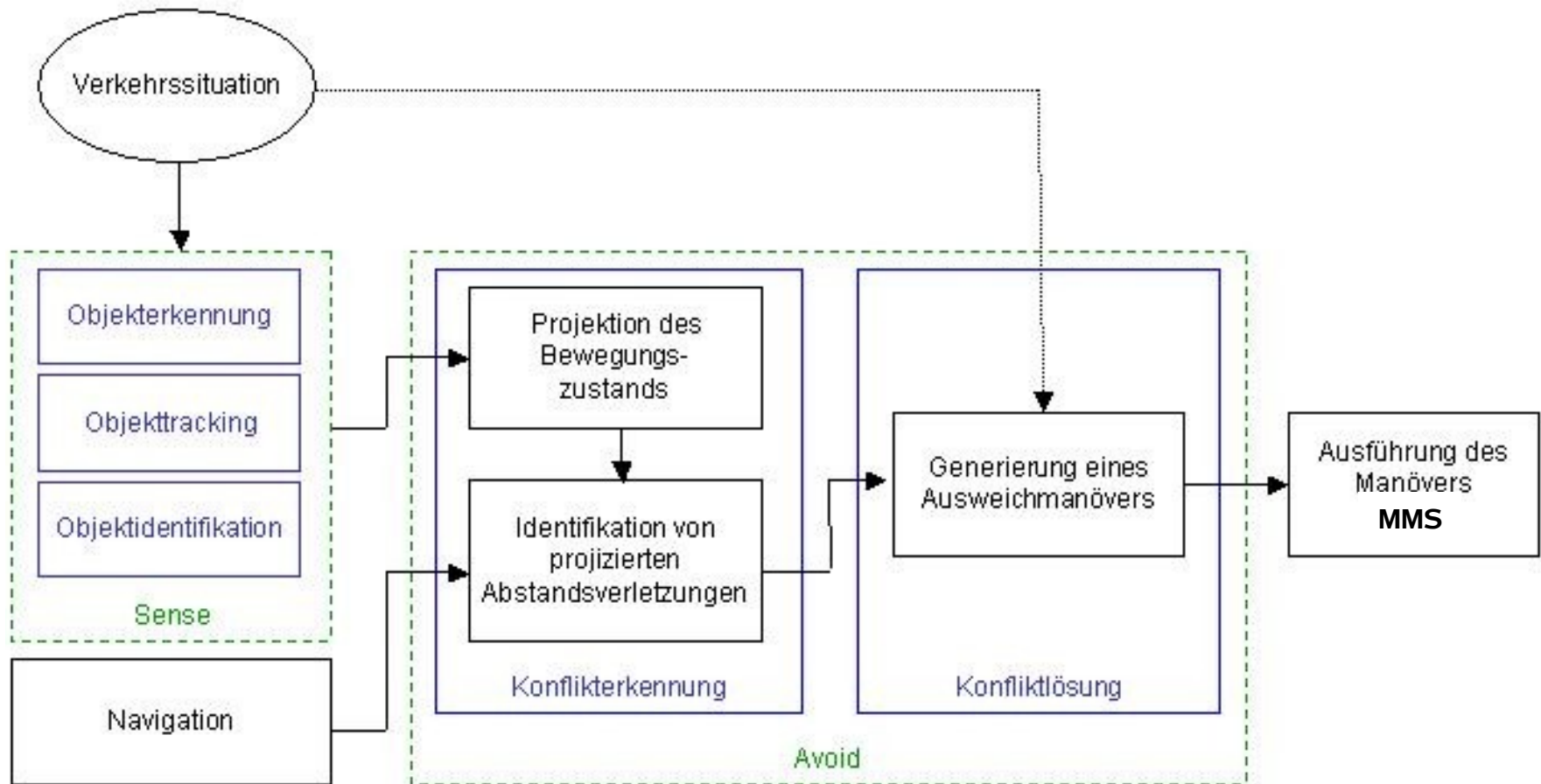
	Konfiguration	Datenerfassung	Datenverarbeitung	Projektion Bewusstsein	Identifikation	Generierung	Durchführen		
— zunehmende Autonomie ↓	A	O	O	O	O	O	O		
	B1	M	DL	O	O	O	O		
	B2	M		M	DL	O	O	O	
	B3	M		M	M	DL	O	O	
	B4	M		M	M	M	DL	O	O
	B5	M							
	C	M		M	M	M	M	M	

O = Operateur, M = Maschine, DL = Datenlink

Fall A: Pilot an Bord eines LFZ

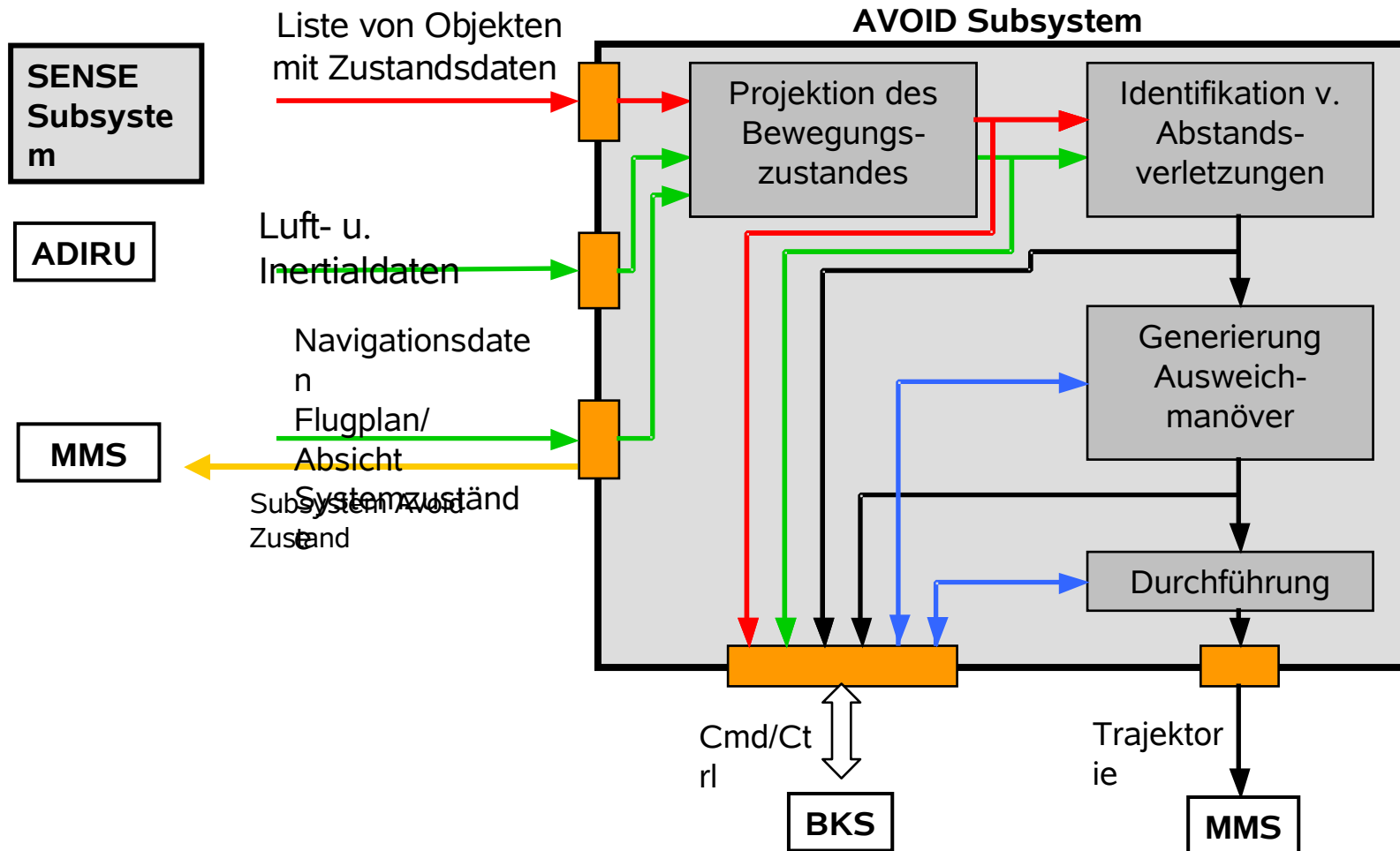
Fall C: (voll-)autonomes UAV

II. Funktionale S&A Systemarchitektur



Funktionale Systemarchitektur eines automatischen S&A Systems

III. Aufbau Subsystem Avoid



Schnittstellen und Signalflüsse im Subsystem AVOID

AVOID Fähigkeit

Konflikterkennung

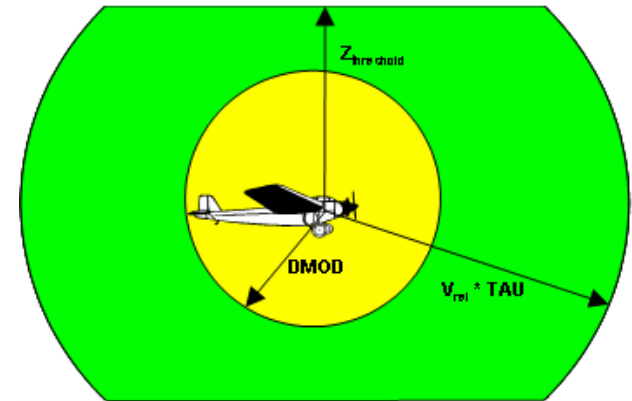
Primärfunktion: **Projektion Bewegungszustand detektierter Objekte**

- ▶ Lineare Extrapolation des Bewegungszustands der detektierten Objekte zur Prediktion relativer Entfernung und Höhe

Primärfunktion: **Identifikation Abstandsverletzung**

- ▶ Entfernungstest:
$$\tau = -\frac{r - \frac{DMOD^2}{r}}{\dot{r}} \leq \tau_h$$

- ▶ Höhentest:
$$\tau = -\text{sgn}(\Delta z) \frac{\Delta \dot{z}}{\Delta z} \leq \tau_v$$



- ▶ Nur wenn beide Tests eine Abstandsverletzung voraussagen, wird ein Fremdobjekt als Konflikt markiert !

IV. Umsetzung der S&A Primärfunktionen



Primärfunktion: **Identifikation Abstandsverletzung**

- ▶ Übernahme Konfliktmetrik gemäß ACAS Standards
 - Übernahme TAU und DMOD Werte gemäß TCAS II Standard

- ▶ Anpassung Schwellenwerte für TAU, DMOD unter Berücksichtigung
 - UAV Performance
 - horizontaler Ausweichverfahren
 - Zusätzliche Zeitanteile der Datenübertragung bei Fernführung

- ▶ Priorisierung Konflikte
 - Priorisierung detektierter Fremdobjekte entsprechend der projizierten kürzesten Zeit zur Kollision

- ▶ Mehrfachkonflikte
 - Betrachtung aller Bedrohungen in einer Gesamtsituation pro Zeitraum
 - rein sequentielle Lösung der Konflikte kann zu einer Verschärfung des Konflikts führen

IV. Umsetzung der S&A Primärfunktionen

Primärfunktion: **Generierung Ausweichmanöver (1)**

- ▶ Logik zur Generierung Ausweichmanöver basiert auf TCAS Standard

Own Altitude [ft.]	up to 1000	1000 - 2350	2350 - 5000	5000 - 10,000	10,000 - 20,000	20,000 - 42,000	above 42,000
Sensitivity Level	2	3	4	5	6	7	7
Alarm Time TAU for Resolution Advisory [s]		15	20	25	30	35	35
Alarm Time TAU TA for Traffic Advisory [s]	20	25	30	40	45	48	48

Entwicklung zusätzlicher funktionaler Merkmale in Avoid Subsystem Logik

- ▶ neuer Schwellenwert TAU AA (Autonomous Avoidance), ab der das System unabhängig vom Fernführer, d.h. automatisch, ein Führungssignal über das MMS an das FCS kommandiert
- ▶ Berechnung eines vertikalen und horizontalen Ausweichmanövers unter Berücksichtigung UAV Dynamik, Bewegungszustand aller Konfliktobjekte, kein Widerspruch zu ACAS Logik bzw. VFR-Ausweichregeln entstehen darf

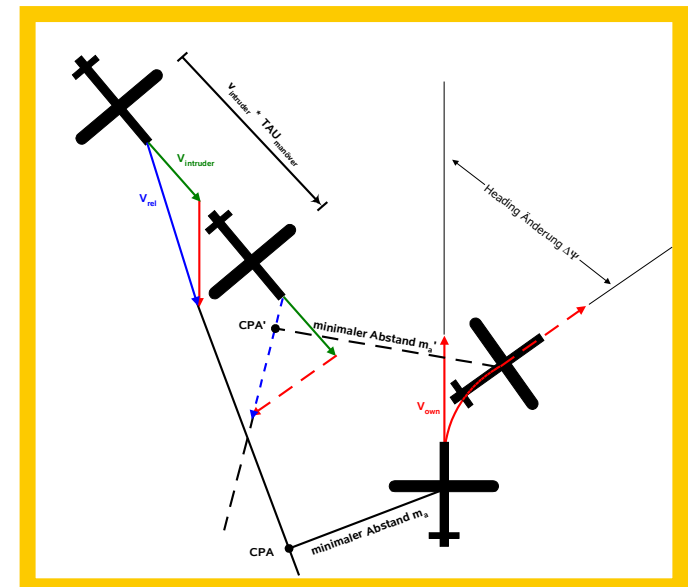
IV. Umsetzung der S&A Primärfunktionen

Primärfunktion: Generierung Ausweichmanöver (2)

► Funktionaler Ansatz Subsystem Avoid zur Berechnung 3D-Ausweichtrajektorie (2)

- Berechnung vertikales Ausweichmanöver gemäß TCAS Algorithmen zur Ermittlung erforderlicher Vertikalgeschwindigkeit
- Laterale Ausweichmanöver werden parametrisiert über die durchzuführende Headingänderung, bei maximaler Bank und Rollrate
- Berechnung welche Headingänderung erforderlich ist, so dass die komplette Ausweichbahn konfliktfrei ist, hierzu

- Berechnung einer Schar möglicher Ausweichbahnen und Untersuchung auf vollständige Konfliktfreiheit
- Auswahl einer optimalen Flugbahn (eines neues Soll-Headings) hinsichtlich eines Kriteriums wie „minimaler Umweg“



IV. Umsetzung der S&A Primärfunktionen

Primärfunktion: Generierung Ausweichmanöver (3)

- ▶ Einschränkung Lösungsraum für Generierung 3D-Trajektorie über Auswahl eines zulässigen Ausweichquadranten mittels geeigneter Heuristik
 - gemäß Luftverkehrsregeln (§ 13 „Ausweichregeln“ der LuftVO)
 - Flugzustand/Flugphase
 - Verfügbarer Ausweichmanöverraum

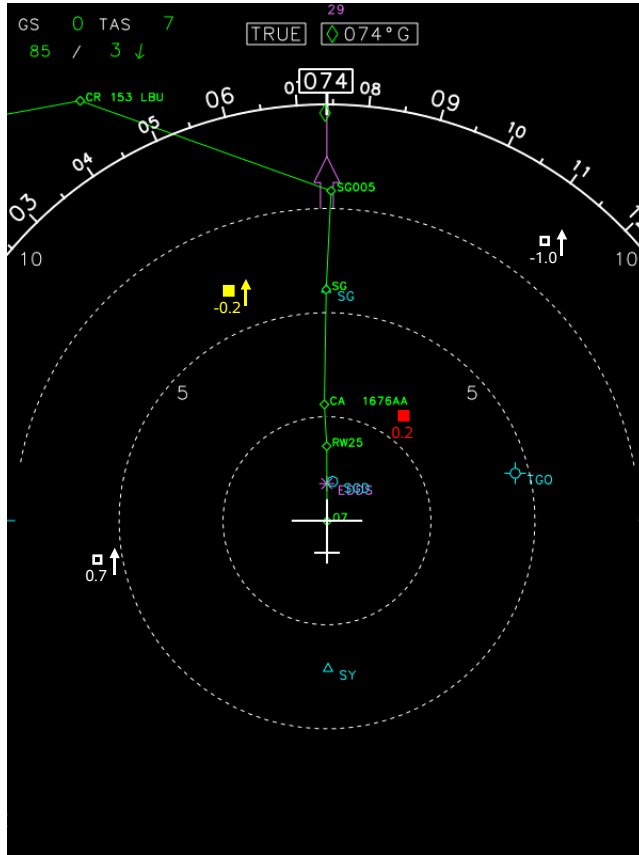
Links Steigen	Steigen	Rechts Steigen
Links	Passiv	Rechts
Links Sinken	Sinken	Rechts Sinken

- ▶ Einschränkung der Ausweichoptionen in Abhängigkeit der spez. Konfliktsituation durch Streichung gefährdeter Ausweichräume
 - Überprüfung auf Separation
 - Beispiel: Konflikt von Links, kurz nach T/O
 - Deckt passive Konfliktlösung ab

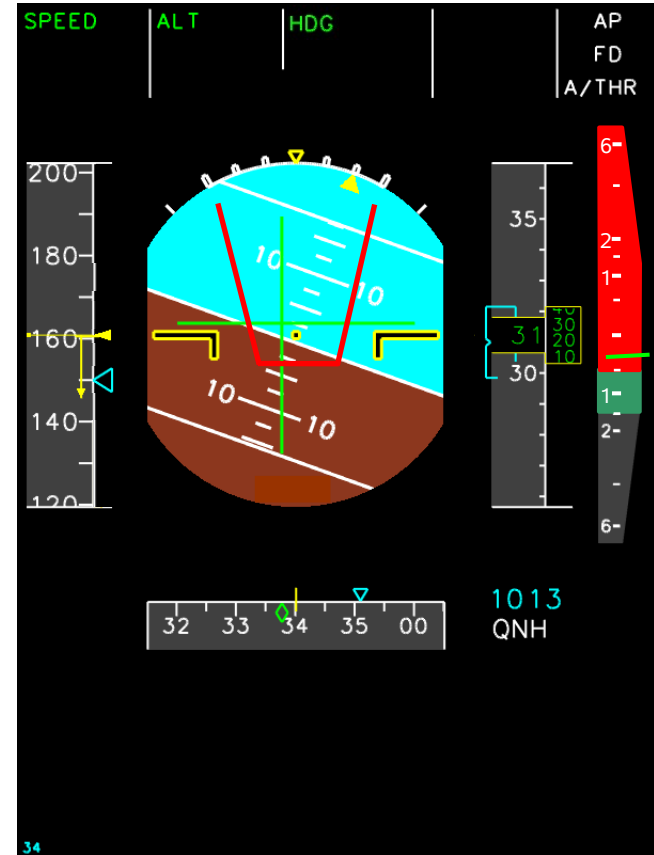
V. Ansätze zur Erweiterung HMI für S&A



- ▶ Aktuelle S&A Cockpitdarstellungen gemäß ACAS Standards

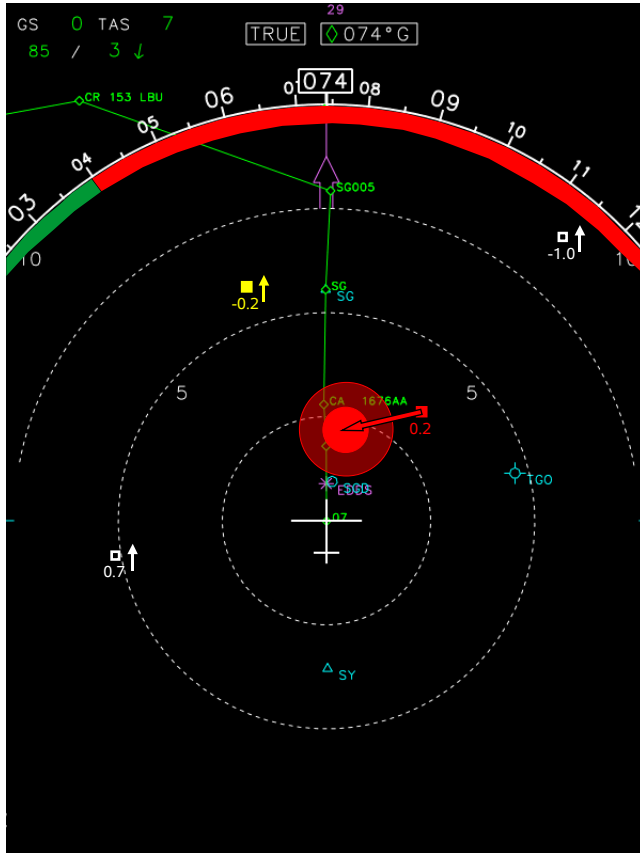


Konfliktdarstellung in NAV-Display

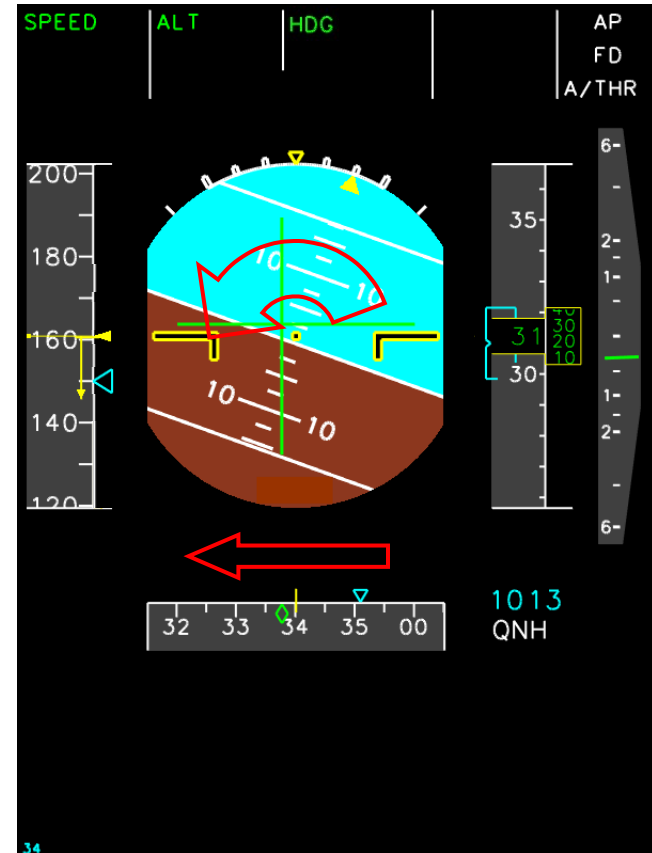


Pitch Cue and Vertical Speed Tape

▶ Erweiterte Anzeige für horizontale Situation



Anzeige des potentiellen Konflikts CPA und HDG-Vorgabe in NAV-Display



HDG und FD Vorgabe

VI. Zusammenfassung

- ▶ Analyse eines S&A Funktionsraums erlaubt die Ableitung spezifischer Teilfunktionen für die einzelnen Bereiche Sense und Avoid unter Berücksichtigung UAV Gesamtsystem (Einbindung des Fernführers)
- ▶ Funktionelle Architektur Subsystem Avoid erlaubt die Identifizierung aller für die Avoidfähigkeit erforderlichen Schnittstellen und Informationsflüsse
- ▶ Entwicklung neuer Algorithmen zur Bereitstellung Avoid-Subfunktionen orientiert sich an etabliertem ACAS Standard zur Sicherstellung weitestgehender Kompatibilität
- ▶ Entwicklung neuer Algorithmen zur Bereitstellung Avoid-Subfunktionen werden erweitert um laterales Ausweichen, unter Berücksichtigung
 - UAV Performance
 - Rules of the Air
 - ACAS Konfliktfreiheit
 - Einschränkung des Lösungsraumes durch geeignete Heuristik
- ▶ Erweiterung der Benutzerschnittstelle für laterales Ausweichen durch neue Konzepte für Rollage – und Heading Vorgaben
- ▶ Untersuchungen sind Teil des aktuellen Vorhabens **WASLA-HALE III** - aktuell erfolgt eine stufenweise Implementierung der neuen Avoid-Subsystem Funktionen im Rahmen von Simulationen

...und falls unser Ansatz doch noch Mängel aufweisen sollte:

