Drohnenerkennung mit Radar

Dr.-Ing. Franz-Xaver Hofele

Kurz-Info zum Vortragenden

Dr. Franz-Xaver Hofele

- **Abitur am Rechberg-Gymnasium in Donzdorf**

- **Studium der Mathematik mit Nebenfach Physik mit dem Abschluss Diplom-Mathematiker an der Universität Ulm**

- **Promotion zum Dr.-Ing. an der Technischen Universität Berlin zum Thema „Neue Radarsignal-Generierung und neue Radarsignal-verarbeitungs-Algorithmen für ein Seeziel-Radar“**

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Dr. Franz-Xaver Hofele

Im 35. Jahr am selben Schreibtisch und eigentlich auch in derselben Firma mit Sitz in der Ulmer Weststadt, aber der Firmenname wechselte

- **1987 AEG-Telefunken (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft)**
- **1989 Telefunken Systemtechnik (TST) in der Deutschen Aerospace (Zusammenschluss von TST, Dornier und MBB)**
- **1996 Daimler-Benz Aerospace**
- **1998 Daimler-Chrysler Aerospace**
- **2000 EADS (European Aeronautic Defence and Space)**
- **2011 Cassidian**
- **2014 Airbus Defence and Space**
- **2017 Hensoldt (nach deutschem Vorreiter in Optik und Feinmechanik Moritz Carl Hensoldt [1821-1903])**

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Kurz-Übersicht des Vortrags

Drohnenerkennung mit Radar

Einführung in die Radartechnik

Drohnenerkennung mit Radar

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Einführung in die Radartechnik

Der Begriff Radar

RADAR steht für

RAdio Detection And Ranging

Frei übersetzt :
Funkbasierte Richtungs- und Abstandsmessung

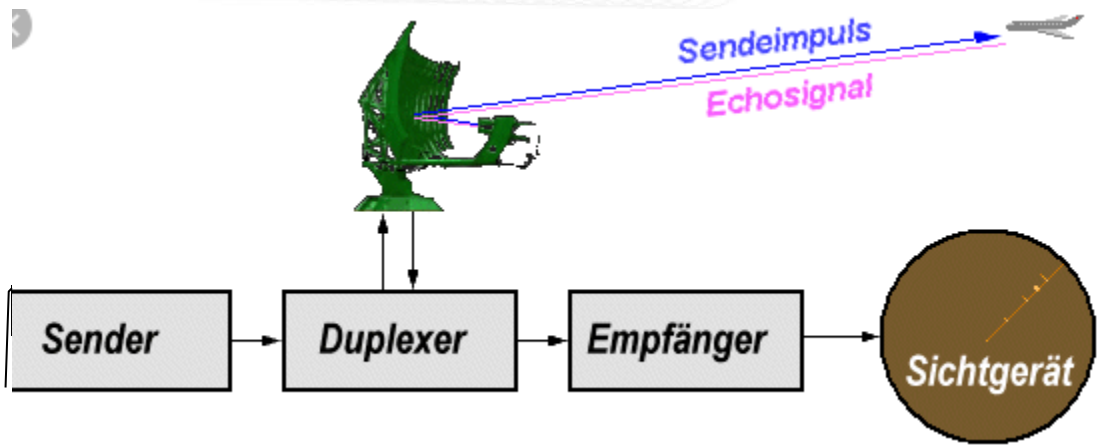
Dies ist die Bezeichnung für :
Erkennungs- und Ortungsverfahren auf der Basis elektromagnetischer Wellen im Radiofrequenzbereich (Funkwellen).

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radarprinzip

Elektromagnetische Wellen werden von der (Sende-) Antenne abgestrahlt, breiten sich aus, werden an Objekten (Hindernissen) reflektiert, von der (Empfangs-) Antenne wieder aufgenommen und dann der Signalverarbeitung zugeführt.

Duplexer = Sende-Empfangs-Weiche



Flugziel

Sendeweg:
Sender → Duplexer → Antenne → elektromagnetische Welle → Objekt = Radarziel
ausgesendet

Empfangsweg:
Radarziel → Echosignal → Antenne → Duplexer → Empfänger → Sichtgerät

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

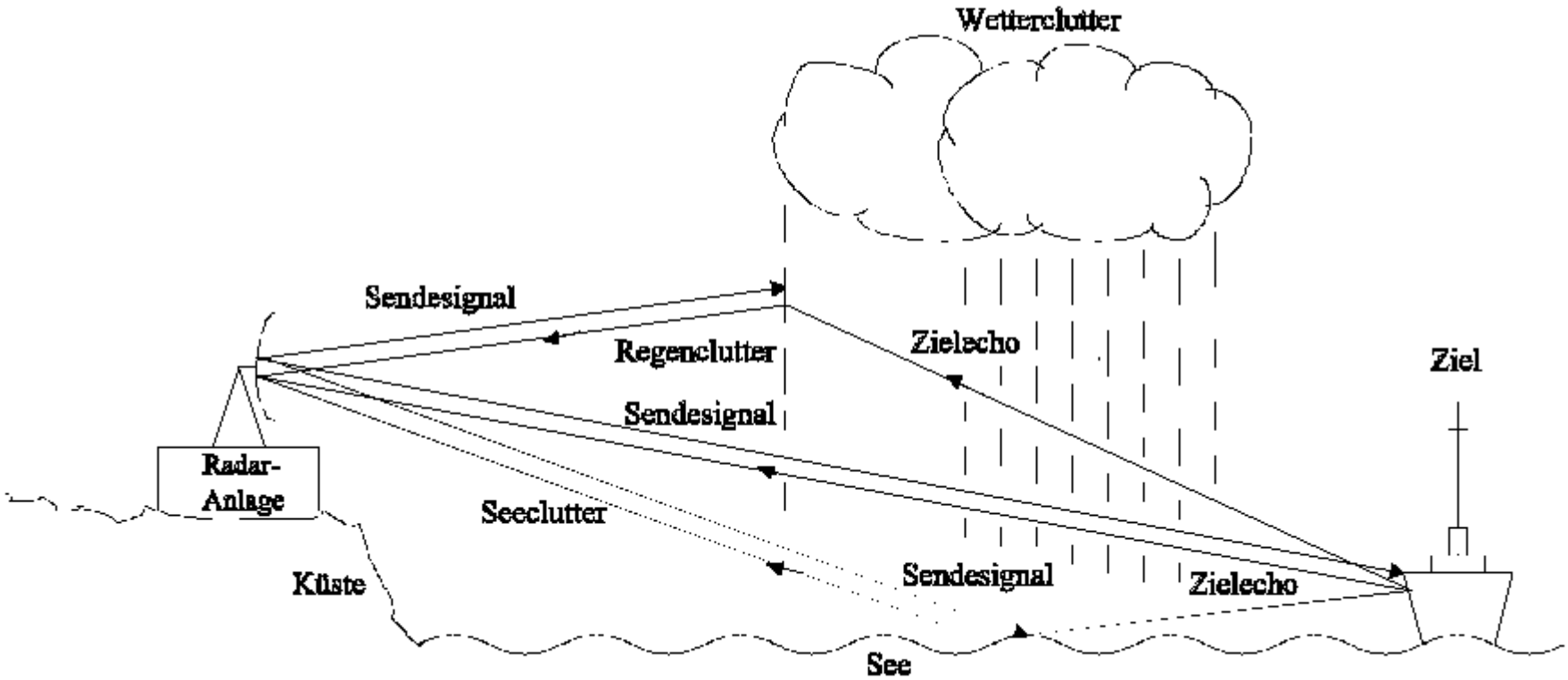
Radarprinzip

Das Radar und seine Umgebung

Gewünschte Ziele: Schiffe, Flugzeuge, Helikopter, Fußgänger, Fahrzeuge, Vögel, Drohnen, etc.

Ungewollte Objekte: Rauschen, Seeclutter, Regenclutter, Festziele; Vögel, etc.

Radarsignalverarbeitung: Trennung gewünschter Ziele und ungewollter Objekte



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Erfindung der Radartechnik

Es ist ein simples Klingelgeräusch, das im Mai 1904 eine Schar von Gästen unter der Kölner Hohenzollernbrücke begeistert. Erzeugt wird das Geräusch von einer Apparatur, deren Antenne auf den Rhein gerichtet ist. Bei jedem vorbeifahrenden Boot meldet das Signal "*Schiff voraus".*
Mit diesem „Telemobiloskop“, wie Christian Hülsmeyer seine Erfindung nennt, können Schiffskollisionen bei schlechter Sicht verhindert werden.

Christian Hülsmeyer (1881-1957) fand heraus, dass von Metallflächen zurückgeworfene elektrische Radiowellen verwendet werden können, um entfernte metallische Objekte zu detektieren, also z.B. um Schiffe zu erkennen.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Der Titel der Patentschrift von Christian Hülsmeyer lautet:

„Verfahren, um entfernte metallische Gegenstände mittels elektrischer Wellen einem Beobachter zu melden“.

Patent Nr. 165.546
vom 30. April 1904

Eigentum des Kaiserlichen Patentamts. Eingefügt in Sammlung für Unterklasse 1 K/PR Gruppe 30/1. W

KAISERLICHES PATENTAMT.

AUSGEGEBEN DEN 21. NOVEMBER 1906.

PATENTSCHRIFT

— № 165546 —

KLASSE 74 d. 21g Gr. 30/10

CHR. HÜLSMEYER IN DÜSSELDORF.

Verfahren, um entfernte metallische Gegenstände mittels elektrischer Wellen einem Beobachter zu melden.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 30. April 1904 ab.

Fig. 1.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Geschichtliche Entwicklung der Radartechnik

1676 :	Olaf Römer	
1728 :	James Bradley	Messung der
1849 :	Hippolythe Louis Fizeau	Lichtgeschwindigkeit
1862 :	Jean Foucault	
1842 :	Christian Doppler	Doppler-Effekt
1865 :	James Clerk Maxwell	Theoretische Vorhersage elektromagnetischer Wellen
1888 :	Heinrich Hertz	Experimentelle Bestätigung elektromagnetischer Wellen

1904 : Christian Hülsmeyer : Ausnutzung elektromagnetischer Wellen zu Ortungszwecken : Hindernisdetektor für Schiffe.
Patent : Verfahren, um entfernte metallische Gegenstände mit Hilfe elektromagnetischer Wellen einem Beobachter zu melden.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Geschichtliche Entwicklung der Radartechnik

1922 : Guglielmo Marconi — **Grundidee des Schiffs-Radars**

1923 : Heinrich Lowy — **Apparatur zur Entfernungsmessung mittels Radiowellen**

ab ca. 1935 : Enorme Entwicklung der Radartechnik, inbesondere für militärische Zwecke

1940 : in England Entwicklung des Mehrkammer-Magnetrons, eines zuverlässigen Mikrowellensenders

<u>Erfindung und Erprobung spezieller Radarverfahren :</u>

ab ca. 1955 : Pulskompression, Radarsignalverarbeitung

ab ca. 1960 : Radarsignaltheorie

ab ca. 1975 : Digitale Radarsignalverarbeitung

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Geniale Erfindungen – Kritischer Faktor Mensch

7. Dezember 1941 : Angriff auf Pearl Harbor

Angriff der Japanischen Luftstreitkräfte auf die in Pearl Harbor auf Hawaii vor Anker liegende Pazifikflotte der USA.

Die Amerikaner hatten Radargeräte, welche die japanischen Flug-zeuge detektierten.

Dennoch kam es durch menschliches Versagen zur Katastrophe…….
(durch Radar-Operator)

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Anwendungen der Radartechnik

Die komplexesten, anspruchvollsten und technisch ausgefeiltesten Anwendungen sind

Miltärische Anwendungen

Bordgestützt: Gefechtsfeldüberwachung, Aufklärung, Luftraumüberwachung Feuerleitung (Luft-Luft , Luft-Boden).

Bodengestützt: Flugsicherung, Luftraumüberwachung, Gefechtsfeldüberwachung, Feuerleitung (Boden-Luft), Artillerie-Ortung.

Zunehmend aber auch **Zivile Anwendungen**

Schiffslenkung: Verkehrsüberwachung und Lenkung im Hafen und auf See, Navigationshilfe, Such- und Rettungseinsätze (Search and Rescue)

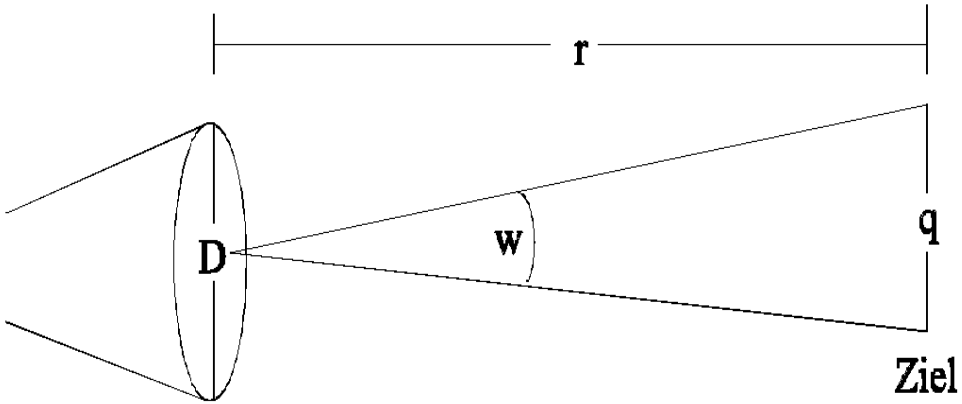
Luftverkehr: Flugsicherung (Überwachung und Lenkung), Wettererfassung (Bord), Gefahren-Erkennung (Scherwinde, Vogelzüge)

Straßenverkehr: Geschwindigkeitsmessung und Kontrolle, Verkehrsüberwachung, Kfz-Hinderniserkennung, Autonome Verkehrsführung.

Weitere Anwendungen: Erderkundung, Satellitenüberwachung, Raumfahrt, Wettererkundung, Pegelstandsmessung, Tiefenmessung.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radarfrequenzen



- Wahl der Radarsendefrequenz f hängt ab von geforderter Reichweite r, der geforderten Winkelauflösung w, der zulässigen Antennen-abmessung D und von den Ausbreitungs-eigenschaften elektromagnetischer Wellen.

- Die Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, die Wellenlänge λ und die Sendefrequenz f haben die Beziehung $c = \lambda \cdot f$

- Winkelauflösung w (im Bogenmaß), Wellenlänge λ die Antennenabmessung D stehen im Zusammenhang $w \approx \lambda / D$

- Multipliziert man die Winkelauflösung w mit dem Abstand r zum Ziel, so erhält man die Querauflösung q . Es gilt: $q = w \cdot r \approx r \cdot \lambda / D$

→ Für gute Auflösung ist kleine Wellenlänge λ und somit große Sendefrequenz f nötig.

- Bei $f \geq 30$ GHz nimmt atmosphärische Dämpfung zu. Dies verringert die Reichweite r.

► **<u>Fazit:</u>** Wahl der Sendefrequenz ist <u>Kompromiss</u> bzgl. der gegensätzlicher Forderungen an die Reichweite r, die Winkelauflösung w und die Antennenabmessung D.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radarfrequenzen

- Die für Radaranwendungen genutzten Frequenzbänder liegen zwischen 1 und 110 GHz

Frequenz-band	Radarsende-frequenz f	Wellen-länge λ	Radar-Anwendungen
L-Band	1 – 2 GHz	15 – 30 cm	Luftraumüberwachung
S-Band	2 – 4 GHz	7,5 – 15 cm	Flughafenrundsichtradar , Schiffs-Radar , Wetterradar
C-Band	4 – 8 GHz	3,75 – 7,5 cm	Präzise Schiffsführung , Höhenmesser
X-Band	8 – 12 GHz	2,5 – 3,75 cm	Schiffs-Radar für Navigation und Anti-kollision , Wetterradar bei Flugzeugen , Bordradar für Kampfflugzeuge
Ku-Band	12 – 18 GHz	1,7 – 2,5 cm	Dopplernavigation , Bordradar für Kampfflugzeuge
K-Band	18 – 27 GHz	1,1 – 1,7 cm	Kleinradare wie z.B. Dopplerradare , Bewegungssensoren
Ka-Band	27 – 40 GHz	7,5 – 11 mm	Rollfeldüberwachung auf Flughäfen , hochauflösende Abbildung
V-Band	40 – 75 GHz	4 – 7,5 mm	Gefechtsfeldradare , Zielsuchköpfe , Kfz-Radar , industrielle Anwendungen
W-Band	75 – 110 GHz	2,7 – 4 mm	

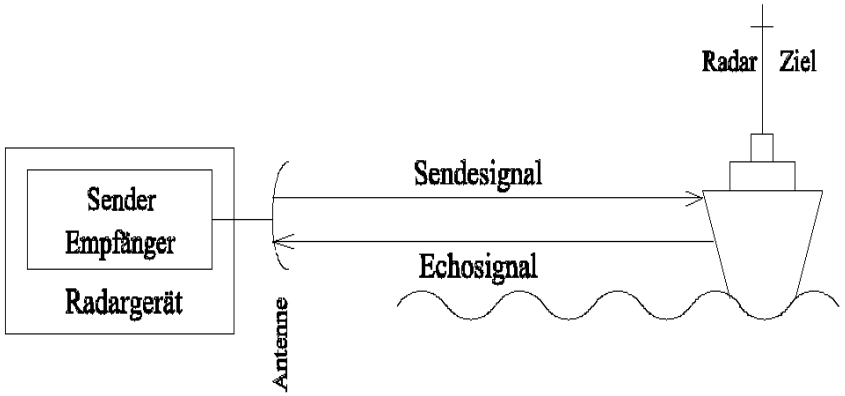
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radararten

Primärradar: Sender strahlt Signal ab, wird an **passivem Radarziel** reflektiert und vom Empfänger aufgenommen und ausgewertet (Position, Entfernung, Geschwindigkeit) → **mono-** und **bistatisch**

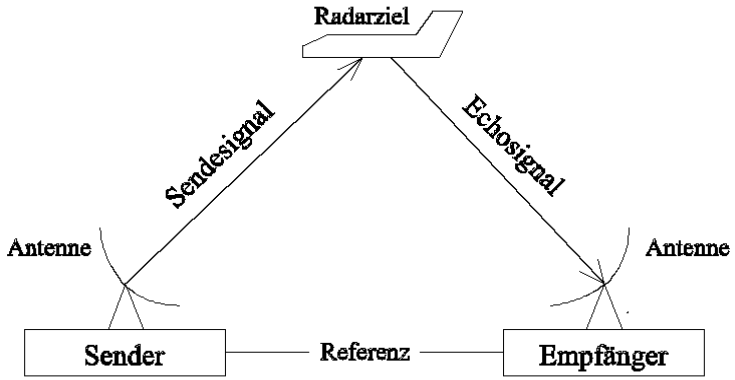
Monostatisches Verfahren

Sender und Empfänger befinden sich **am selben Ort**. Für Sende- und Empfangsvorgang kann **die-selbe Antenne** genutzt werden.



Bistatisches Verfahren

Sender und Empfänger befinden sich **an verschiedenen Orten**. Es sind **2 Antennen** nötig. Vornehm-lich zu militärischen Zwecken.



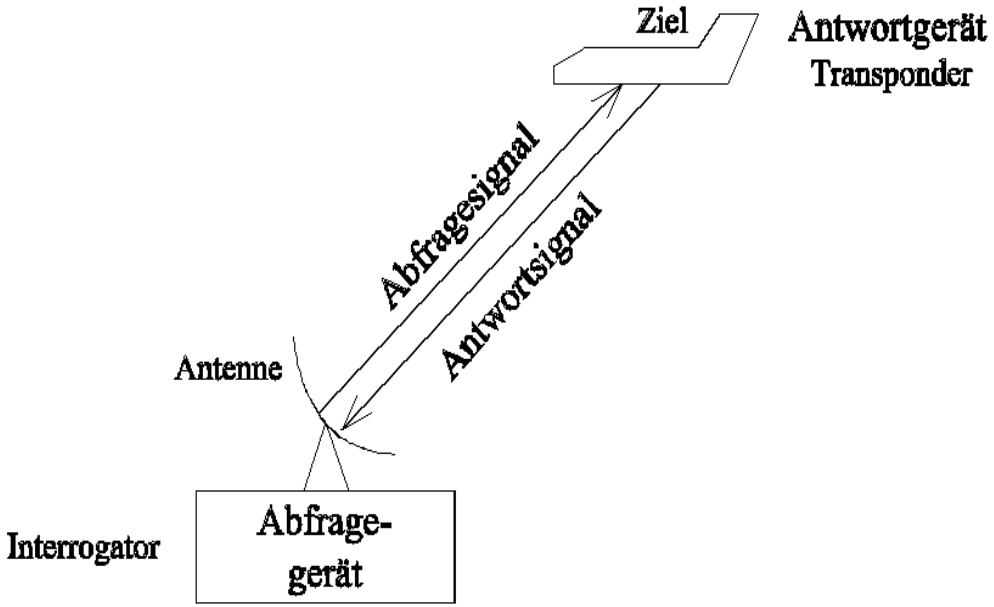
Wir verfolgen im Weiteren nur das monostatische Primärradar-Verfahren.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radararten

Sekundärradar: Sender fungiert als **Abfragegerät** (Interrogator), strahlt Impulsgruppen (Modi) ab. Abgestrahlte Energie wird nicht an passivem Ziel reflektiert, sondern an Bord des Radarzieles befindet sich ein **aktives Antwortgerät** (Transponder), das Impulsgruppen (Codes) auslöst, die Infos über das Radarziel enthalten und vom Abfragegerät empfangen werden. (Anwendung: Flugsicherung).

Sekundärradar hat Vorteile gegen-über dem Primärradar:
Es gewinnt **Ziel-Infos** wie Flughöhe, Flugnummer oder bei militärischen Anwendungen die Identität Freund-Feind-Kennung = IFF (Identification of Friend or Foe).



Wir verfolgen im Weiteren nur das monostatische Primärradar-Verfahren.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Aufgaben der Radartechnik

Radar = Ortungssystem, dient der Entdeckung, Lokalisierung (Position) Erfassung des Bewegungszustandes und Klassifizierung von Objekten mittels elektromagnetischer Wellen.

Objekte = Radarziele = ruhende und bewegte Land-, Luft- und Wasserziele

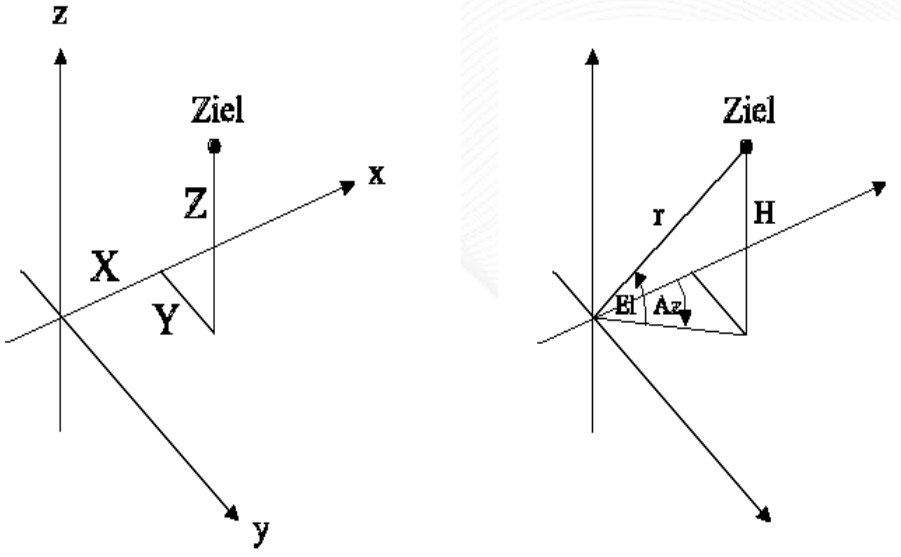
Ein Radar hat Fragen zu beantworten :
Sind Ziele vorhanden? Wieviele Ziele gibt es? Wo sind die Ziele? Welche Eigenschaften haben die Ziele? Welcher Art sind die Ziele?

Entdeckung (Detektion) eines Ziels ist Voraussetzung für die Bestimmung seiner Parameter.

Parameter des Zieles
- ► Bestimmung der Position des Objektes : Entfernung r , Ablagerichtung: Winkelpositionen Azimut (Az), Elevation (El)
- ► Ermittlung der Zielgeschwindigkeit V

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Aufgaben der Radartechnik



Kartesische Koordinaten X , Y , Z

Polarkoordinaten r , Az , El

Radarziel-Koordinaten

- ► Winkelpositionen Az und El folgen direkt aus der Position der scharf bündelnden Antenne beim Empfang.
- ► Entfernung r erhält man aus der Laufzeitmessung des Radarsignals vom Sender zum Ziel und zurück zum Empfänger.
- ► Zielgeschwindigkeit V bei sich bewegenden Zielen durch den Doppler-Effekts: Frequenzverschiebung zwischen Sende- und Empfangssignal.

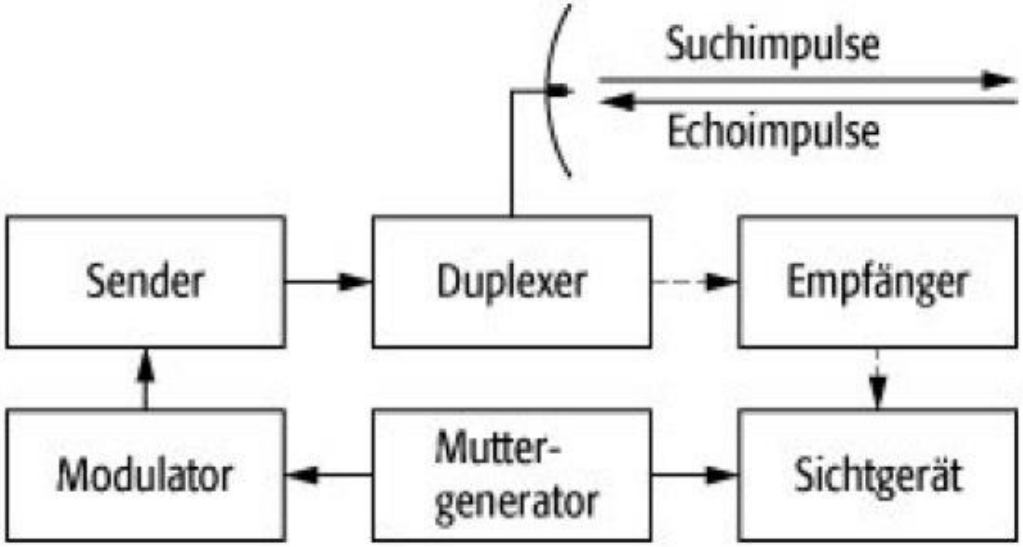
Weitere wichtige Aufgaben der Radartechnik:

- ► Zielverfolgung (Tracking): Zielposition fortlaufend bestimmt → Zielspur
- ► Klassifikation: Detektiertes Ziel bestimmter Klasse (z.B. Drohne) zuordnen
- ► SAR = Synthetic Aperture Radar → mit hohem Auflösungsvermögen Gestalt eines Zieles erkennen, ein Abbild des Zieles erzeugen.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das Puls-Doppler-Radar

- Sendevorgang: **hochfrequentes intrapulsmoduliertes Signal** über Antenne gerichtet abgestrahlt.
- Zeitgeber (Taktgenerator) erzeugt fortlaufend schmale Pulse mit konstanter Zeitfolge T_p (Pulswiederholzeit).
- Modulator generiert in Zeitfolge T_p Pulse der gewünschten Form und Dauer (T) und steuert damit den Sender an.
- Duplexer (Sende-Empfangsweiche) schaltet während des Sendevorgangs die Antenne auf den Sender und während des Empfangsvorgangs auf den Empfänger. Sendepulse über Antenne in das Beobachtungsgebiet abgestrahlt.
- Von "beleuchteten" Ziel werden Echopulse auch in Richtung des Radars reflektiert. Diese Echos werden von der Antenne aufgefangen → Duplexer → Empfänger → SV



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

- Das empfangene Signal wird für die Signalverarbeitung vorbereitet.
- Das hochfrequente Empfangssignal mit Lokal-Oszillators über Zwischenfrequenz (ZF) Lage in den Video-Bereich abgemischt.
- Dadurch wird das analoge Empfangssignal zweikanalig. Diese Abmischung wird daher auch I-Q-Umsetzung genannt.
- Echosignal s wird durch die Amplitude A und die Phase p bzw. durch den Realteil (Inphase-Komponente I) und den Imaginärteil (Quadraturkomponente Q) charakterisiert.

$$s(t) = A(t) \cdot e^{i \cdot p(t)} \qquad s(t) = I(t) + i \cdot Q(t)$$

mit Euler:

$$s_I(t) = A(t) \cdot \cos(p(t)) \qquad s_Q(t) = A(t) \cdot \sin(p(t))$$

- Nach Abmischung das analoge Signal dem Signalprozessor für die Signalverarbeitung zugeführt.
- Aufgabe der Signalverarbeitung: Trennung der Zielechos von den begleitenden Störechos [Detektion der Ziele in Störhintergrund (Clutter)].
- Nach Signalverarbeitung → Zielverfolgungsrechner (Tracker) → Darstellung am Display.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Parameter des Pulsradars

Pulsverfahren verwendet Folge von Pulsen mit rechteckförmiger Einhüllenden, konstanter Pulsdauer T und konstanter Pulswiederholzeit T_p

T_p Pulswiederholzeit , Pulse Repetition Interval (PRI)

$f_p = 1 / T_p$ Pulswiederholfrequenz , Pulse Repetition Frequency (PRF)

$s(t) = A \cdot e^{i\,[p(t) + 2\pi f_s t]}$

A Amplitude

T Pulsdauer Sendezeit

T_p-T Empfangszeit

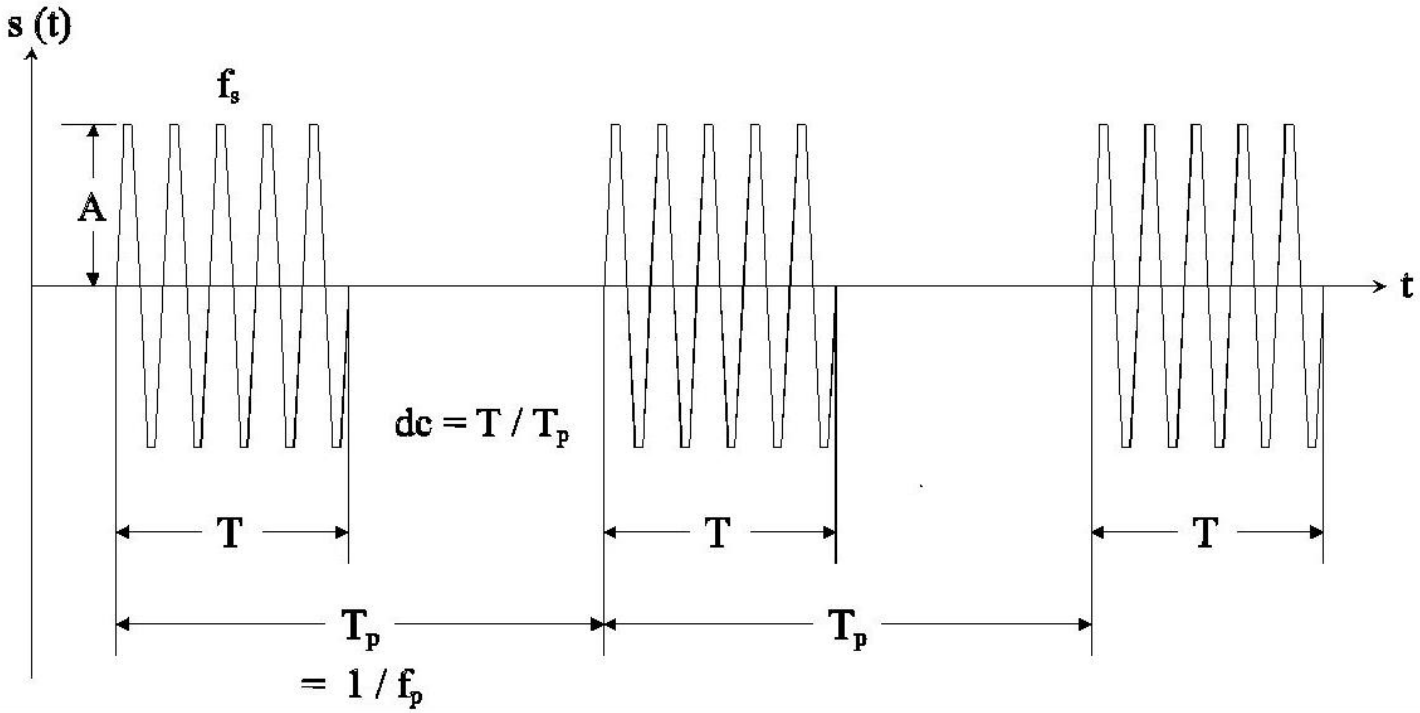
f_s Signalfrequenz

$dc = T / T_p$ Tastverhältnis

Duty Cycle

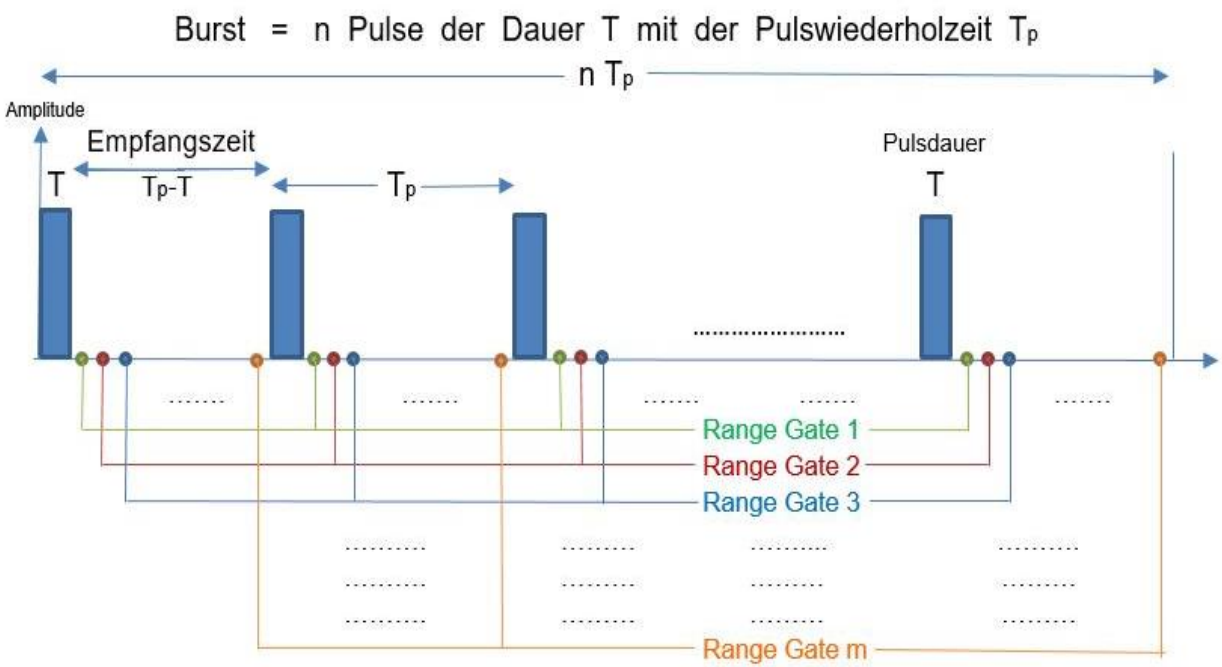
dc < 0.1 ; dc=1 → CW-Radar

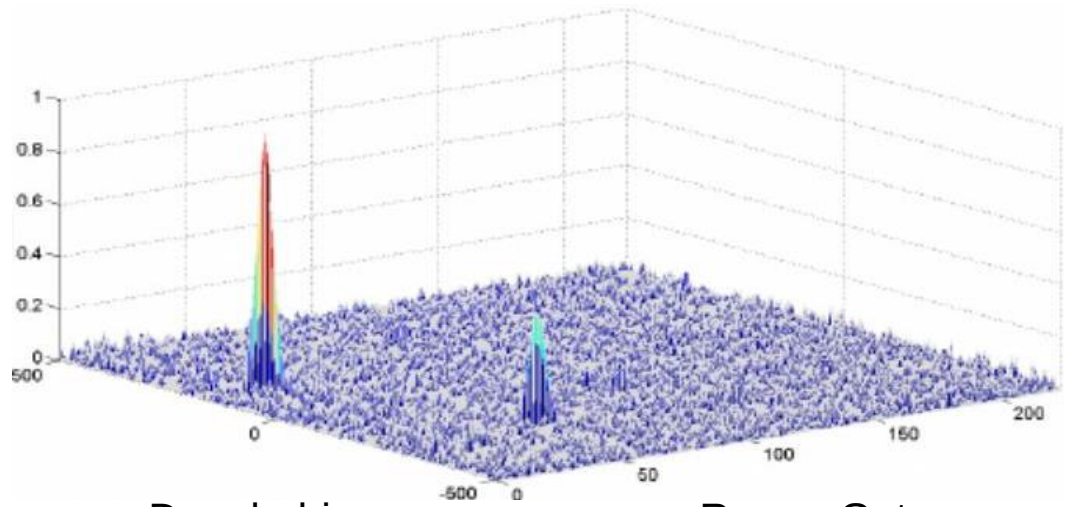
(Beispiel: Kfz-Abstandsradar)



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

1 Burst Signalverarbeitung Skizzierung





n Dopplerbins m Range-Gates

Puls-Doppler-Radar

Filterungen + Pulskompression in Range / Zeit-Richtung

Für alle m Range-Gates Entnahme von Abtastwerten im Raster der Pulswiederholzeit T_p

→ m **FFT**s der Länge n

Erheblicher Processing-Gain durch PK + FFT

→ Range-Doppler-Ebene

Dimension: n Dopplerbins x m Range-Gates

Trennung von Zielen und Clutter

durch **Schwellen** und **CFAR**-Schaltung

CFAR = Constant False Alarm Rate

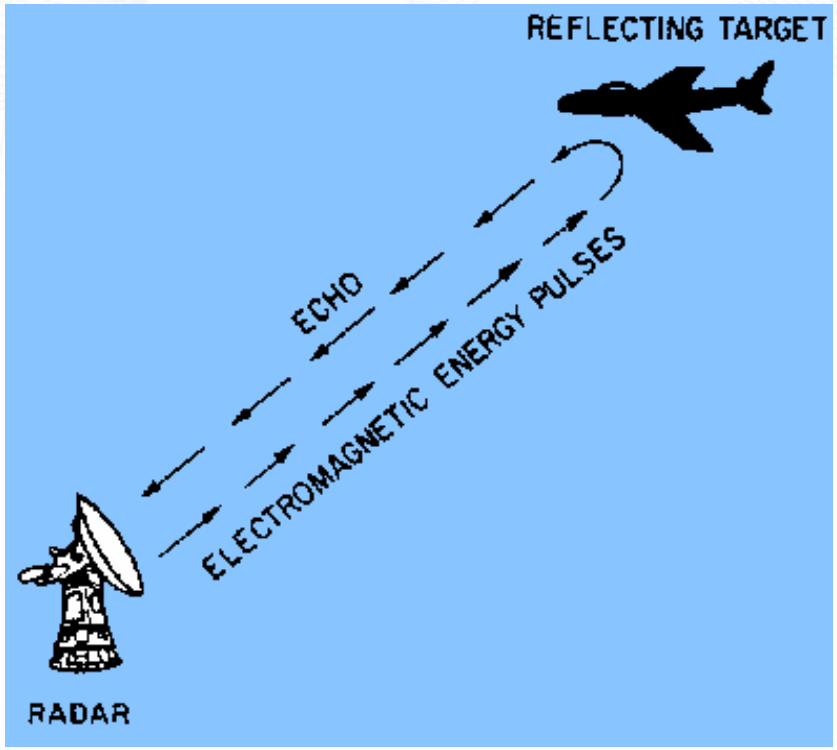
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Entfernungsbestimmung, Entfernungseindeutigkeit und Entfernungsauflösung

Entfernungsmessung: Empfänger ermittelt Pulslaufzeit t_L vom Sender zum Ziel und zurück. Mit $V = s / t$ folgt für die Entfernung r vom Radar zum Ziel

$$r = c \cdot t_L / 2$$

Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8$ m/s



Ein Laufzeit von 1 µs entspricht dann einer Entfernung von 150 m.

Entfernungseindeutigkeit ist garantiert, wenn die Laufzeit kleiner als die Pulswiederholzeit ist, also $t_L < T_P$. Nur dann ist garantiert, dass das Echo vom 1. Puls und nicht vom 2. Puls oder einem weiteren Puls herrührt.

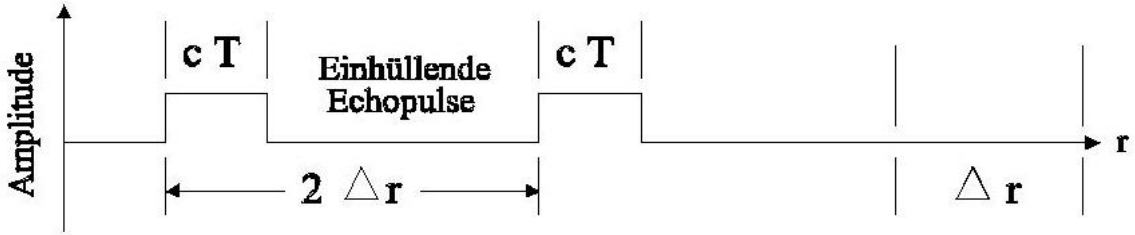
Entfernungs- oder Range-Eindeutigkeitsbereich $r_{eind} \leq c\, T_p / 2$

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Entfernungsauflösung

Zwei im Abstand Δr hintereinander liegende Ziele Z_1 und Z_2 trennbar, wenn sich Empfangssignale nicht überlappen.

Sendepuls der Dauer T wird an Z_1 und dann an Z_2 reflektiert.



Wegunterschied zwischen Vorderflanken der Empfangssignale von Z_1 und Z_2 beträgt $2\,\Delta r$ → beide Ziele getrennt zur Anzeige bringen, falls

$$2\,\Delta r \geq c\,T$$

→ Minimaler Abstand $\Delta r_{min} = c\,T / 2$ geringe Signalenergie

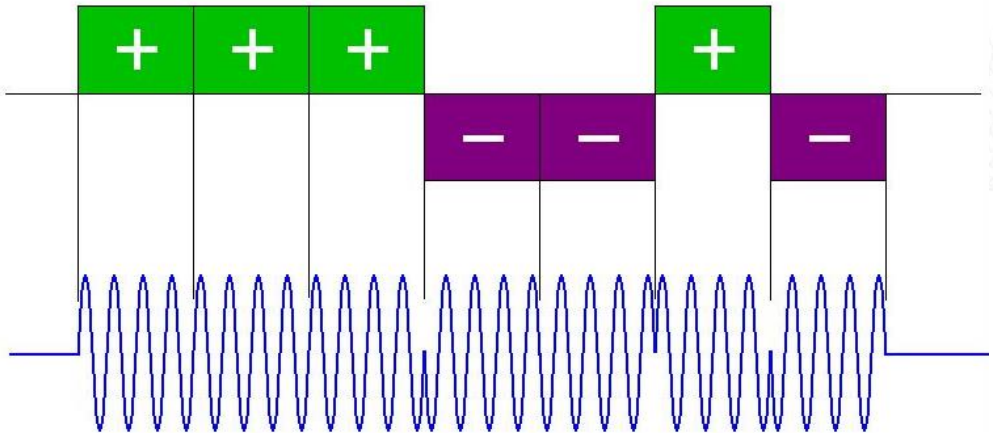
→ Entfernungsauflösung umso besser, je kürzer der Sendepuls ist.

Hohe Entfernungsauflösung wird durch lange phasen- oder frequenzmodulierte Pulse (Signalenergie steckt in der Länge) mit Pulskompression (PK) erreicht.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

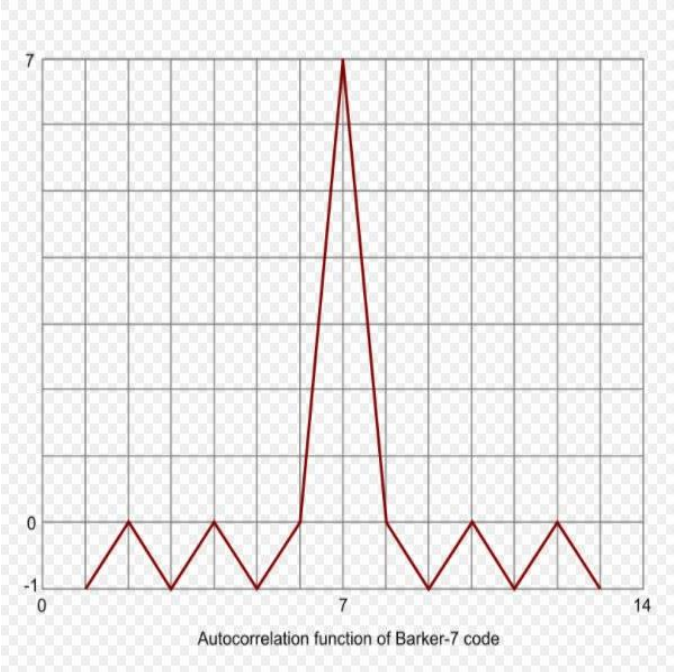
Entfernungsauflösung → Pulskompression

Sende- / Empfangspuls ist codiert: 7er Barkercode
Puls unterteilt in 7 Subpulse (intrapuls-moduliert)



Pulskompression
=
Faltung mit
PK-Filter
+
Betragsbildung

PK-Ausgangssignal

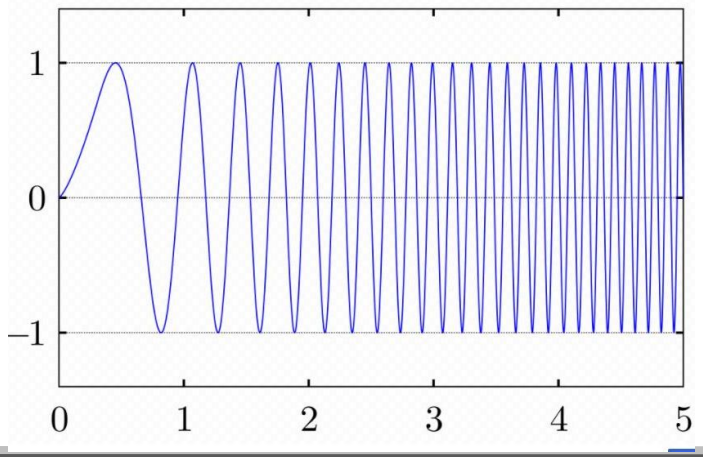


komprimierter Puls + Nebenzipfel

↓ **hohe Entfernungs-auflösung**

↓ unerwünscht Eliminierung via Schwelle

Sende- / Empfangspuls: Frequenz-moduliert er Chirp



zeitinvertierter Sendepuls

- ► PK-Matched-Filter → Autokorrelationsfunktion (AKF)
- ► PK-Mismatched-Filter → Kreuz-KF → sehr kleine Nebenzipfel

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Dopplereffekt, Geschwindigkeitseindeutigkeit und Geschwindigkeitsauflösung

Doppler-Effekt: bei relativer Bewegung zwischen einem Schwingungs-generator und einem Beobachter tritt eine offensichtliche Frequenzver-schiebung für den Beobachter ein um die Dopplerfrequenz

$$f_d = 2 V_r / \lambda$$

Radialgeschwindigkeit $V_r = V \cos(\beta)$ V_r : Geschwindigkeit auf das Radar zu

β: Winkel zwischen Linie Ziel-Radar und Bewegungsrichtung des Zieles

Bei Tangentialbewegung: $\beta = 90°$ → $V_r = 0$ → $f_d = 0$

Geschwindigkeitseindeutigkeit:

Pulsradar: Sendesignal ist periodische Folge von Pulsen → Spektrum ist ein kammförmiges Linienspektrum mit Linienabstand f_p (Pulswiederholfrequenz)

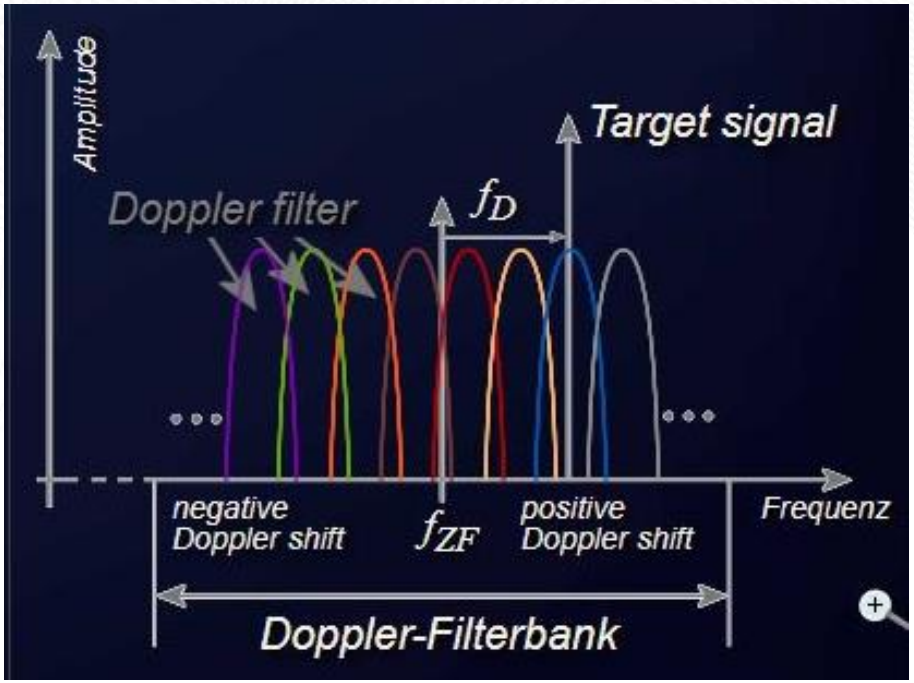
→ Dopplerverschobene Empfangssignal in Geschwindigkeit eindeutig bestimmbar, falls $f_d \leq f_p$

→ Eindeutiger Geschwindigkeitsbereich mit $c = \lambda f_s$: $V_{eind} = c f_p / 2f_s$

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Geschwindigkeitsauflösung

2 Ziele mit Dopplerfrequenzdifferenz Δf_d und Radialgeschwindigkeitsdifferenz ΔV_r. Selektion der 2 Ziele über schmale Aus-Wertefilter (Dopplerfilterbank) möglich, falls



$$\Delta f_d = \frac{2\Delta v_r}{\lambda} \geq B_F$$

$$\Delta v_r \geq \frac{B_F \cdot c}{2 f_s}$$

Geschwindigkeitsauflösung umso besser, je schmaler die Auswertefilter (Bandbreite B_F) und je höher die Sendefrequenz f_s ist.

$c = \lambda f_s$

Heute Dopplerauswertung mit Diskreter Fourier-Transformation (DFT) Länge M

$$S_d(k) = \sum_{n=0}^{M-1} s_d(n) \cdot e^{-j2\pi nk/M}$$

DFT

k = 0,….,M-1

$$s_d(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} S_d(k) \cdot e^{j2\pi nk/M}$$

n = 0,…..,M-1

Inverse DFT

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radarrückstreufläche σ

Radar Cross Section (RCS)

Monostatisches Radar: Elektromagnetische Welle auf Objekt

→ Teil der Strahlung wird absorbiert und in Wärme umgewandelt

→ Verbleibender Teil in verschiedenste Richtungen gestreut

→ Kleiner Teil davon in Richtung der einfallenden Welle zurückgestrahlt

Radarrückstreufläche σ = effektiv wirksame Reflexionsfläche eines Ziels

→ Beispiel Kugel (Radius r) : $\sigma = \pi r^2$

σ ist abhängig von

- ► Reflexionseigenschaften des Ziels
- ► Größe und Geometrie des Ziels
- ► Oberflächenstruktur
- ► Materialeigenschaften
- ► Aspektwinkel (Radarstrahl aufs Ziel)

  durch Aspektwinkelunterschiede → σ-Mittelwerte

  bei Flugzeugen: Front-/Rückansicht betrachtet

Art des Radarziels	σ [m²]
Großes Schiff (Breitseite)	50 .. 500
Mehrstrahliges Verkehrsflugzeug	5 … 20
Düsenjäger	1 …. 5
Flugkörper (Missile)	0,2 … 2
Mensch	0,5 … 1
Kleindrohne	0,01
Vogel	0,001 .. 0,01
Artilleriegeschoß	0,001
Insekt	0,0001

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radarrückstreufläche σ

Radar Cross Section (RCS)

Reduzierung der Rückstreufläche σ: „Stealth“ von „stealthy“ = heimlich, verstohlen

→ wichtig im militärischen Bereich → Entdeckung von Flugzeugen der gegnerischen Flugabwehr erheblich erschwert

→ durch entsprechendes Design senkrechte Reflexionen sowie Ecken und Kanten vermeiden. Ein- und Auslässe von Triebwerken so formen. dass sie quasi zu „Fallen“ von elektromagnetischer Strahlung werden. Dazu Absorbermaterialien verwenden.

→ σ deutlich reduzieren
σ = 0,01 m² bei Kampfflugzeug
B2-Bomber

→ „**Tarnkappen-Bomber**“

Art des Radarziels	σ [m²]
Großes Schiff (Breitseite)	50 .. 500
Mehrstrahliges Verkehrsflugzeug	5 … 20
Düsenjäger	1 …. 5
Flugkörper (Missile)	0,2 … 2
Mensch	0,5 … 1
Kleindrohne	0,01
Vogel	0,001 .. 0,01
Artilleriegeschoß	0,001
Insekt	0,0001

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Radarrückstreufläche σ

Radar Cross Section (RCS)

Tarnkappen-Bomber

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Die Radargleichung

$$r_{max}^4 = \frac{P_s \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot T \cdot n}{(4\pi)^3 \cdot k \cdot Temp_{eff} \cdot (S/N)_{min} \cdot L_{gesamt}}$$

dB (Dezibel) → Logarithmus → Multiplikation / Division → Addition / Subtraktion

r_{max} Maximale Reichweite

P_s Sendeleistung, die vom Radar über Antenne abgestrahlt wird

G Antennengewinn = Leistungsdichte Antenne / Leistungsdichte idealer Kugelstrahler

λ Wellenlänge

σ Radarrückstreufläche

T Sendepulsdauer

Ziel in 3dB-Keulenbreite der Antenne

n Anzahl der Pulse in Zielbeleuchtungszeit (Zielverweilzeit $T_d = n\ T_p$)

---

k Boltzmann-Konstante $k = 1{,}3805 \cdot 10^{-23}$ Ws / K Faktor, der Energie- und Temperaturskala verknüpft

$Temp_{eff}$ Effektive Rauschtemperatur (vom Empfänger + externen Rauschquellen)

$(S/N)_{min}$ am Empfängerausgang minimal zu forderndes Signal- zu Rauschverhältnis

L_{gesamt} Verluste (Losses) bei Sende- und Empfangsvorgang: Systemverluste durch Geräte, durch Zielfluktuationen, durch Dämpfung des Signals während Ausbreitungsweg

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Die Radargleichung

$$r_{max}^4 = \frac{P_s \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot T \cdot n}{(4\pi)^3 \cdot k \cdot Temp_{eff} \cdot (S/N)_{min} \cdot L_{gesamt}}$$

Die Radar-Reichweite hängt ab von Parametern der

- ► Geräteauslegung P_s G λ f_s $Temp_{eff}$
- ► Art der Signalverarbeitung S/N_{min} T T_d n
- ► Ziel-Charakteristika σ r_{max}
- ► Systemverluste aller obigen 3 Gruppen

- Reichweite r_{max} proportional zur 4. Wurzel der Sendeleistung P_s → Verdoppelung der Reichweite erfordert bei sonst gleichen Bedingungen eine 16-fache Sendeleistung

- **Entdeckung eines Zieles ist stets ein statistischer Vorgang**
  Bedenke etwa: Fluktuation der Radarrückstreufläche eines Zieles durch Aspektwinkel

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Drohnenerkennung mit Radar

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Von Drohnen ausgehende Gefahren

- Drohne fliegt mit entsprechend explosiver Ladung in unmittelbarer Nähe eines Hochsicherheits-bereichs oder aber in der Nähe einer hochprominenten Person → sehr bedrohliche Situation
- Drohne fliegt in sehr geringer Entfernung von einer Sport- oder Musikveranstaltung mit vielen Tausenden von Besuchern → gefahrenvolle Situation, die zu Katastrophe führen kann
- Auftreten einer Drohne nahe sensitiver Industrieanlagen wie etwa von Atomkraftwerken
- Präsenz von Drohnen mit installierten Kameras über Testgebieten der (Automobil-) Industrie zur Spionage neuer Produkte kann einen großen finanziellen Schaden anrichten
- Einsatz von Drohnen als Werkzeug für den Grenzschmuggel und für illegalen Waffen- und Drogentransport
- Stattfinden von Beinahe-Zusammenstößen zwischen Drohnen und bemannten Flugzeugen → Horror-Szenario (Zerstörung Cockpit-Scheibe oder Triebwerk → Tragödie) schon häufiger vorgekommen. Flughafen stundenlang geschlossen → hoher finanzieller Schaden
- Im militärischen Bereich : Drohnen heutzutage die Aufklärer auf dem Gefechtsfeld schlechthin. Auch dieses Ausspähen kann entsetzliche Auswirkungen haben.

Diese wenigen Beispiele zeigen, welche erheblichen Gefahren von Drohnen ausgehen können.
→ Zur Bannung dieser Gefahren fundamental wichtig, derartige Drohnen unschädlich zu machen.
→ Dazu müssen diese Drohnen aber zunächst aufgespürt und exakt lokalisiert werden.
→ womit wir beim Thema sind: Drohnenerkennung mit Radar

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften eines Radars zur Drohnenerkennung

- Aufspüren von Drohnen mit Radar stellt enorme Herausforderung an das Radar dar.
- Es können nicht mit jedem Radar Drohnen detektiert bzw. erkannt werden.

→ **Beachtliche physikalische Anforderungen an das Radar zu stellen**

► Hohe Systemstabilität (Dynamik) bzw. Subclutter-Visibility > 50 dB.
Neben größeren Zielen wie Flugzeugen oder Fahrzeugen auch sehr kleine Ziele wie Drohnen detektieren.
Hohe Dynamik heißt hohe Ansprüche an Oszillatoren, A/D-Wandlung und Filter.
Betrieb in urbanen Gebieten: Subclutter-Visibility > 70 dB wegen Reflexionen an Gebäuden, Brücken, Zäunen, etc.
Radar SPEXER2000 von der Firma HENSOLDT Sensors GmbH: Subclutter-Visibility = 80 dB.

► Für Drohnenerkennung Dopplerhochauflösung besser als 0.5 m/s (1.8 km/h),
zur Unterscheidung von Clutter und um die Rotorblätter von Drohnen erfassen zu können.
HENSOLDT-Radar SPEXER2000: Dopplerhochauflösung von bis zu 0.2 m/s (0.72 km/h).

► Sehr niedrige Nebenkeulen der Systemantennen in Azimut. Besser als 40 dB für gute Entkopplung gegenüber anderen Zielen mit höherem RCS als die Kleindrohne. Nebenkeulen (SPEXER2000) = 60 dB.

► Hohe Aktualisierungsrate (Update-Rate) von kleiner als 2 Sekunden aufgrund des möglichen hohen flugdynamischen Verhaltens von Drohnen. Update-Rate (SPEXER2000) = 1 Sekunde.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das Radar SPEXER2000 von HENSOLDT Sensors

- Das Radar SPEXER2000 von HENSOLDT Sensors ist Basis für die Veranschaulichung des neuen Konzepts zur Automatischen Radarziel-Klassifikation und damit zur Drohnenerkennung.
- SPEXER2000 : Puls-Doppler-Radar im X-Band-Bereich
- zur Automatische Detektion und Klassifikation von Boden-, See- und tieffliegenden Luftzielen.
- SPEXER2000 ist das weltweit erste bodengestützte operative Radar zur Grenzüberwachung, das die AESA-Technologie (Active Electronically Scanned Array) verwendet.
- Mit der Active Phased Array-Technologie stellt SPEXER2000 eine Dual Beam-Fähigkeit bereit
  → bietet Funktionalitäten mehrerer herkömmlicher Radargeräte für kompaktes all-in-one SPEXER2000.

- Daraus abgeleitet: Multi-Tasking-Fähigkeit → gleichzeitiger Einsatz (Parallel-Betrieb) von Zielverfolgung (Tracking) und Sektorüberwachung.
- Infolge der Dopplerhochauflösung können mit dem Radar SPEXER2000 sehr kleine und sich langsam bewegende Ziele erkannt, verfolgt und automatisch klassifiziert werden.
- Schließlich hat SPEXER2000 das Charakteristikum, sehr frühzeitig vor sehr schnellen Zielen warnen zu können (very early warning).

- Instrumentierte Reichweite des SPEXER2000 : 40 km, optional 80 km.
  SPEXER2000 kann heutzutage Fußgänger (RCS = 0,50 m^2) bis zu 26 km und
  kleine Drohnen (RCS = 0,01 m^2) bis zu 9 km entfernt erfassen.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

SPEXER 2000

Radar SPEXER 2000 von HENSOLDT Sensors

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Anforderungen an die Drohnenerkennung

- 80% aller Ziele der See-Überwachung sind Vögel.
- 90% aller Ziele der Land-Überwachung sind Vögel.
- Zwar noch ein paar Bodenziele wie Fußgänger oder Fahrzeuge bzw. einige Seeziele wie Bojen, Schiffe, Boote, aber der Großteil der Ziele bei einer See- bzw. Land-Überwachung sind Vögel.

- Konsequenz : Drohnenerkennung : wenige Drohnen von vielen Vögel unterscheiden
- Problem 1 : Vögel wie Seemöwe oder Rabe höhere Rückstreufläche als eine Kleindrohne.
- Problem 2 : Flugverhalten von Vögeln (Geschwindigkeit, Höhe) keine ausreichende Basis zur Unterscheidung zwischen Vogel und Drohne.
- Problem 3 : Rückstreufläche (Range Cross Section = RCS) einer Drohne = 0.01 m^2
  RCS variiert in Abhängigkeit vom Aspektwinkel, unter dem die Drohne vom Radar gesehen wird.
  $RCS_{\text{Rotorblätter der Drohne}}$ = 0,001 m^2. RCS_{Mensch} = 0,5-1 m^2, $RCS_{\text{kleines Boot}}$ = 1,5 m^2 $RCS_{\text{kl. Kampfflugzeug}}$ = 2-3 m^2

- Die Fluggeschwindigkeit von unterschiedlichen Drohnen reicht vom Schwebeflug (hovern) bis zu mehr als 100 km/h, teilweise sogar mehr als 200 km/h. Drohnen sehr dynamisch manövrieren.

→ All diese Eigenschaften vereinfachen die Detektion und Erkennung von Drohnen nicht.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Drohnenerkennung durch Radarziel-Klassifikation

Neues Verfahren zur
Automatischen Radarziel-Klassifikation
mittels Merkmals-Extraktion

- Motivation : Erkennung von Drohnen
- Erkenntnis : Drohnenerkennung nur möglich aufgrund einer gesamten Radarziel-Klassifikation

Um Drohnen zu erkennen, müssen deren ureigene Merkmale bzw. Charakteristika bekannt sein. Um Drohnen dann von anderen Ziel-typen unterscheiden zu können, müssen selbstverständlich auch deren spezifische Erkennungszeichen zum Abgleich bereit stehen.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Drohnenerkennung durch Radarziel-Klassifikation

► Drohne nur als solche erkennbar, wenn sie von Vögeln zu unterscheiden ist.
→ um eine Drohne als solche wahrzunehmen, müssen somit bestimmte Merkmale der Drohne als auch konkrete Merkmale des Vogels zum Abgleich bekannt sein.

► Drohne und Vogel werden vom Radar während ihres Fluges in der Luft detektiert.
→ Unterscheidung : Drohnen von Helikoptern und anderen Flugzeugen notwendig.
→ dazu müssen dann die spezifischen Merkmale von Heli und Flugzeug bekannt sein.

► Drohnen fliegen auch durch städtische Gebiete.
→ Drohnen müssen auch von Fahrzeugen und Fußgängern unterschieden werden.
→ Dazu sollten deren Charakteristiken zur Gegenüberstellung bekannt sein.

Konsequenz : Drohnenerkennung nur möglich, wenn bestimmte Merkmale für Drohnen vorliegen bzw. zutreffen und die Merkmale aller möglichen anderen Zieltypen nicht passen.

→ Eine Drohnenerkennung ist letztendlich nur durch eine gesamte Radarziel-Klassifikation mit allen potentiellen Zieltypen möglich.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das neue Verfahren im Überblick

Einleitung

Übliche Herangehensweise an die automatische Radarziel-Klassifikation :
Klassifikations-Algorithmen verwenden in irgendeiner Form die
Neuroinformatk: ein Forschungsgebiet im Schnittbereich zwischen
Künstlicher Intelligenz und Kognitionswissenschaft
Schlagworte : Künstliche Neuronale Netze, Mustererkennung,
Bildverstehen, Maschinelles Lernen, Deep Learning etc.

Völlige Loslösung von herkömmlicher Herangehensweise :
Ohne Hinzunahme irgendwelcher Vorkenntnisse fragen :
Wie kann man aus dem Radar-Empfangssignal **Merkmale ableiten**,
die für bestimmte Zieltypen spezifisch sind ?
Wie lassen sich diese Merkmale für die Klassifikation nutzen ?

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das neue Verfahren im Überblick

Prinzip des Verfahrens

Klassifikation unterschiedlicher Radarzieltypen (Fußgänger, Fahrzeuge, Drohnen, Hubschrauber, Vögel) nur möglich, wenn die Radarziele im Radar-Empfangssignal oder daraus abgeleiteter physikalischer Größen spezielle Merkmale aufweisen und sich diese Merkmale von denen anderer Zieltypen unterscheiden

→ Radarziel-Klassifikation eines Zieltypus nur im Kontext zur Klassifikation aller möglicherweise auftretenden Zieltypen zu sehen.

► Merkmale für jeden Zieltypus erkennen und extrahieren

Input: vorverarbeitetes Radar-Empfangssignal, abgeleitete Spektren und Cepstren

Sehr viele Echtdaten-Spektren und Cepstren ansehen → Merkmale ableiten

Der Phantasie freien Lauf lassen

► Extrahierte Merkmale werden für jeden Zieltypen in Fragen gegossen

Bei 20, 40 bzw. 50 gestellten Fragen wird jede mit 5%, 2,5% bzw. 2% beaufschlagt

Im Optimalfall (positive Beantwortung aller Fragen) können für den vorliegenden Zieltyp 100% erreicht werden. Andere Gewichtung als Gleichgewichtung denkbar.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das neue Verfahren im Überblick

Vorteile des Verfahrens

- Klassifikations-Verfahren, die etwa Neuronale Netze nutzen, muss man als eine Art „Black-Box“ ansehen. Man kann nie exakt sagen, warum sie was tun, weshalb sie wie entscheiden. Man kann Entscheidungen nicht im Detail auf den Grund gehen.

- Das vorliegende Verfahren ist alles andere als eine „Black-Box“. Jede Entscheidung kann detailliert nachvollzogen werden. Die Merkmale sind häufig Alleinstellungsmerkmale von Zieltypen und daraus abgeleitete Fragen stets auf spezielle Zieltypen hin zugeschnitten.

- Weiterer großer Vorteil: Mit dem vorliegenden Verfahren ist es – in Abgrenzung zu Kameras, Peilern, etc. – möglich, extrem schnell sehr viele Ziele in einem großen Gebiet klassifizieren zu können.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das neue Verfahren im Überblick

Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Verfahren

- Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Kombination des Verfahrens mit Klassifikationsmodellen und ihren Lern- und Trainingsmethoden
  Dies sind Techniken wie
  - Klassifikatorbäume
  - K-Nearest-Neighbor-Algorithmus
  - SVM (Support Vector Machine – maschinelles Lernen)
  - Ensemble Learning
  - Diskriminanzanalyse.

- „Maschinell gelernt“ wird nicht auf einzelne nackte Zahlenwerte, sondern direkt auf die Merkmale.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das neue Verfahren im Überblick

Keine simulierten Daten, sondern echt aufgezeichnete Daten

Wichtige Bemerkung:

Der neue Klassifikations-Algorithmus
basiert nicht auf simulierten Daten .

Die neue Klassifikations-Methode
basiert ausschliesslich auf
echt aufgezeichneten Daten
des Radars **SPEXER 2000** .

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Die Details des neuen Verfahrens

Vorverarbeitung

- Radarsignal im Empfangszug nach PK und vor Doppler-Filterung abgezweigt
- Als I/Q-Signal an das Klassifikationsmodul übergeben
- Klassifikation stellt spektral basierte Klassifikation auf Plot-Level dar mit anschließender darauf aufbauender track-basierter Klassifikation
- Merkmale und Fragen basieren auf Spektrum und Cepstrum des I/Q-Signals der Länge 2^n (n = 2er Potenz der FFT-Länge)
- O.B.d.A. auf Plotbasis Länge 256, auf Trackbasis Verkürzung auf Länge 64 für kürzere Update-Rate

- **Input** auf Plotbasis: 4 komplexe I/Q-Signale (Länge 256), basierend auf 4 Bursts
- Hamming-Wichtung – FFT – Betragsbildung – Mittelung → Spektrum
- Logarithmierung log = 20 · $\log_{10}$(lin) – IFFT – Betragsbildung → Cepstrum
- Cepstrum symmetrisch zu seiner Mitte

  → **Output** der Vorverarbeitung: 256 Spektralwerte + 128 Cepstralwerte =
  = 384 Werte, auf denen die Merkmals-Extraktion (Klassifikation) beruht

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Die Details des neuen Verfahrens

Sichtbarmachung von Strukturen

► Um bestimmte Strukturen oder Formationen im Spektrum oder Cepstrum sichtbar machen zu können, bedient man sich einiger simpler Hilfsmittel. Drei Beispiele seien an dieser Stelle genannt :

- 50/25 Analyse bei einer 256-Punkte-FFT
- Glättung durch Mittelwertsbildung (Averaging)
- Spektral- und Cepstral-Schwelle

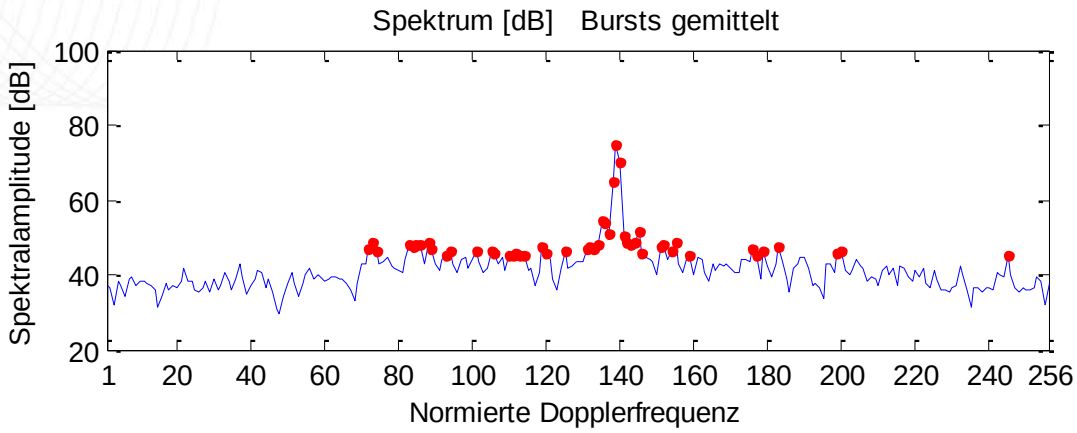
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

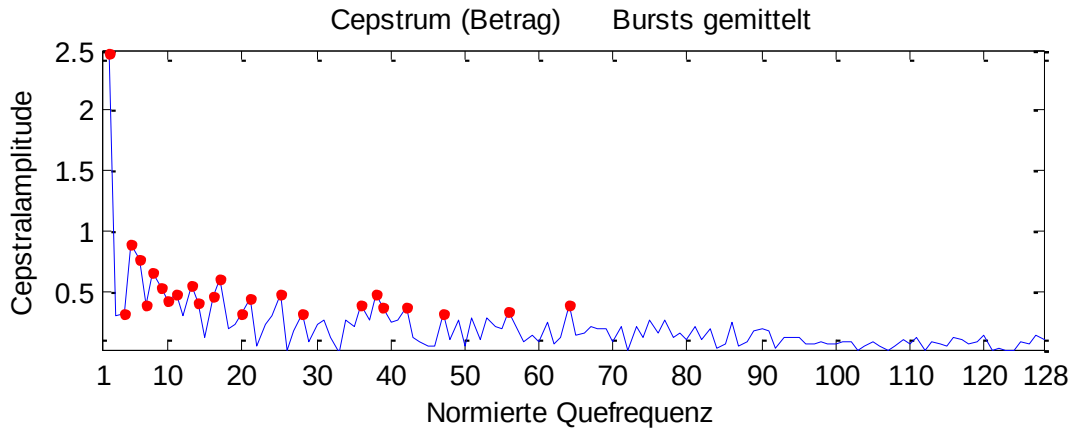
Die Details des neuen Verfahrens

Sichtbarmachung von Strukturen

50/25-Analyse bei 256er FFT

- ► Die relevanten Werte des Spektrums und Cepstrums werden wohl die größten Werte sein
- ► Von 256 Spektral- und 128 Cepstral-werten die 50 bzw. 25 Größten aus-wählen, alle anderen ≡ 0 setzen
- ► Es entstehen zieltypische Strukturen und Formationen
  → nutzen für Merkmals-Extraktion
- ► Beispiel: erhöhter Sockel um Body im Spektrum des Helikopters (durch Rotorblätter)





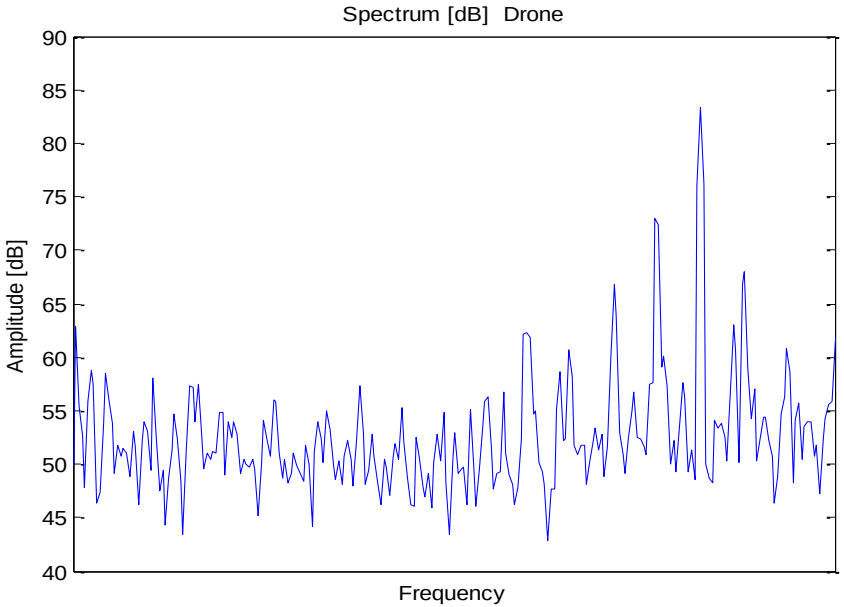
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Die Details des neuen Verfahrens

Sichtbarmachung von Strukturen

Glättung durch Averaging

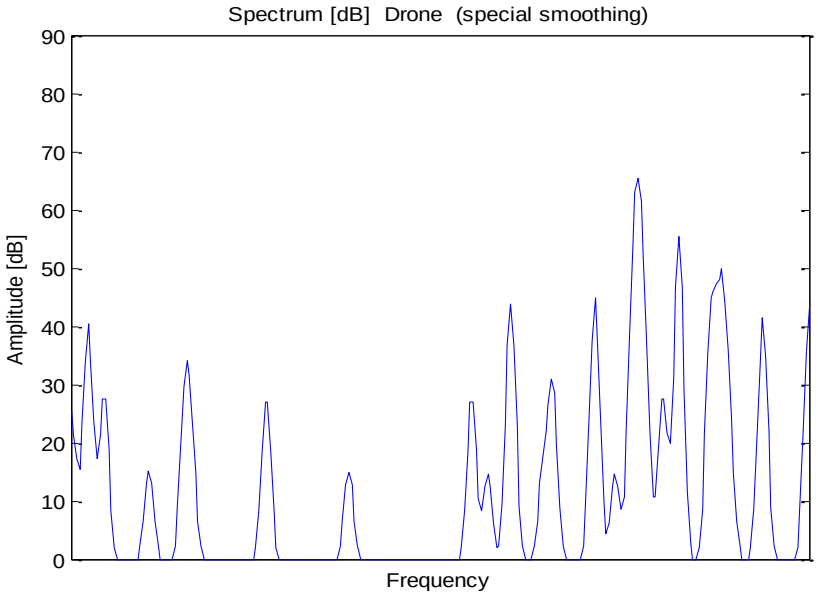
- Durchführung einer Mittelwerts-Bildung über x aufeinanderfolgende Werte im Spektrum und Cepstrum und y-malige Wiederholung dieser Mittelwerts-Bildung.
- Durch die Ausbildung von Abrundungen entstehen recht interessante Formationen als auch spezifische Maxima, welche für die Merkmals-Extraktion genutzt werden



Spectrum Drone

smoothing → by averaging

nach 50er Analyse



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Die Details des neuen Verfahrens

Sichtbarmachung von Strukturen

Spektral- und Cepstral-Schwelle

- Für die Spektral- und Cepstral-werte wird eine Schwelle gebildet

$$\text{Schwelle} = \mu + 3.5 \cdot \sigma$$

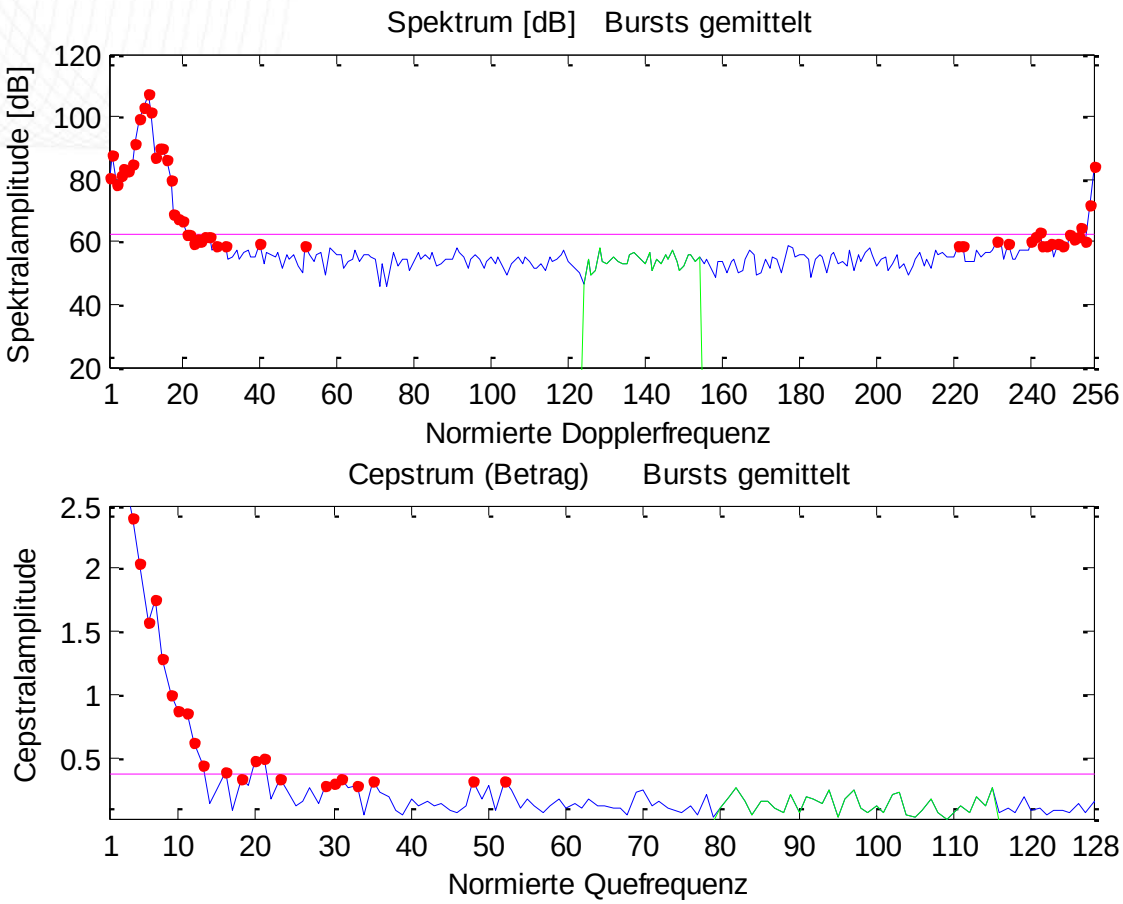
μ = Mittelwert σ = Streuung

Die konstante Schwelle wird für einen **Bereich** berechnet, der keinerlei Zielamplituden enthält

→ die Schwelle wird quasi nur von Zielamplituden überschritten

- Schwelle nutzen für Merkmals-Extraktion

Beispiel Fußgänger



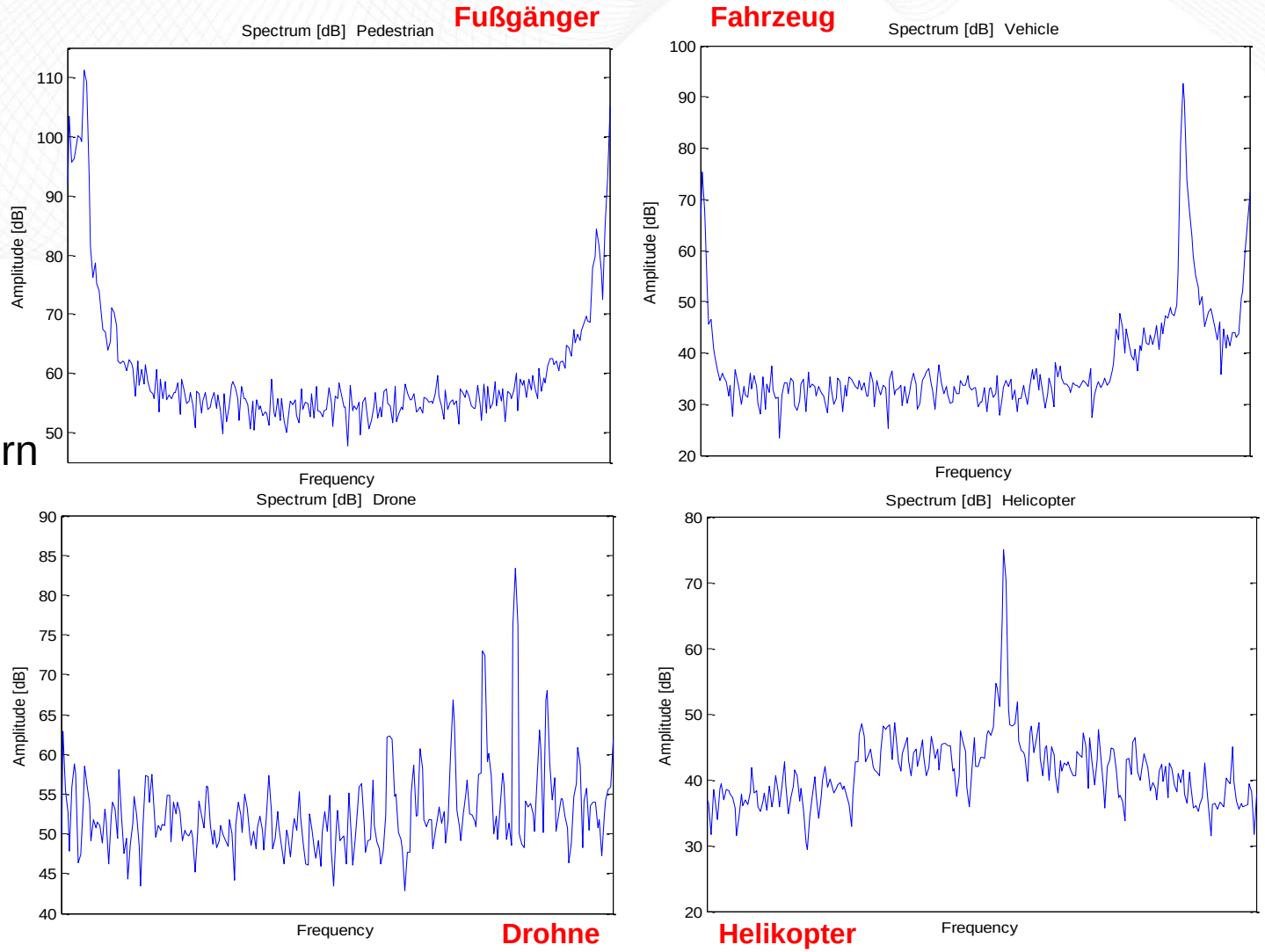
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Merkmals-Extraktion
Typische Spektren

► Der visuelle Vergleich offenbart durchaus Unterschiede in den Spektren :

- Fußgänger: breiter Body bei geringer Geschwindigkeit
- Fahrzeug: Double Speed Return
- Drohne: Rotorblattspitzen
- Helikopter: erhöhtes Niveau durch Rotorblätter

► Konsequenz:
es muss möglich sein, zielspezifische Merk-male zu finden



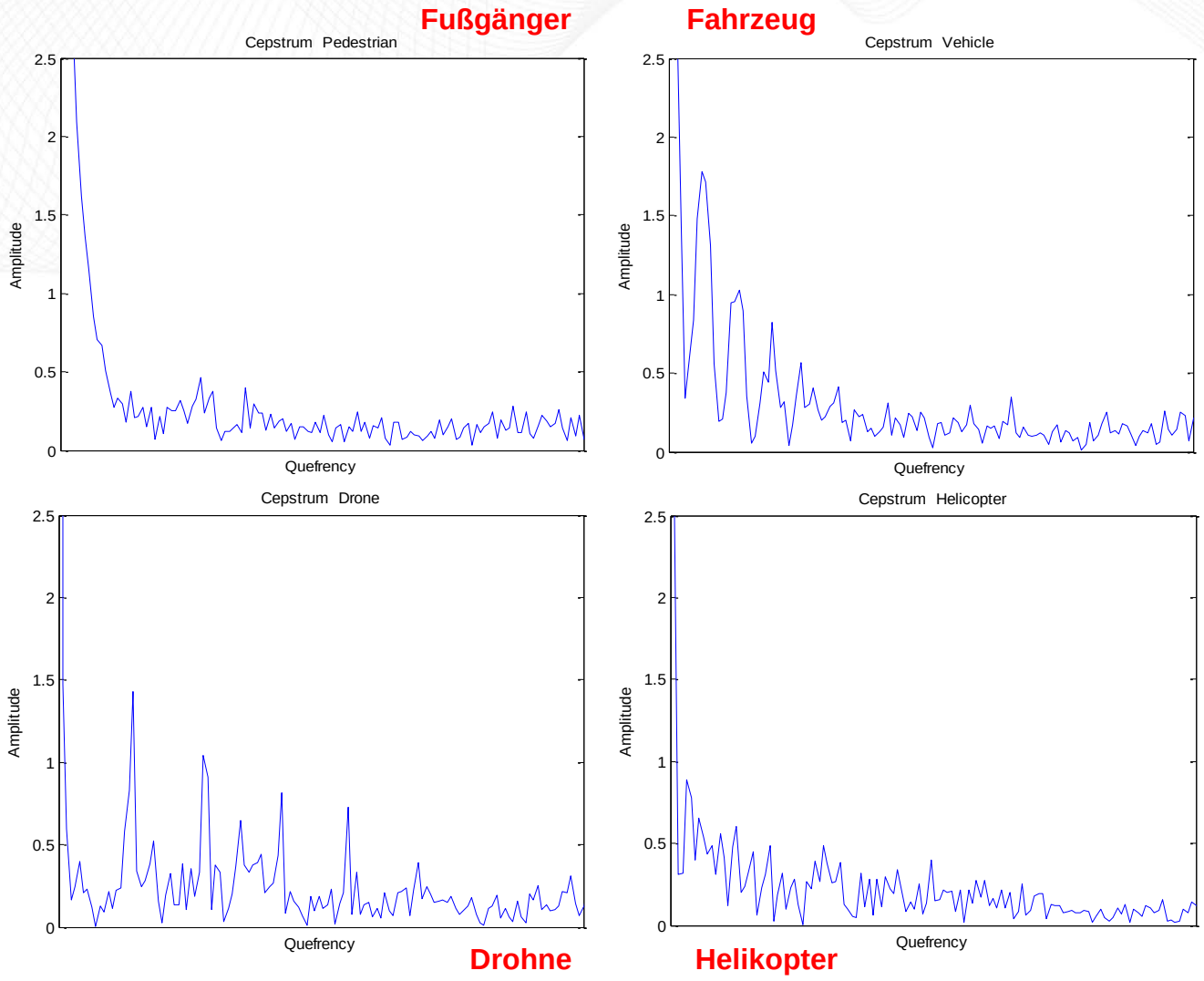
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Merkmals-Extraktion
Typische Cepstren

► Der visuelle Vergleich offenbart durchaus Unterschiede in den Cepstren :

- Fußgänger: breiter Anteil im unteren Quefrency-Bereich
- Fahrzeug: Sägezahn-Muster
- Drohne: Rotorblattspitzen
- Helikopter: recht unterschiedliche Interpretationen möglich

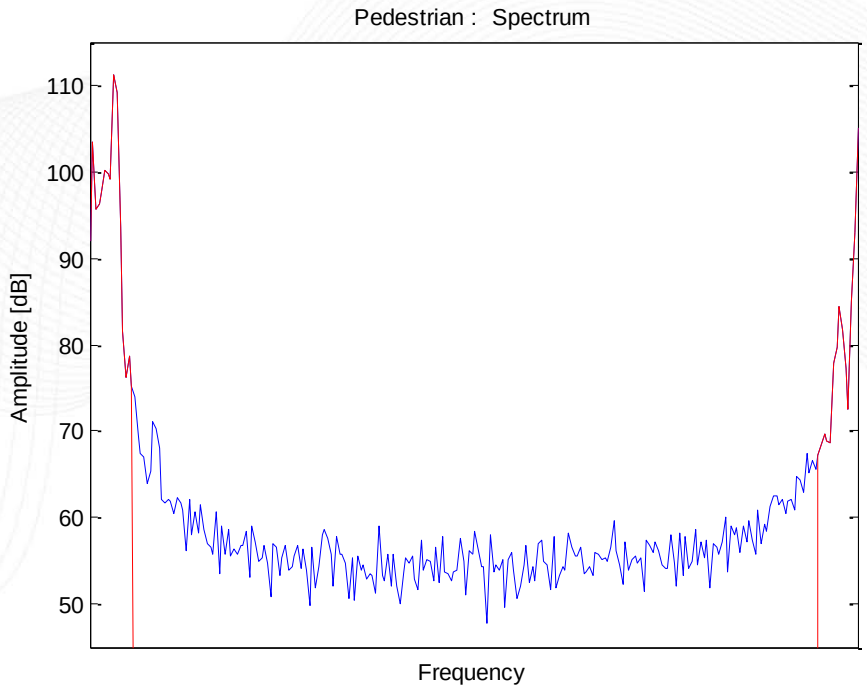
► Konsequenz:
es muss möglich sein, zielspezifische Merkmale zu finden



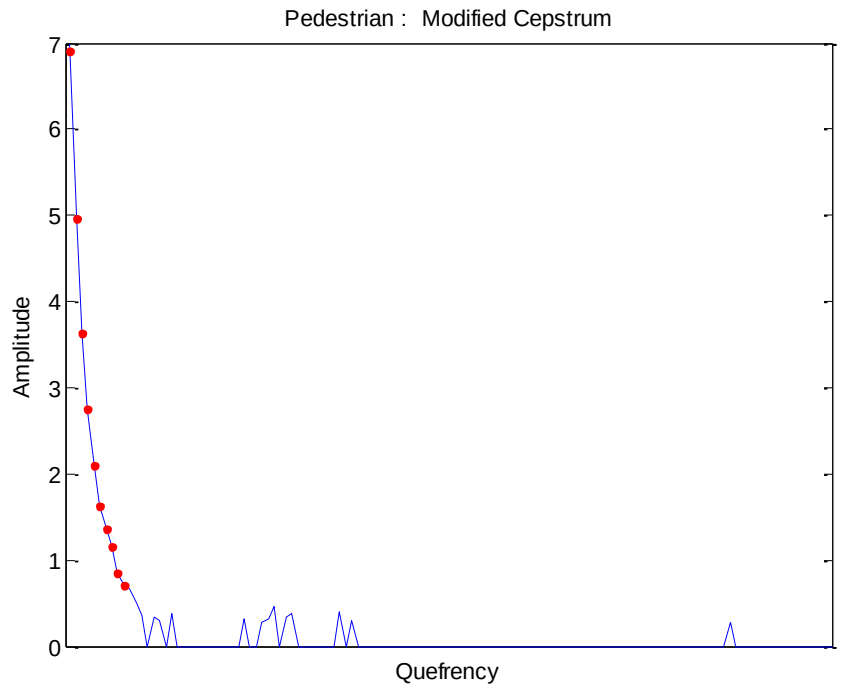
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Merkmale von Fußgängern

Von 55 Fußgänger-Merkmalen diskutieren wir 2 typische Fußgänger-Merkmale



- **Geschwindigkeits-Test im Spektrum**
  Unter Außerachtlassung des Boden-clutters an den spektralen Rändern muss das spektrale Maximum aufgrund der relativ geringen Fußgänger-Geschwindigkeit in den roten Bereichen liegen → Merkmal → Frage ableiten



- **Breite-Test im Cepstrum**
  Das Cepstrum wird der 25er Analyse unter-zogen → 25 Werte >0 , alle anderen = 0 .
  Konsequenz: die ersten 10 Cepstralwerte sind alle > 0 (rote Punkte)
  Merkmal festgestellt → Frage ableiten

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Merkmale von Fahrzeugen

Von 36 Fahrzeug-Merkmalen diskutieren wir
4 typische Fahrzeug-Merkmale

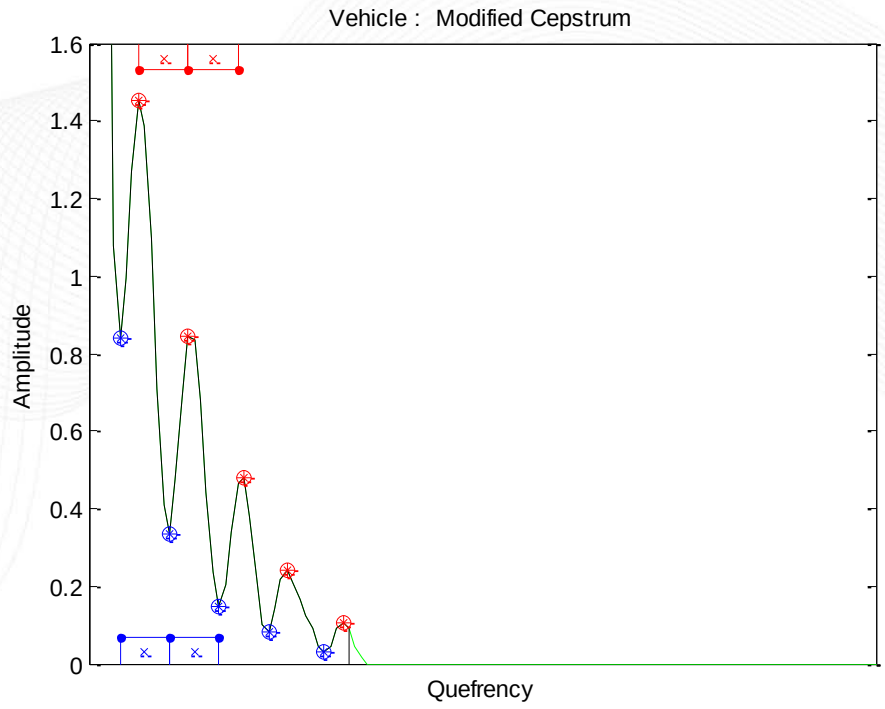
► Sägezahn-Test im Cepstrum

Nach 25er Analyse und mehrfacher Glättung über jeweils x Werte im ersten Drittel die Hoch- und Tiefpunkte (x/y-Werte) bestimmen

Test Anzahl Hochpunkte: es gibt im ersten Drittel des Cepstralbereiches mindestens 3 HP

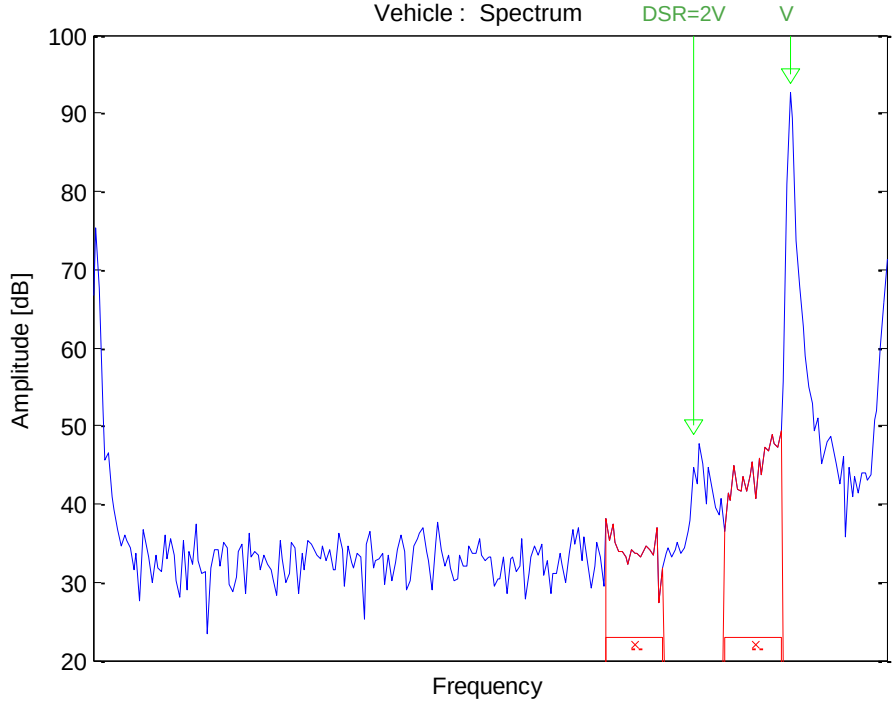
Monotonie-Test für Hochpunkte:
Die 3 Hochpunkte sind monoton fallend.

Abstands-Test für HP und TP: es gibt im ersten Drittel des Cep.bereiches mind. 3 HP und 3 TP. Die beiden Abstände unterscheiden sich maximal um 3 Abszissenwerte



Double-Speed-Return-Test im Spektrum

DSR bei der doppelten Fahrzeug-Geschwindigkeit.
2 Mittelwertsbildungen über die roten Bereiche.
Die beiden Mittelwerte müssen sich um einen Schwellwert unterscheiden → $|m_1 - m_2| > sw$



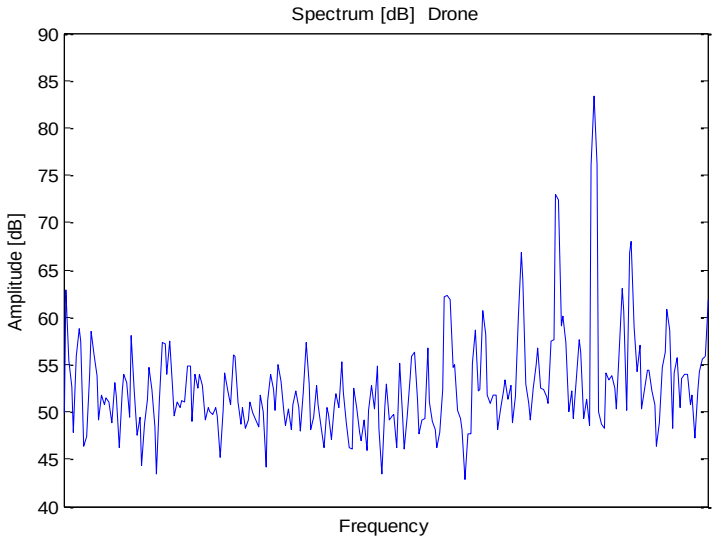
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Merkmale von Drohnen (1)

Von 55 Drohnen-Merkmalen diskutieren wir 3 typische Drohnen-Merkmale

► 1. Abstands-Test im Spektrum

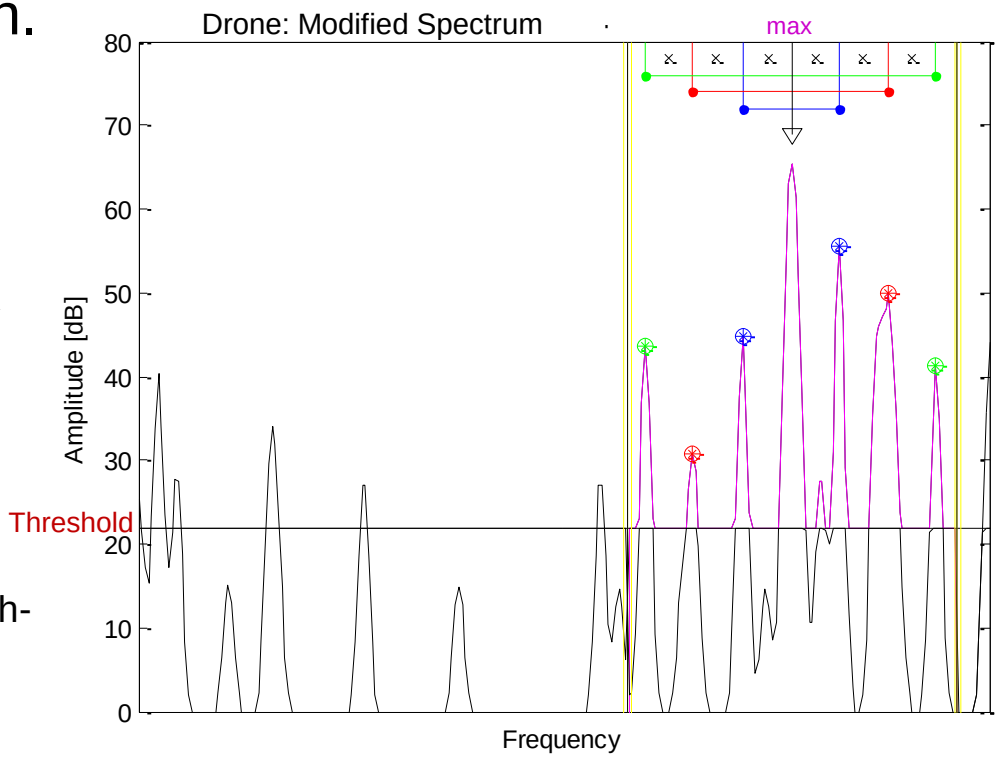
- Nach 50er Analyse und Glättung entstehen markante Maxima und Minima.
- Es wird der Abszissenwert (Frequenz) des spektralen Maximums (max) ermittelt.
- Im magenta-farbenen Bereich um das spektrale Maximum herum wird gefragt, ob links und rechts des Maximums jeweils Maxima mit gleichem Abstand zum spektralen Maximum existieren.



50er Analyse

→

Glättung



Um nicht zu viele Maxima im Spiel zu haben, wird der Untersuchungsbereich abszissenmäßig durch den magenta-farbenen Bereich und amplitudenmäßig via Threshold eingeschränkt.

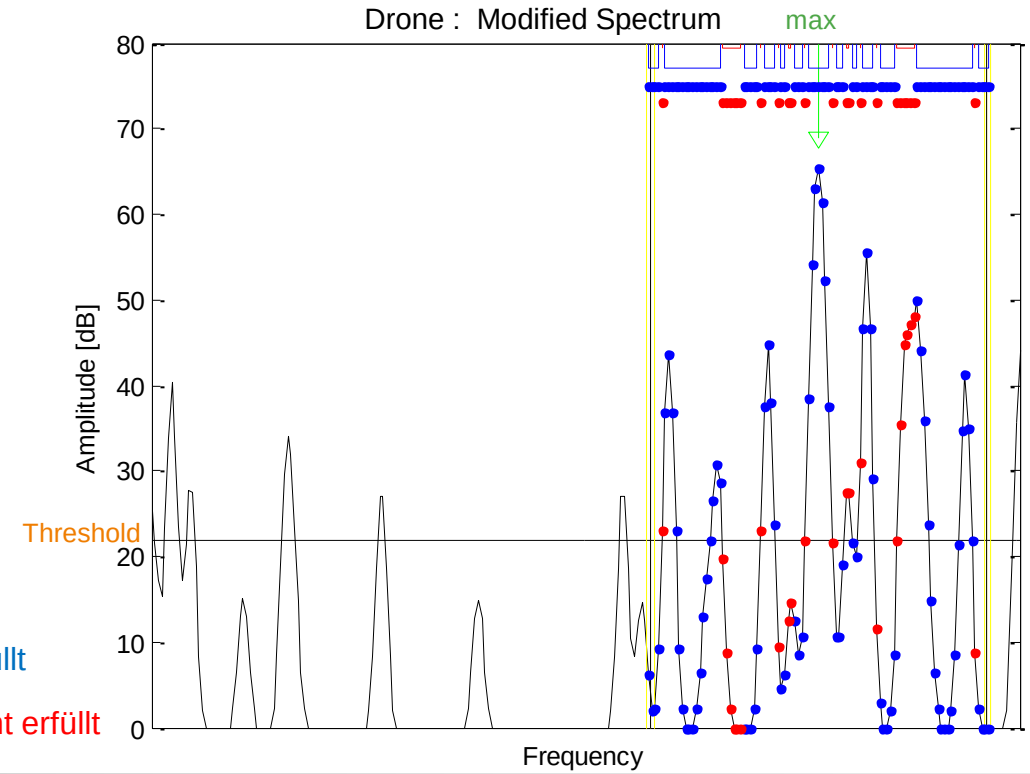
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Merkmale von Drohnen (2)

Von 55 Drohnen-Merkmalen diskutieren wir 3 typische Drohnen-Merkmale

► **2. Symmetrie-Test im Spektrum** **(nach 50er Analyse und Glättung)**

- Threshold berechnen, abhängig von der Höhe des spektralen Maximums (max)
- Werte > Threshold behalten ihren Wert, alle anderen Werte werden ≡ 0
- Im gelb begrenzten Bereich um das spektrale Maximum herum wird gefragt, ob es bezüglich des Abszissenwertes des spektralen Maximums eine Symmetrie gibt
- Für jeweils 2 spektrale Werte mit gleichem Abszissen-Abstand links und rechts vom spektralen Maximum wird im Untersuchungsgebiet gefragt, ob beide Werte >0 bzw. =0 sind.
- Man zählt die Anzahl der Werte mit gleichem Vorzeichen im Untersuchungsbereich.
- Überschreitet die Anzahl einen vorgegebenen Schwellwert, ist das Merkmal erfüllt.



blau : Symmetrie erfüllt

rot : Symmetrie nicht erfüllt

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Merkmale von Drohnen (3)

Von 55 Drohnen-Merkmalen diskutieren wir 3 typische Drohnen-Merkmale

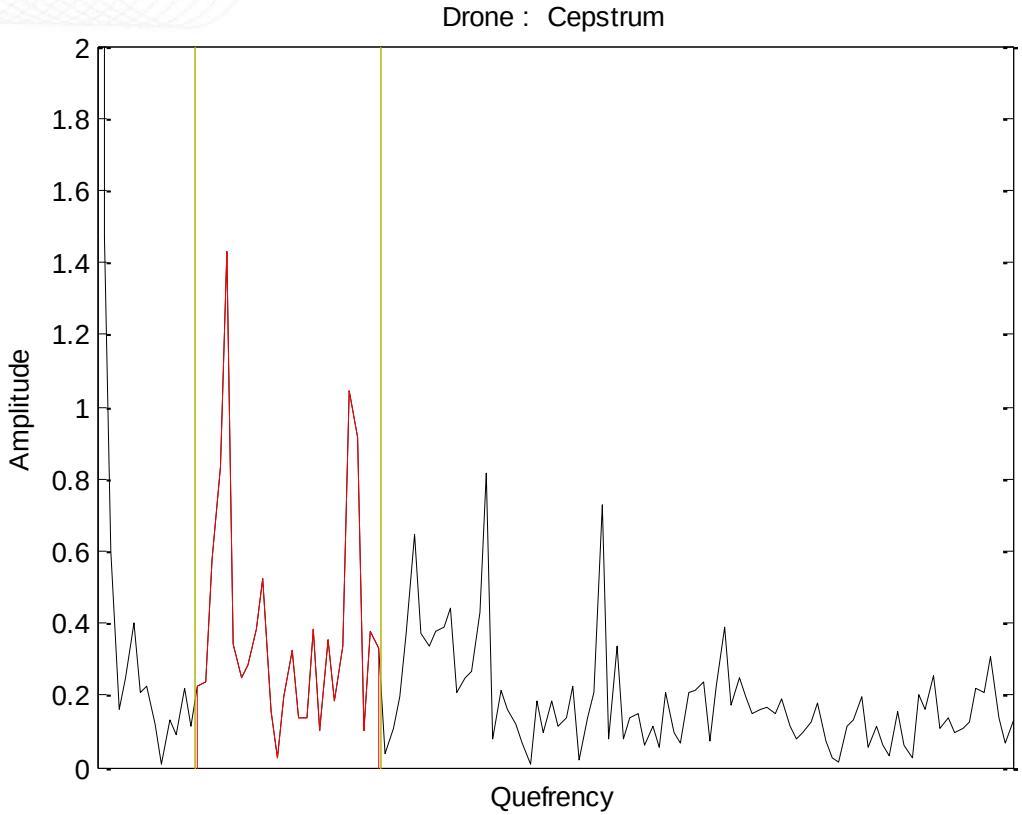
► 3. Streu-Test im Cepstrum

- Von insgesamt 55 Drohnen-Merkmalen gibt es mit dem Abstands-Test und dem Symmetrie-Test relativ anspruchsvolle Merkmale, aber es gibt auch relativ triviale Merkmale, wie der Streu-Test-15/40 für das Cepstrum zeigt.

- Für das gelbe Abszissen-Intervall wird die Streuung des Cepstrums berechnet und gefragt, ob diese größer ist als ein vorzugebender Schwellwert.

Streuung s für die Stichprobe $x_1,\ldots,x_n$ mit Mittelwert $\bar{x}$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$



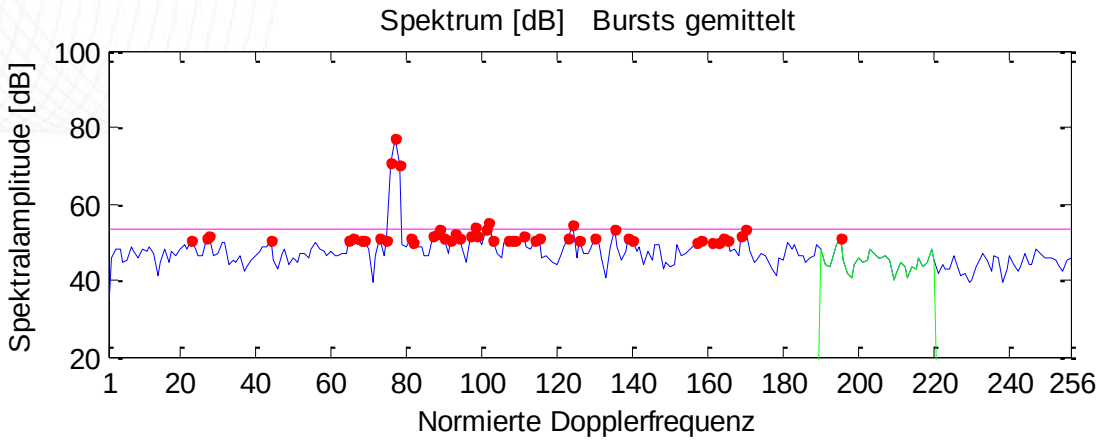
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

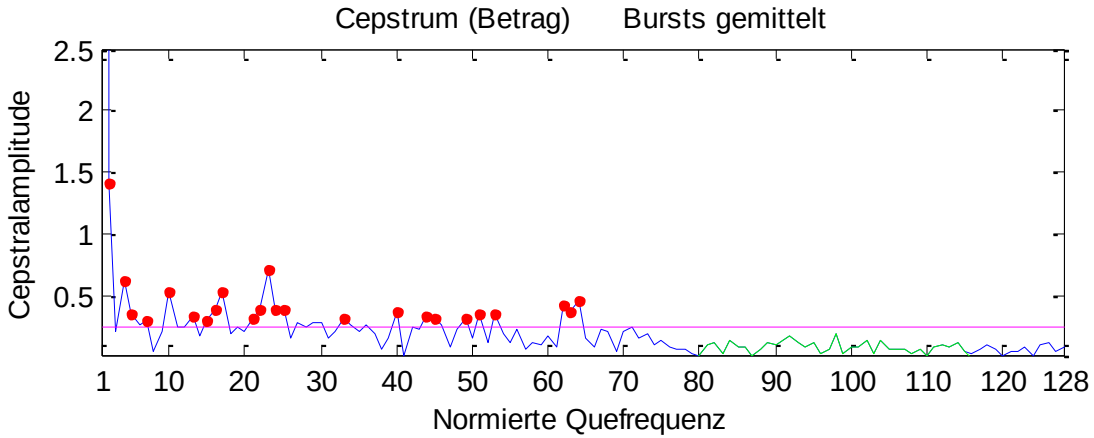
Merkmale von Helikoptern

Von 45 Helikopter-Merkmalen skizzieren wir 2 typische Helikopter-Merkmale

► Wir betrachten das Spektrum nach der 50er Analyse : spe1
und das Cepstrum nach der 25er Analyse : cep1

Von den 80 spektralen Werten links und den 80 spektralen Werten rechts vom spektralen Maximum sind mindestens 24 Werte auf einer Seite > 0
<u>oder aber</u>
cep1 hat zwischen den Werten 55 und 80 mindestens einen Wert > 0





► Vom Cepstrum cep ist mindestens einer der ersten 5 Werte < 1 , i.e.
min(cep(1..5)) < 1

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Identical- und Negations-Merkmale

- Trifft ein Merkmal eines bestimmten Zieltypen **auch** auf einen anderen Zieltypen zu, so ist es für diesen anderen Zieltypen ein sogenanntes **„Gleich“-oder „Identical“-Merkmal** .

- Trifft ein Merkmal eines bestimmten Zieltypen auf einen anderen Zieltypen **absolut nicht** zu, so ist es für diesen anderen Zieltypen ein sogenanntes **„Negations“-Merkmal** .

- Für jeden untersuchten Zieltypen konnten eine ganze Reihe von „Gleich“- und „Negations“-Merkmalen gefunden werden.

- Insbesondere Negations-Merkmale sind sehr interessant, da durch sie explizit Unterscheidungskriterien zu anderen Zieltypen entstehen.

- **Fazit:** Wenige (3-4) Merkmale für einzelne Zieltypen werden für eine zuverlässige Zieltyp-Unterscheidung nicht ausreichen, es sind möglichst viele (>20) Merkmale notwendig.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Unterschiedliche Drohnentypen

Wichtiger Hinweis

5 Drohnentypen wurden analysiert :

Bebop

Disco

Inspire

Phantom

Wildcat

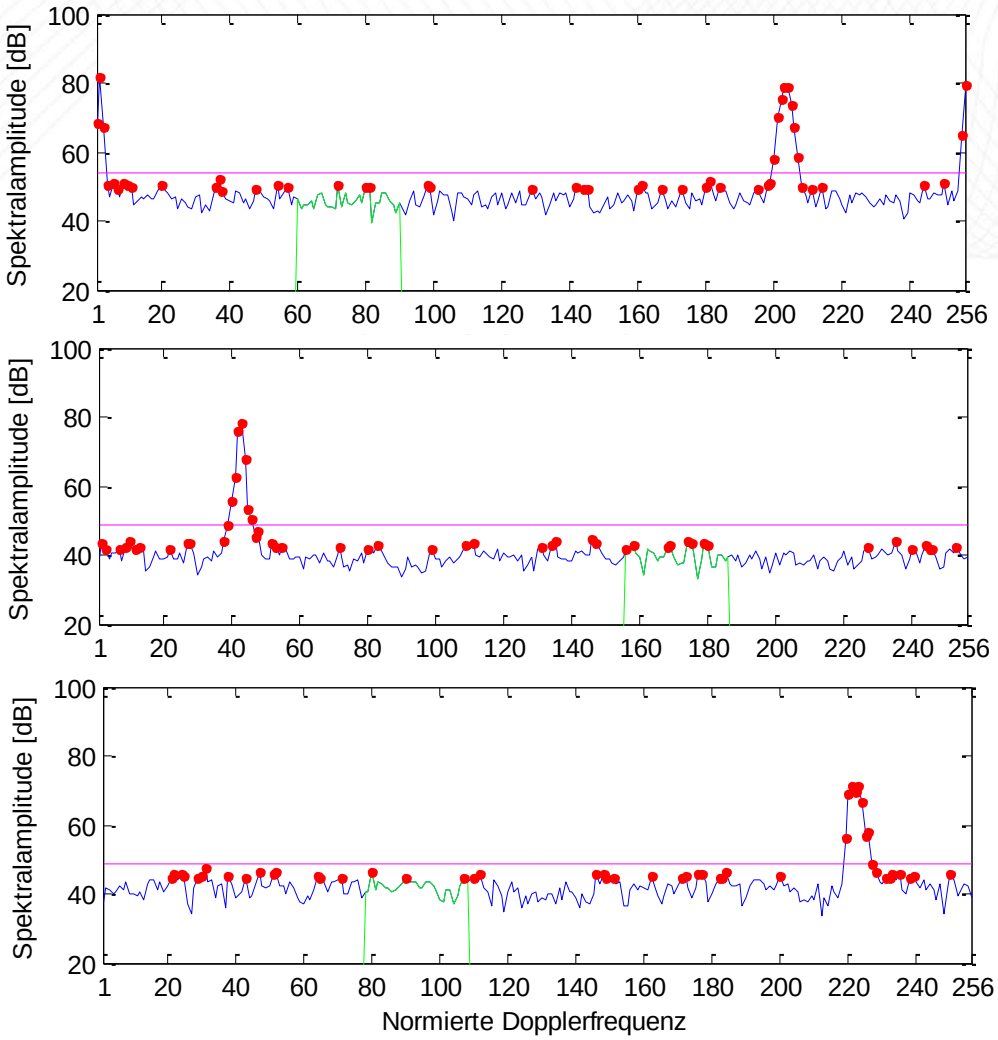
Der neue Klassifikations-Algorithmus wurde nicht nur für einen Drohnentypen entwickelt, sondern zumindest für diese 5 Drohnentypen, wenn damit nicht gar für alle Drohnentypen.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

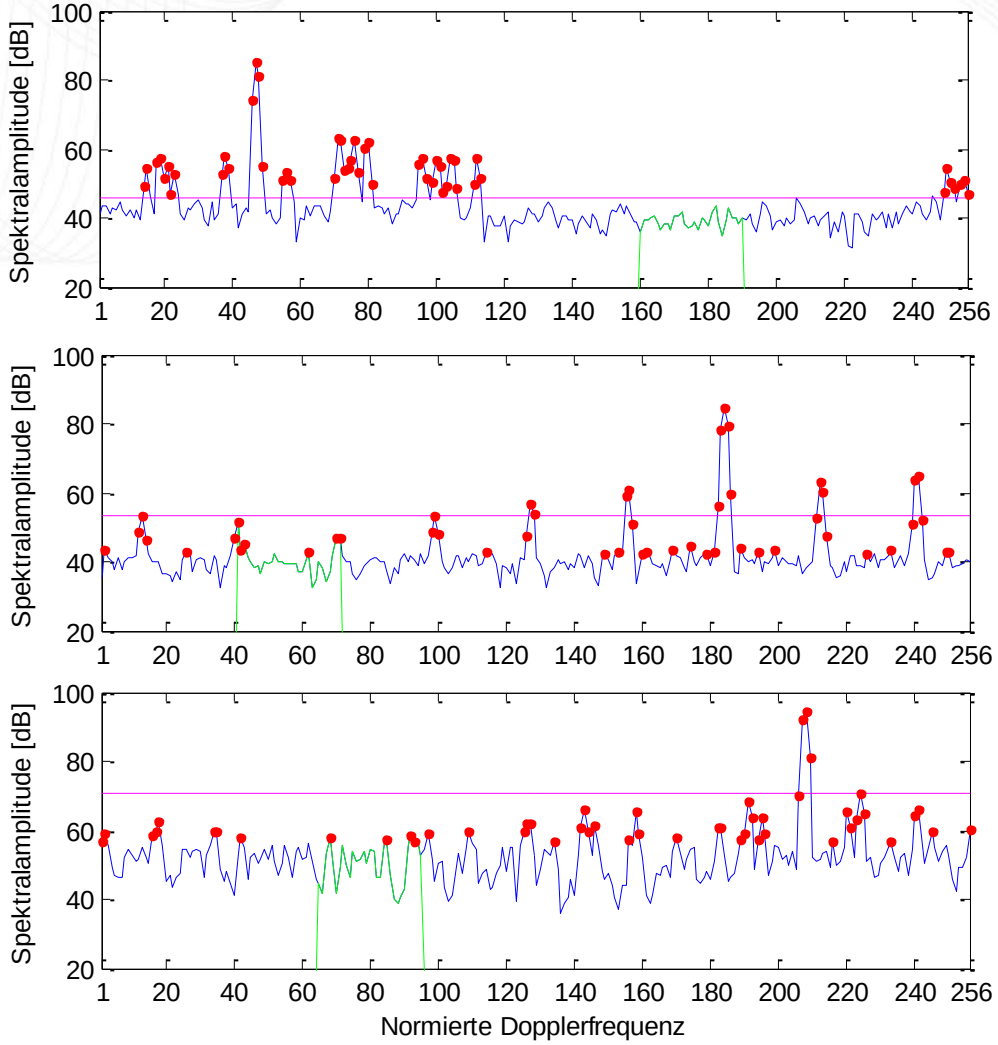
Zur Unterscheidung von Drohnen und Vögeln

Deutliche Unterschiede im Spektrum von Vögeln und Drohnen erkennbar

Vogel



Drohne Rotorblätter

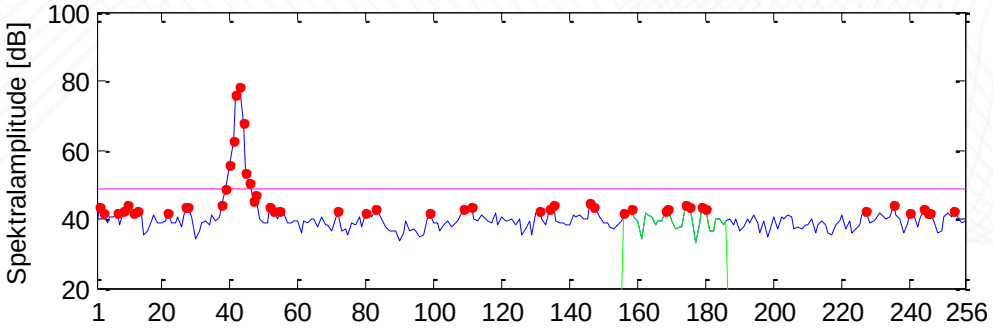


This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

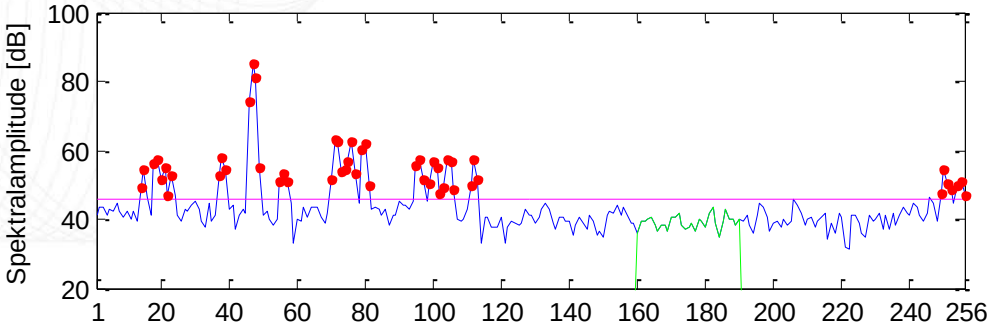
Zur Unterscheidung von Drohnen und Vögeln

Unterscheidungskriterien → Merkmale skizzieren (Zahlenwerten für Unterscheidung)

Vogel



Drohne



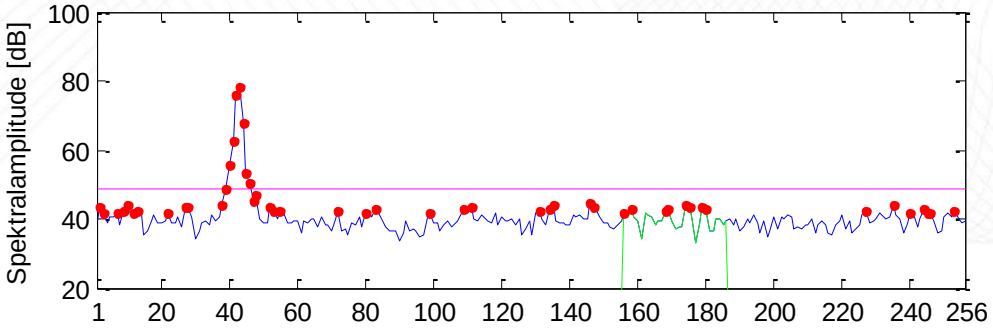
- Anzahl der Wechsel im Spektrum von > Schwelle zu < Schwelle und umgekehrt → bei Drohne mehr als bei Vogel
- Spektrum nach 50er Analyse : Anzahl der Werte um das spektrale Maximum, die ohne Unterbrechung > 0 sind → bei Vogel mehr als bei Drohne
- Spektrum : Werte 1-3 und 254-256 (evtl. Bodenclutter) weglassen. Restliche 250 Werte in 10 Blöcke zu 25 Werten unterteilen. 10 Differenzen Max-Min bilden. Die beiden Größten (Ziel-Body) weglassen. Restliche 8 Differenzen addieren. → bei Drohne höher als bei Vogel

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

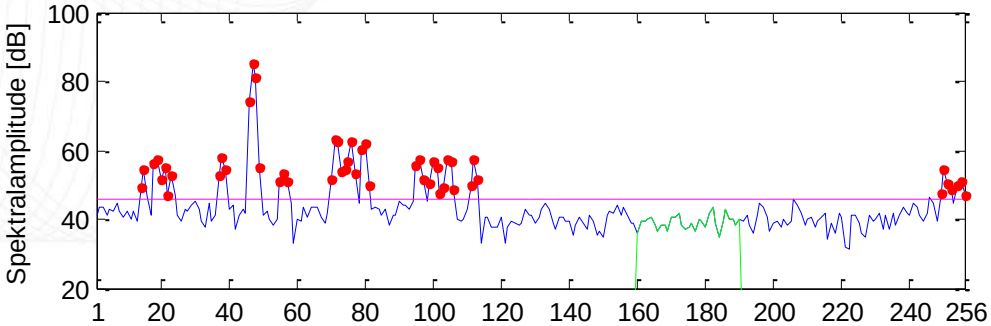
Zur Unterscheidung von Drohnen und Vögeln

Unterscheidungskriterien → Merkmale mit Zahlenwerten für Differenzierung

Vogel



Drohne



► Streuwert über Spektralwerte : Werte 1-3 und 254-256 (evtl. Bodenclutter) weglassen. Alle Werte weglassen, die vom spektralen Maximum nach links und rechts in ununterbrochener Reihenfolge > Schwelle sind (Ziel-Body).
→ Streuwert für Drohne höher als für Vogel.

► Geordnete Statistik : 256 Spektralwerte der Größe nach ordnen. Von jedem Wert den 128.-größten subtrahieren (Normierung). Der 128.-größte Wert ist Null. Betrachte den 30.-größten und 50.-größten Wert. → D-Werte > V-Werte

● Fazit : Drohnen lassen sich gut von Vögeln unterscheiden

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (1)

5 Beispiele

- Szenario in ca. 1 – 1,5 km Entfernung
- Einzelner **Fußgänger** , **Drohne** und **Fahrzeug** auf der Straße werden getrackt und klassifiziert

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

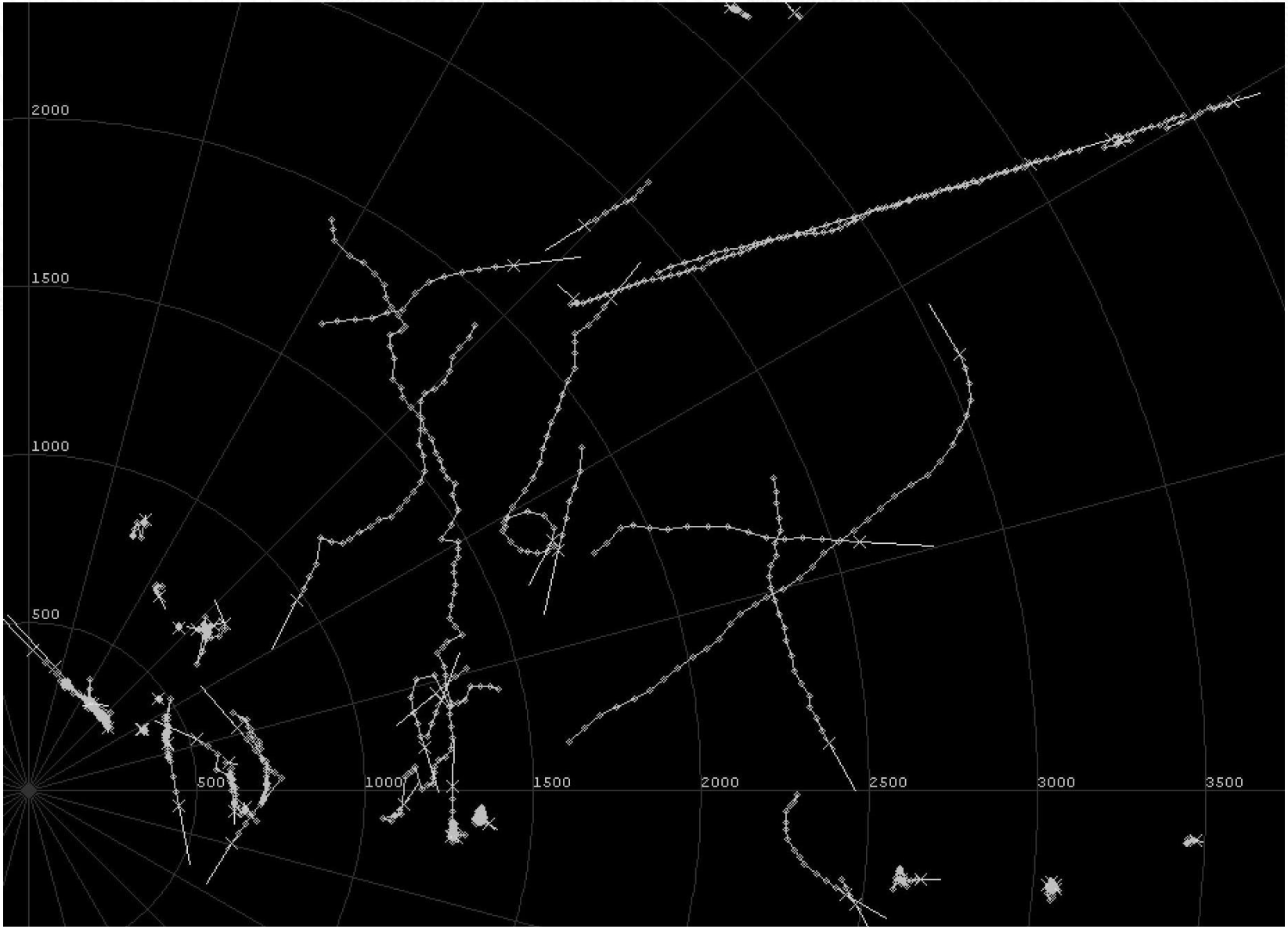
Operationelle Ergebnisse (2)

- ► Operationeller Live Screen
- ► Entfernung 1 – 1,5 km
- ► Plots und Tracks klassifiziert **Fußgänger**, **Fahrzeug** und **Drohne**
- ► Radar wurde betrieben mit vollständiger Sektor-abdeckung (full sector coverage) mit 120° per Panel
- ► Update Rate = 1.8 sec Verwendung von 8 pencil beams in parallel, möglich bei AESA-Antenne.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (3/1)

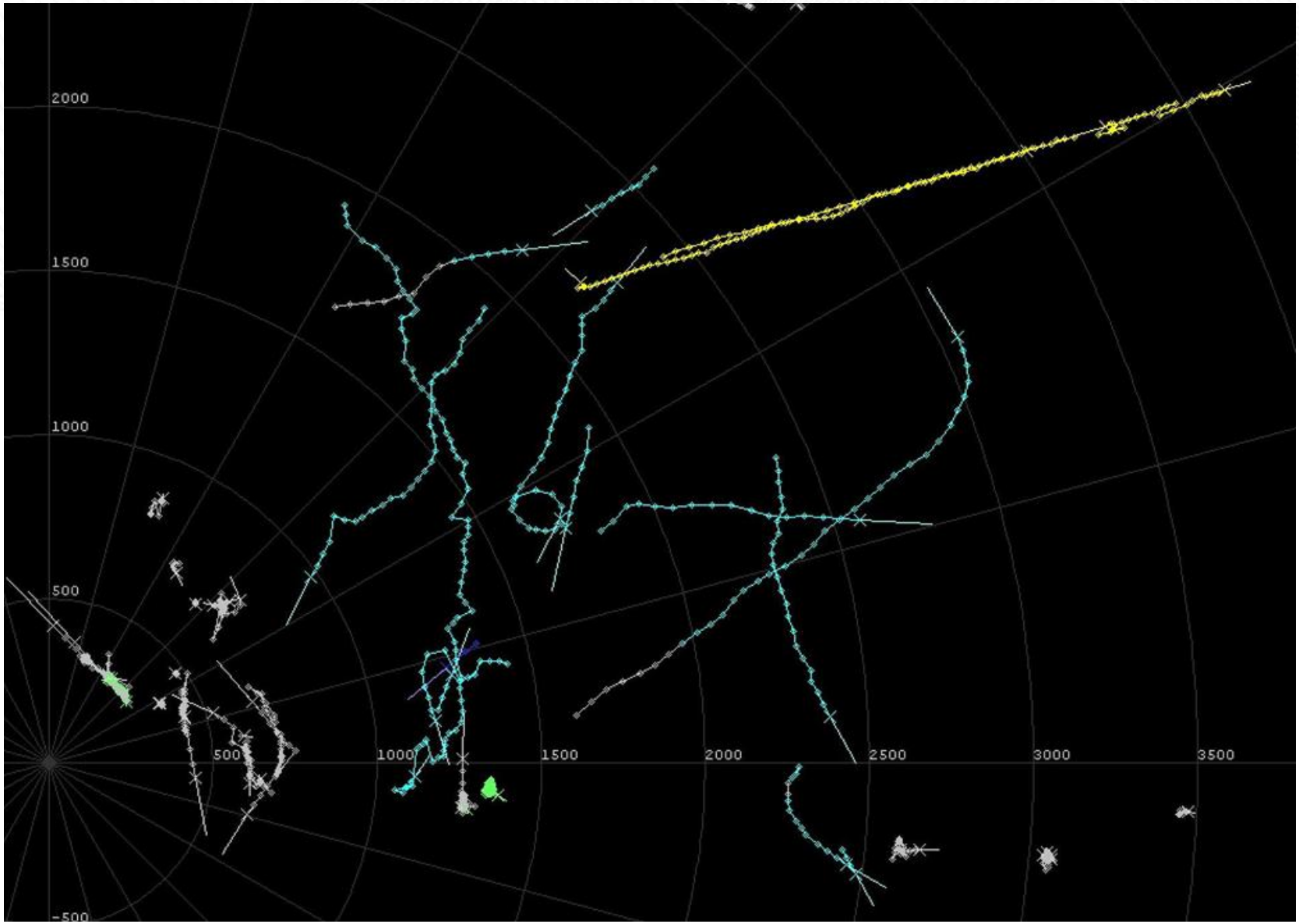
- Langzeit Ziel-Szenario
- **Unklassifizierte Darstellung** von assoziierten Plots und Tracks
- Mehrere Vögel und eine Drohne
- Ist die Drohne das Objekt, das eine Kreisbahn zieht ?



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (3/2)

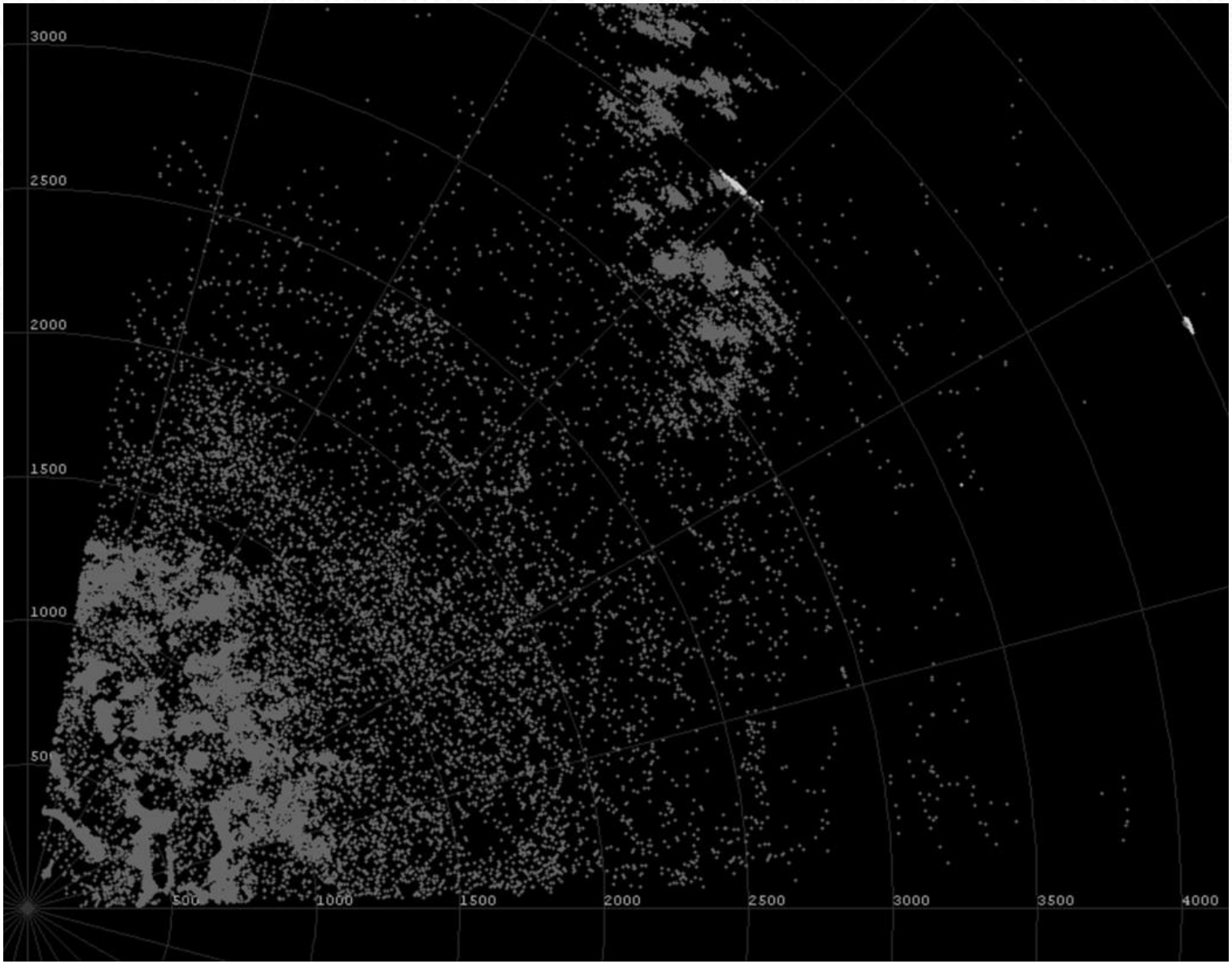
- Langzeit Ziel-Szenario
- **Klassifizierte Darstellung** von assoziierten Plots und Tracks
- Vögel (hellblau) und eine Drohne (in gelb)
- das kreisende Objekt ist also keine Drohne, sondern ein Vogel, der offen-sichtlich auf etwas lauert.



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (4/1)

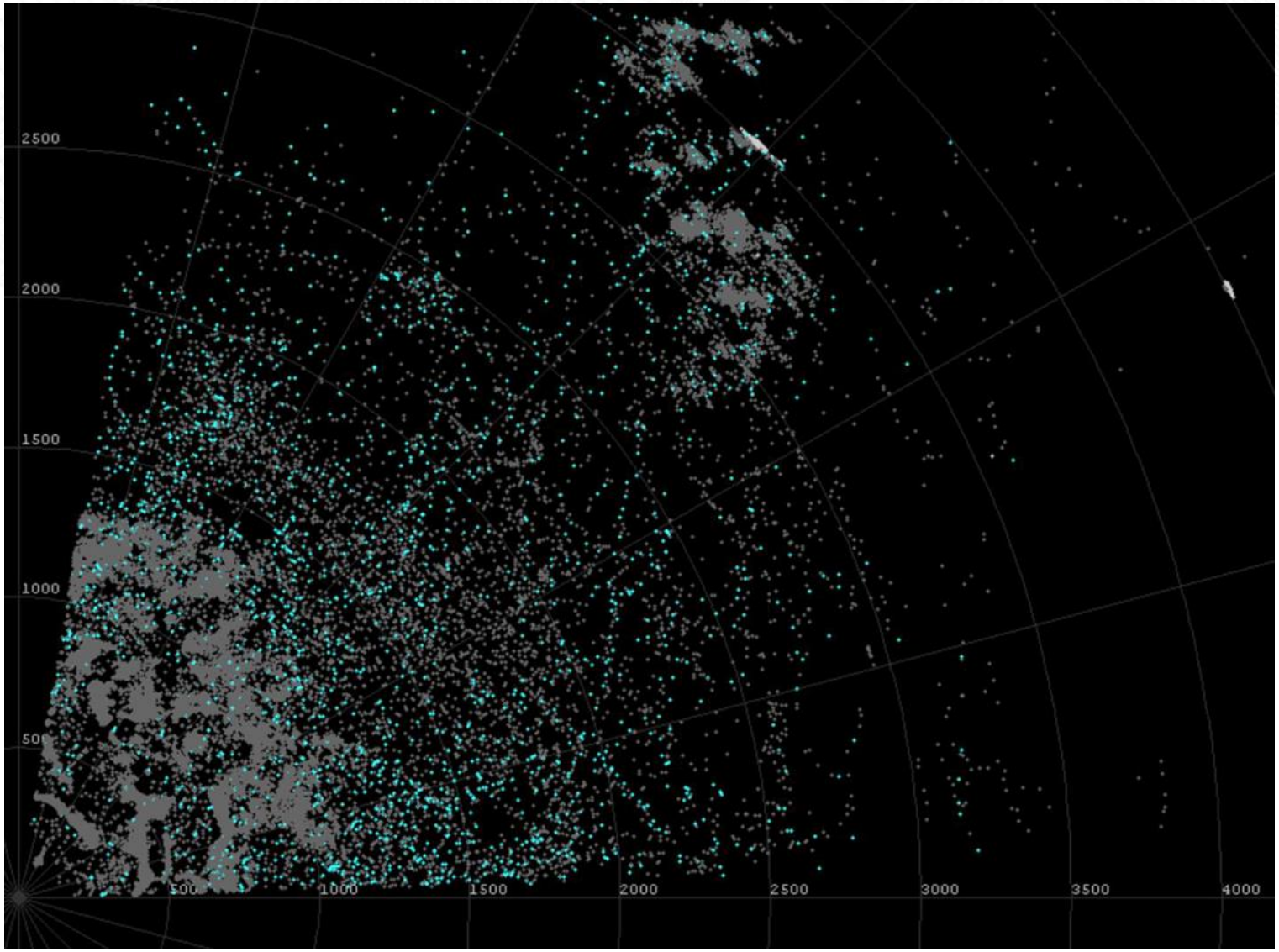
- Langzeit Ziel-Szenario
- Nur Vögel und eine Drohne über Wald und Wiesen
- Nur Plots dargestellt
- Radar konfiguriert bis RCS = 0,001m²



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (4/2)

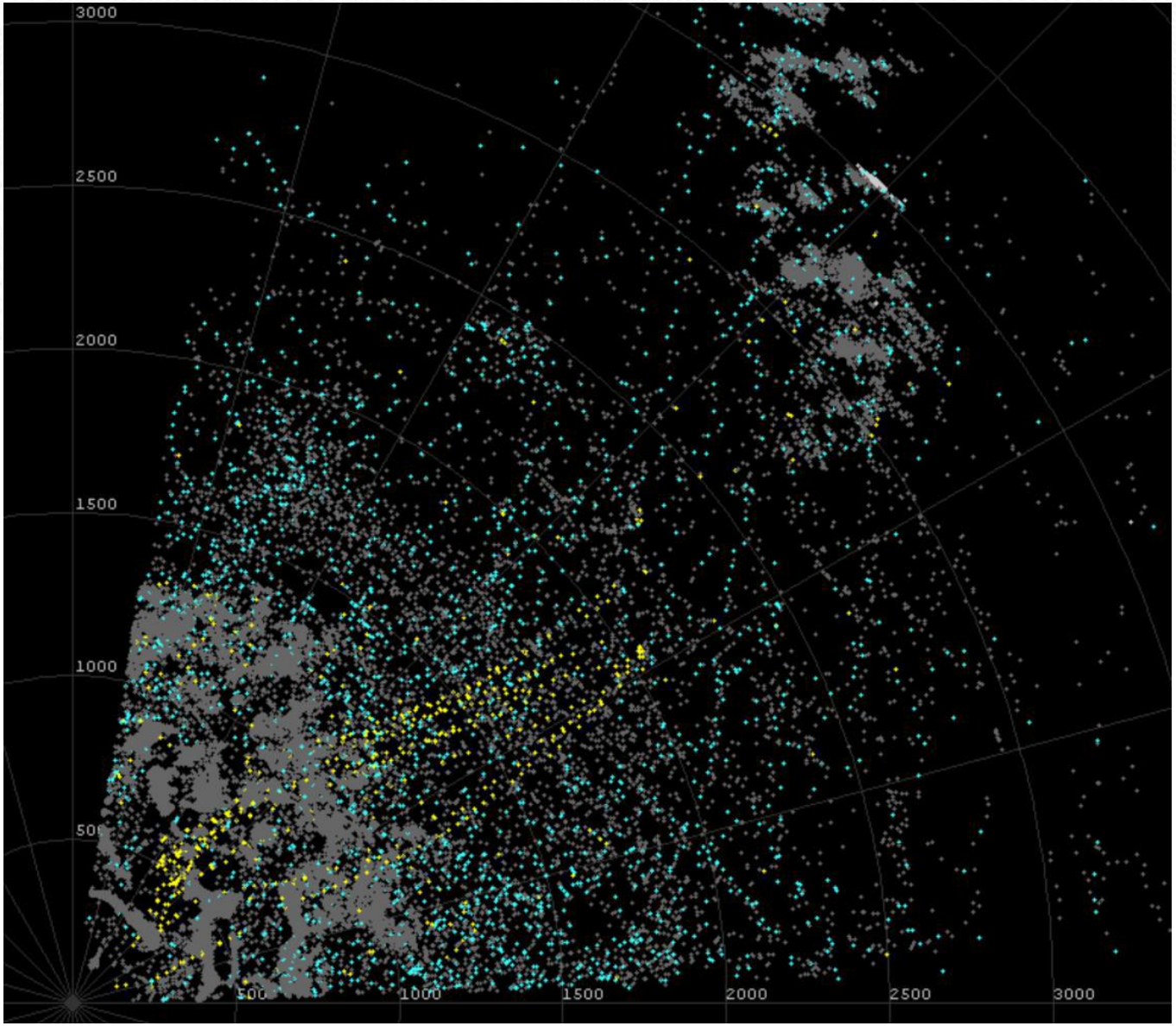
- Langzeit Ziel-Szenario
- Nur Vögel und eine Drohne über Wald und Wiesen
- Nur Plots mit Vogel-Klassifikation (in hellblau) dargestellt
- Radar konfiguriert bis RCS = 0,001m²



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (4/3)

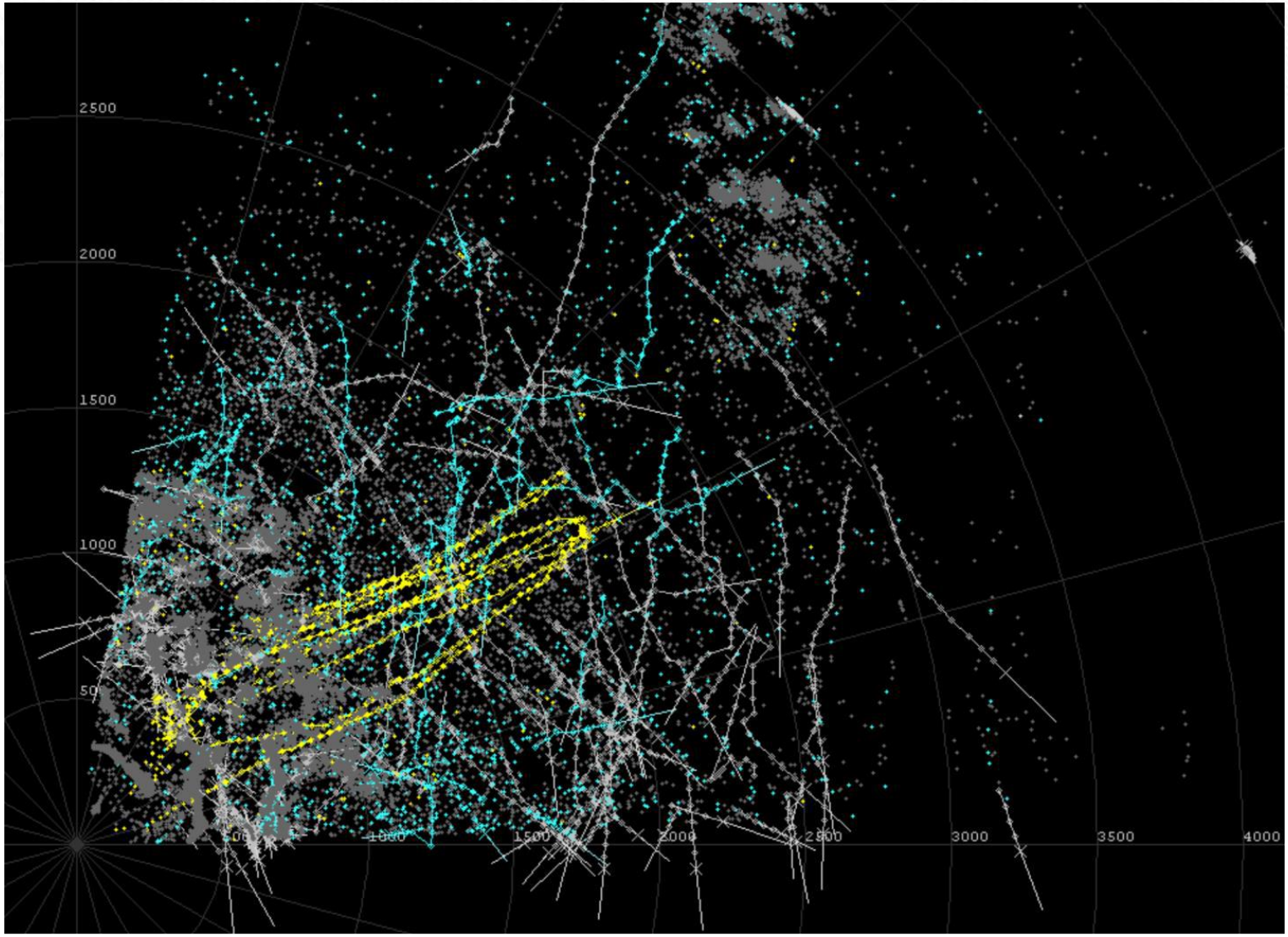
- Langzeit Ziel-Szenario
- Nur Vögel und eine Drohne über Wald und Wiesen
- Alle Plots mit Vogel- (hellblau) und Drohnen- (in gelb) Klassifikation dargestellt
- Radar konfiguriert bis RCS = 0,001m²



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (4/4)

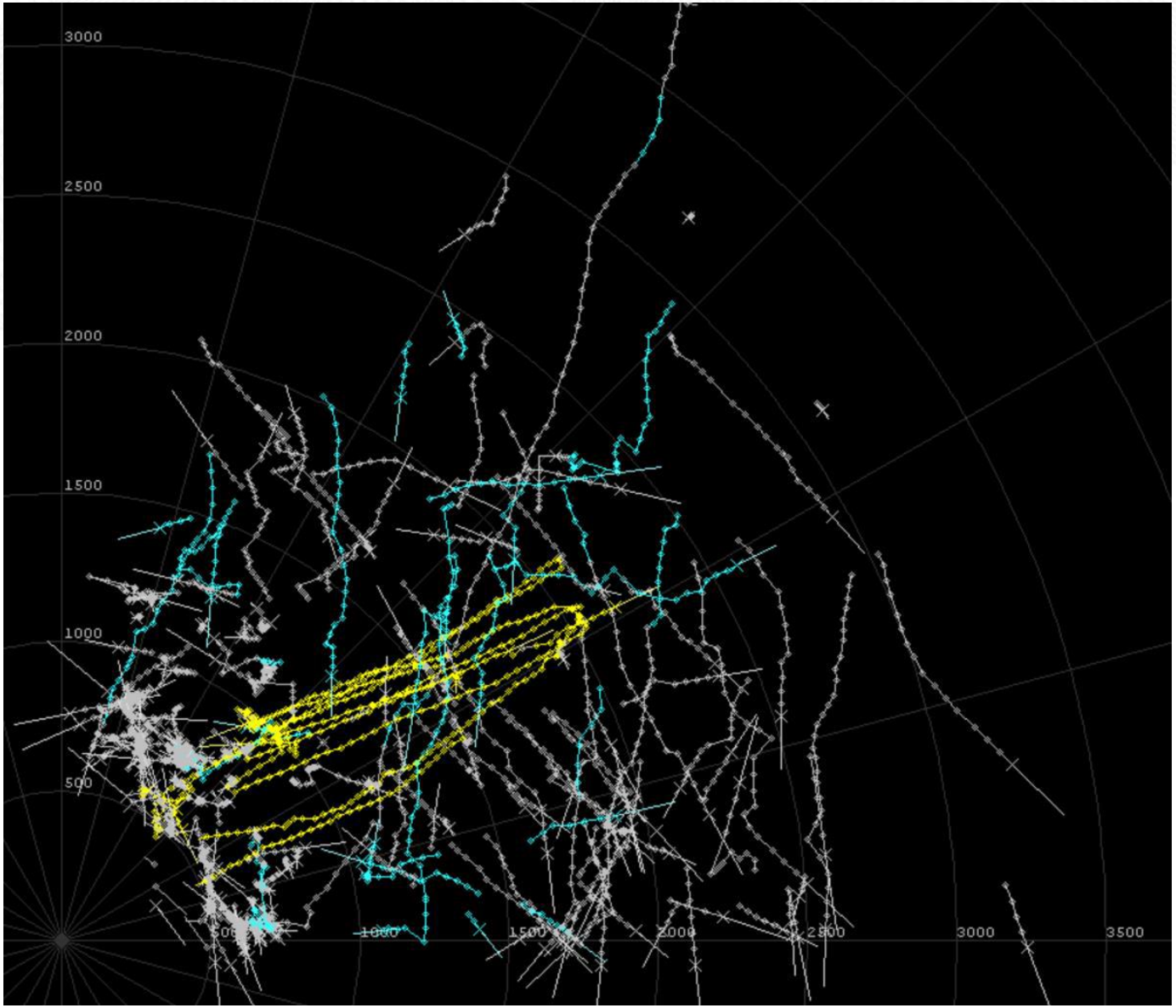
- Langzeit Ziel-Szenario
- Nur Vögel und eine Drohne über Wald und Wiesen
- Plots und Tracks mit Vogel- (in hellblau) , Drohnen- (in gelb) und Unbekannt- (in weiß) Klassifikation dargestellt
- Radar konfiguriert bis RCS = 0,001m²



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (4/5)

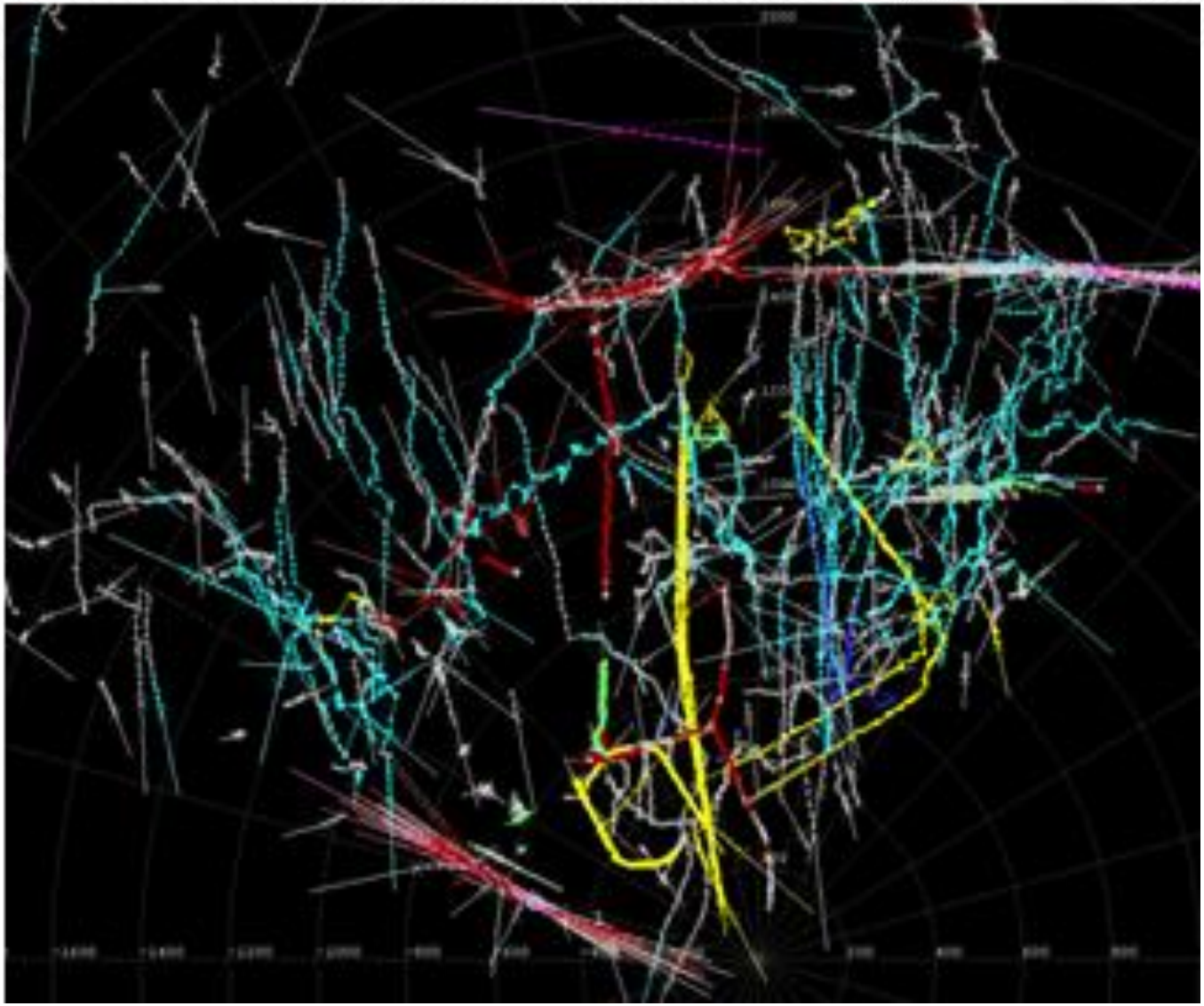
- Langzeit Ziel-Szenario
- Nur Vögel und eine Drohne über Wald und Wiesen
- Nur Tracks mit Vogel- (in hellblau) , Drohnen- (in gelb) und Unbekannt- (in weiß) Klassifikation dargestellt
- Radar konfiguriert bis RCS = 0,001m²
- Die Drohne ist sehr gut erkennbar



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Operationelle Ergebnisse (5) Komplexes Zieltyp-Szenario

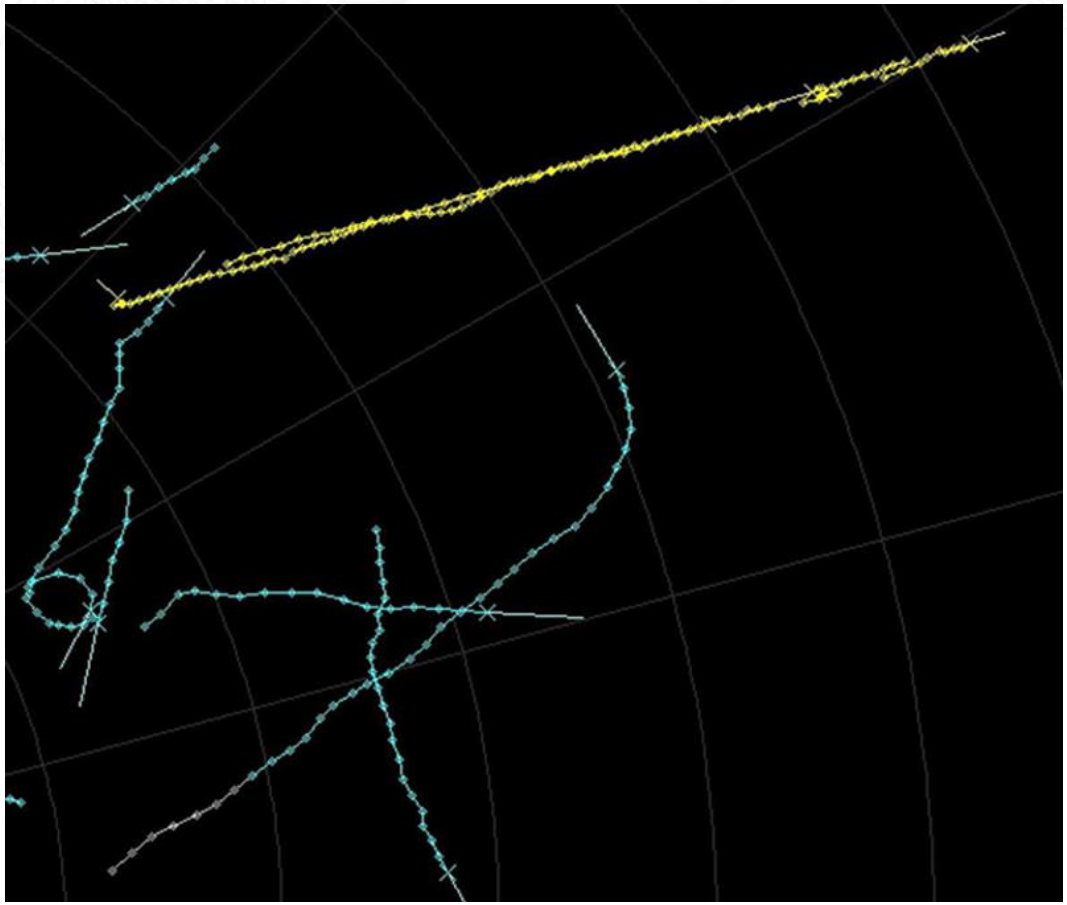
Fahrzeug Fußgänger Flugzeug Drohne Vögel Helikopter



This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Zuverlässigkeit des neuen Verfahrens

Wir betrachten hierzu nicht nur
einen einzelnen Plot,
sondern eine ganze Reihe von Plots
in Form eines Tracks,
einer gesamten Spur :



Zuverlässigkeit der richtigen
Zieltyp-Entscheidung :

64 Punkte FFT :	95-97 %
256 Punkte FFT :	98-99 %

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Fazit und Schlussfolgerungen

- Für die Zieltypen Fußgänger, Fahrzeug, Drohne, Helikopter und Vögel sind aktuell **jeweils** zwischen 36 und 55 Merkmale bekannt.

- Nur wenige (3-4) Merkmale für einzelne Zieltypen werden für eine zuverlässige Zieltyp-Unterscheidung nicht ausreichen. Es sind möglichst viele (>25) Merkmale für eine zuverlässige Klassifikation notwendig.

- Die Anzahl der Merkmale kann für jeden Zieltypus stetig erweitert werden.
  → Zuverlässigkeit des Verfahrens wird in systematischer Weise weiter erhöht.

- Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Kombination des Verfahrens mit Klassifikationsmodellen und ihren Lern- und Trainingsmethoden.

- Zuverlässigkeit der richtigen Zieltyp-Entscheidung : 98-99% bei 256er FFT

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Das Produkt: Der neue Algorithmus im serienreifen Endprodukt

- Träger des Systems : Festinstallation oder Schiff oder geeignetes Fahrzeug (z.B. Kleintransporter).

- System : **Radar**, **Kamera**, **Peiler** und **Jammer**
  mit zwei integrierten Arbeitsplätzen, wobei zur Bedienung des Systems eine Person ausreicht.

- **Radar** (SPEXER2000) zur Überwachung (Detektion), Zielverfolgung (Tracking) und Klassifikation.

- **Kamera** verifiziert Zieltyp (z.B. Drohne) nach Identifizierung durch Radar-Klassifikation.

- **Peiler** ist zuständig für die Aufklärung der Kommunikation zwischen Drohne und deren Betreiber.
  Peiler nutzt den Empfang von Funkwellen zur Bestimmung der Richtung, in der sich das gesuchte Objekt befindet.
  Zwei Peiler : Kreuzpeilung → Richtung von Drohne und Betreiber bestimmen.
  Nur ein Peiler : → nur eine Richtung (Drohne oder Betreiber) bestimmbar.
  Mit Hilfe des Peilers auch festlegbar, welcher Jammer zum Stören geeignet erscheint.

- **Jammer** oder Jamming Station ist ein Störsender,
  stört den Kontakt zwischen Drohne und Bodenstation (Betreiber oder Lenker der Drohne).

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Bekämpfung von Kleindrohnen

- Stellt Drohne Gefahrenpotential dar und wurde Drohne per Radar detektiert und als solche klassifiziert und wurde Klassifikation per Kamera verifiziert
  → Drohne kann und muss unschädlich gemacht werden.

- Drohne kann sehr dynamisch manövrieren → direkter Treffer mit **scharfe**r **Munition** schwierig und problematisch → Verwendung von Air Burst Munition (ABM, in der Luft explodierende Munition), explodiert durch Zerlegerladung in der Luft. ABM explodiert vor oder über dem Ziel ohne Auslösung durch Aufschlagzünder → Zerlegung erzeugt Wolke von Splittern, welche letztendlich die Drohne vernichten soll.

- Drohnen mit **Laser**n bekämpfen. Der Drohnenbeschuss mit Lasern hat den Vorteil, dass bei Beschuss mit Laser im Falle des Vorbeischießens nachjustiert werden kann, irgendwann wird die Drohne schließlich getroffen, während ein Geschoss eben trifft oder auch nicht und für ein neues Geschoss dann wieder nur dasselbe gilt.

- Drohnenbekämpfung mit Jammer erfolgt durch Störung bzw. Unterbindung der Steuerung der Drohne durch den Lenker am Boden.
  → häufig nicht zielführend, wenn die Drohne bereits mit ihrem Auftrag programmiert losfliegt.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Ausblick: Drohnen-Klassifikation – Erkennung von Wing-Drohnen

- Ungeheure Herausforderung : Unterscheidung von Drohne und Vogel vor dem Hintergrund avantgardistischer Wing-Drohnen.
  - Wing – abgeleitet von Flügel bzw. Vogel-Schwinge.
  - Wing-Drohnen haben teilweise keinen Propeller.
  - Fortbewegung beruht auf tatsächlichem Flügelschlag, veranlasst von einem Motor mit Batterie.

- Eine vermutlich heikle Aufgabe : Unterscheidung Wing-Drohnen – Vögel

- Die Identifizierung von Wing-Drohnen bedeutet letztendlich nichts anderes als eine komplette Drohnen-Klassifikation, eine Unterscheidung unterschiedlicher Drohnentypen.

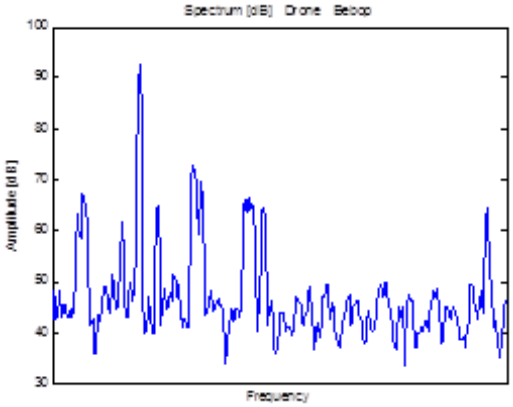
This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Ausblick: Drohnen-Klassifikation – Erkennung von Wing-Drohnen

► Anhand von Spektrum (und Cepstrum) kann unter Umständen auf die Anzahl der Propeller/Rotorblätter einer Drohne geschlossen werden.

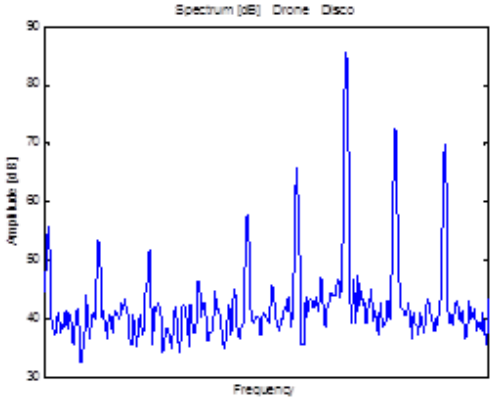
Bebop

4 Propeller mit je 3 Rotorblättern



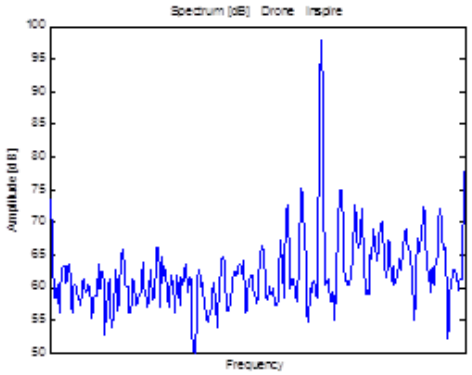
Disco

1 Propeller



Inspire

4 Propeller mit je 2 Rotorblättern



► Es sind zahlreiche weitere Untersuchungen nötig mit dem Ziel
→ komplette Drohnen-Klassifikation inkusive Wing-Drohnen.

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

This document and its content is the property of Airbus DS Electronics and Border Security GmbH. It shall not be communicated to any third party without the owner's written consent. © Copyright Airbus DS Electronics and Border Security 2017. All rights reserved.