

# RADARSIGNATURBEWERTUNG VON AGILEN UND HOCH GEPFEILTEN FLUGZEUGKONFIGURATIONEN

E. Kemptner, G. Rode,  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, 82234 Weßling/Oberpfaffenhofen, Deutschland

## Zusammenfassung

In der Vorentwurfsentwicklung eines signaturarmen UCAVs sind Radarsignatursimulationen unerlässlich. Wegen der hochgepeilten, extrem flachen und leitwerklosen Ausgangsgeometrie treten in der Anflugsituation zumeist nur sehr geringe Radarrückstreuwerte auf. Umso wichtiger ist die Entdeckbarkeit bei UCAV-Orientierungen während des Fluges, bei denen das Radargerät z.B. senkrecht auf eine Tragflügelvorderkante blickt, was einen deutlich erhöhten Radarrückstreuquerschnitt (RCS) zur Folge hat. Daher ist die numerische Berechnung der aus den RCS-Werten per Fluktuationsmodellierung abgeleiteten Radar-detektionswahrscheinlichkeiten entlang einer Trajektorie von entscheidender Bedeutung. Die Notwendigkeit einer Modifikation von dieser könnte ein wichtiges Ergebnis der Radaranalyse sein. Zur Reduktion des Entdeckungsrisikos könnte alternativ oder auch zusätzlich die Anwendung eines radarabsorbierenden Materials auf der UCAV-Oberfläche vereinbart werden, aus Gewichtsgründen jedoch nur an "Radar-Hotspots".

## 1. EINLEITUNG

Die Radarsignatur von Flugkörpern und militärischen Flugzeugen ist für viele Flugmanöver von existentieller Bedeutung. Die Geometrie des im DLR-Projekt FaUSST untersuchten UCAVs war bereits zu Projektbeginn als hoch gepfeilte Stealthgeometrie vorgegeben. Im Projekt wurden zusätzliche Tarnmaßnahmen wie das vollflächige oder partielle Aufbringen von radarabsorbierendem Material untersucht.

Besondere Beachtung wurde der Simulation von Radarrückstreuquerschnitten (RCS) gewidmet. In der Folge wurden mit Hilfe der Fluktuationsmodelle von Swerling Radardetektionswahrscheinlichkeiten für eine vorab festgelegte Trajektorie und gegebene Positionen der Radarstationen berechnet. Diese Einzelpuls-Detektionswahrscheinlichkeiten entlang der Trajektorie sind wesentlich für das Entdeckungsrisiko des UCAVs und sollen zukünftig zur Bewertung von Trajektorien dienen und Flugmanöver mit hohem Detektionsrisiko vermeiden helfen. Die Vorgehensweise kann daher als trajektorienbasierte Radarsignaturanalyse bezeichnet werden. Sie setzt eine vorab erfolgte Simulation des Fluges voraus, da die Roll-Nick-Gier-Winkel für jeden Trajektorienpunkt benötigt werden.

Auch wird ein Geometriemodell der UCAV-Außenhülle für die Anwendung des RCS-Rechenmodells benötigt. Dieses Simulationsprogramm basiert auf der Methode der Physikalischen Optik (PO) und ist um Module zur Simulation von Doppelreflexionen, der Kantenstreuung und der Berücksichtigung von dielektrischen Beschichtungen erweitert.

Die Hauptmotivation stellt also das Bereitstellen von Simulationstools in der Vorentwurfsphase zur Bewertung des Entdeckungsrisikos eines UCAVs durch ein Mikrowellenradar für eine vorab festgelegte Trajektorie dar.

## 2. SIMULATIONSABLAUF

Bild 1 zeigt den grundsätzlichen Ablauf der Simulationskette bis hin zur Einzelpulsdetektionswahrscheinlichkeit. Sowohl als Eingabe- als auch als Ausgabedatei für die Ergebniswerte wird die jeweilige CPACS-Datei genutzt. Diese Datei im XML-Dateiformat wurde im Projekt FaUSST disziplinenübergreifend eingesetzt. Von den Radaringenieuren werden folgende Abschnitte der Datei gelesen, verändert oder ergänzt:

- die Geometrie des UCAVs inkl. Oberflächenmaterial,
- Konfigurationsparameter zum Facettieren der UCAV-Oberfläche,
- die Trajektorie,
- die Ausrichtung des UCAVs an jedem Punkt der Trajektorie (Ergebnisdaten der Flugreglersimulation),
- die radarspezifischen Daten (Frequenz, Standort, ...),
- Konfigurationsparameter für die RCS-Berechnung.

Da die hochfrequenztechnischen Materialeigenschaften von eventuellen Oberflächenbeschichtungen andere Fachdisziplinen des Projekts nicht betreffen, sind diese nicht in der CPACS-Datei gespeichert. Sie sind in einer speziellen Materialdatei enthalten, die im gleichen Ordner wie das eigentliche RCS-Tool abgelegt ist. Durch diese Entkopplung können bei Bedarf die Materialeigenschaften durch die HF-Ingenieure jederzeit geändert werden, ohne projektweite CPACS-Dateien modifizieren zu müssen.

### 2.1. UCAV-Geometrie

Die UCAV-Geometrie wurde im Hauptarbeitsgebiet "Vorentwurf" des Projekts bearbeitet. Simulationsergebnisse mehrerer Fachdisziplinen wurden berücksichtigt und die Basisgeometrie entsprechend modifiziert. Die jeweils aktuelle Version ist in der CPACS-Datei abgelegt.

Das Geometrieformat, das in der CPACS-Datei verwendet wird, aber auch die grundsätzliche Art und Weise, wie die UCAV-Geometrie darin beschrieben ist, ist ungeeignet für die Anwendung des RCS-Tools, das im Projekt FaUSST

zur Anwendung kam (siehe Abschnitt 2.4). Notwendig hierfür ist eine "wasserdichte", also lückenlose, Außenoberfläche, die ausschließlich durch Dreiecke oder ebene Vierecke gebildet wird. Die CPACS-Geometriebeschreibung enthält jedoch keine Oberfläche, vielmehr muss diese erst durch ein geeignetes Geometrietool generiert werden. Zu diesem Zweck wurden Routinen programmiert, die Teil der umfangreichen Geometriebibliothek TIGL sind<sup>[1]</sup>. Einige dieser Routinen wurden genutzt, um aus der CPACS-Geometriebeschreibung ein facettiertes Oberflächenmodell zu erzeugen ("Meshing") und dieses in das vtp-Dateiformat zu exportieren. Ein zusätzlicher Konverter wiederum wandelt anschließend in das proprietäre Punkt-/Panel-CAD-Format (pun-/pan-Dateien), das für das RCS-Tool nötig ist, um.

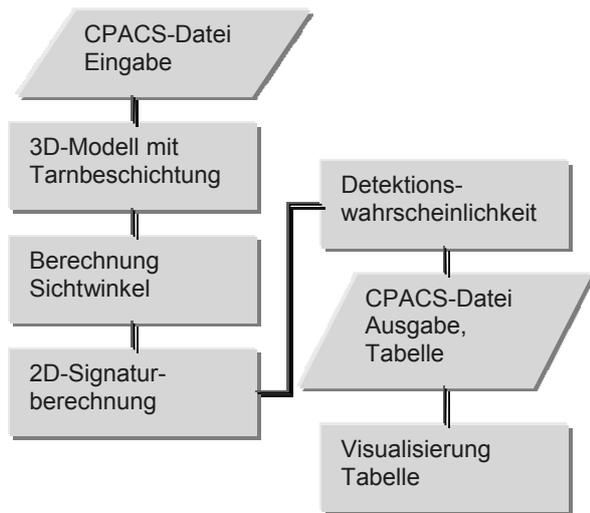


BILD 1. Ablaufplan der Radarsignaturbewertung.

## 2.2. Mögliche Maßnahmen zur Reduktion der Radarsignatur

Bereits die vor Projektbeginn erstellte erste UCAV-Konfiguration war nicht nur aus aerodynamischen Gründen sondern auch radarsignaturbedingt sehr flach und ohne Leitwerke. Sie bestand fast nur aus Abschnitten mit minimaler Krümmung und hat eher scharfe Kanten, die so weit wie möglich parallel orientiert sind. All diese Empfehlungen entstammen der Stealth-Technik bzgl. der Radardetektion und sind seit langem etabliert. Für monostatische Radarsysteme, also solche ohne räumliche Trennung der Radarsende- und -empfangsantenne, ist diese Technik hochwirksam und bewährt.

Eine zusätzliche Technik zur Reduktion der Radarsignatur ist die Verwendung von radarabsorbierenden Beschichtungen (Radar Absorbing Material, RAM), womit eigentlich Materialien gemeint sind, die für elektromagnetische Wellen mit bei Radargeräten üblichen Frequenzen einen geringen Reflexionsfaktor aufweisen. Solche Beschichtungen weisen natürlich auch Nachteile auf, nämlich zusätzliche Kosten, zusätzliches Gewicht und eventuell geringe Lebensdauer wegen Abrasion. Ein Kompromiss ist die eingeschränkte Verwendung eines solchen Materials an wenigen ausgewählten Bereichen, z.B. der Tragflügelvorderkante. In der CPACS-Geometriebeschreibung und den TIGL-Routinen wurde daher die Möglichkeit der Belegung der Oberfläche mit unter-

schiedlichen Materialien an ausgewählten Oberflächenbereichen realisiert.

Die beiden langen Tragflügelvorderkanten, die tatsächlich keine scharfen Kanten sind, bewirken die stärksten Rückstreubeiträge bzgl. eines Radars, das das UCAV im Anflug seitlich sieht. Bild 2 zeigt den 2D-RCS eines unendlich langen Zylinders in Abhängigkeit vom Krümmungsradius. Dieser Zylinder stellt eine grobe geometrische Vereinfachung einer elektrisch langen Tragflügelvorderkante dar. Die Verläufe für 4 Frequenzen, die sich aus der exakten Formel ergeben, und die Kurve entsprechend der PO-Formel, die keine Frequenzabhängigkeit aufweist, sind eingetragen. Verständlich ist, dass mit zunehmendem Krümmungsradius der RCS deutlich ansteigt und die PO-Formel, außer für die kleinste untersuchte Frequenz, eine sehr gute Näherung darstellt.

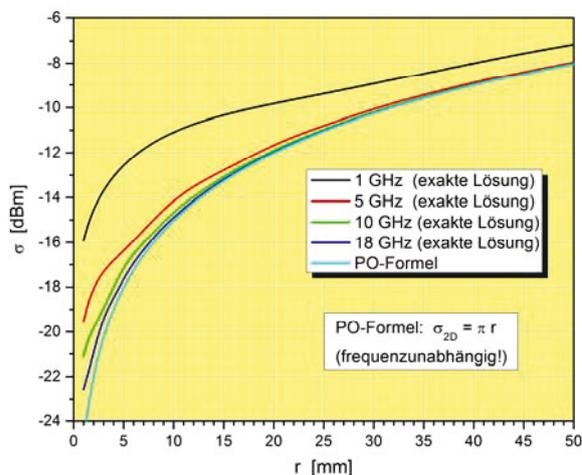


BILD 2. 2D-RCS eines Zylinders.

Eine alternative Möglichkeit zur Reduktion der Rückstreuung am Tragflügelvorderkantenbereich ist die Verwendung eines für Mikrowellen eher transparenten Materials als Außenhülle und das zusätzliche Einbringen eines Mikrowellenabsorbers darunter. Bild 3 zeigt eine Skizze zum grundsätzlichen zweischichtigen Aufbau.

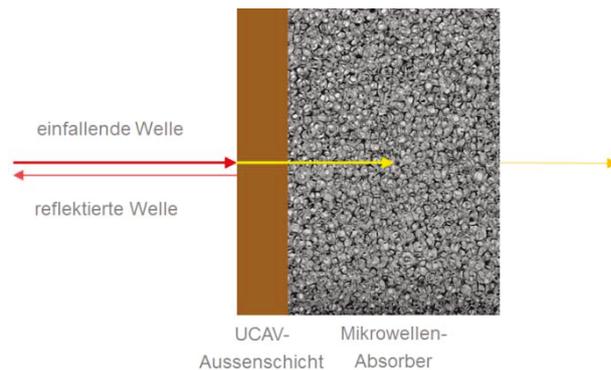


BILD 3. Skizze zum innenliegenden RAM.

In Bild 4 ist die Reflexionsreduktion in Abhängigkeit von der Dicke des innenliegenden Absorbers für 10 GHz gezeigt. Für Absorberdicken über ca. 35 mm zeigen sich für alle 4 untersuchten Außenmaterialschichten annähernd gleiche Dämpfungswerte von ca. 18 dB.

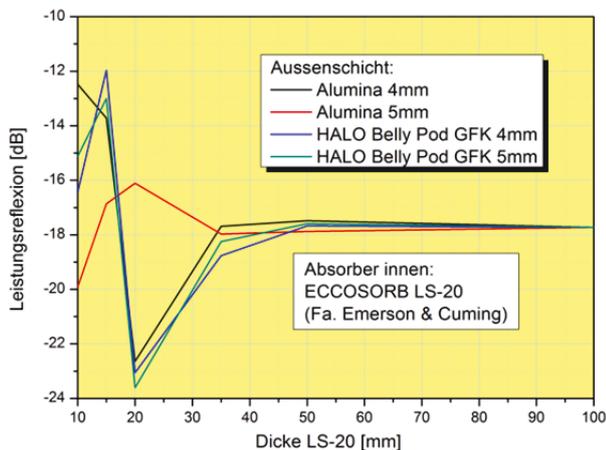


BILD 4. Reflexion an Zweischichtmaterial.

### 2.3. Koordinatentransformation

Um den Effekt konstruktiver Veränderungen oder von Tarnbeschichtungen beurteilen zu können, wird die Detektionswahrscheinlichkeit des UCAVs in Bezug auf eine oder mehrere Radarstationen entlang einer Modelltrajektorie ermittelt. Die geografischen Koordinaten (Länge, Breite, Höhe) aller Radarstationen sind mit weiteren gerätespezifischen Parametern (siehe 2.5.1) in der CPACS-Datei verzeichnet.

Dort befindet sich auch eine Liste der geografischen Trajektorienkoordinaten der UCAV-Schwerpunkte mit deren Zeitmarken sowie der zugehörigen Gier-, Nick- und Rollwinkel. Dabei ist zu beachten, dass sich der Gierwinkel hier auf geografisch Nord bezieht.

Zur Bestimmung des Radarrückstreuquerschnitts muss die Orientierung des Flugobjekts zur Radarstation berechnet werden. Dazu werden die geografischen Koordinaten zuerst in das kartesische Koordinatensystem umgerechnet. Dann wird ein Dreieck am Ort der Radarstation errichtet, bei dem die z-Richtung  $z_{RS}$  zum UCAV-Schwerpunkt zeigt und die x-Richtung  $x_{RS}$  horizontal zur Erdoberfläche liegt. Ein zusätzliches Dreieck wird am Ort des UCAVs errichtet, wobei die z-Richtung  $z_U$  durch den Schwerpunktvektor bestimmt wird und die y-Achse  $y_U$  nach Osten zeigt. Dieses Dreieck wird dann durch Quaternionen um  $z_U$  (Gierwinkel),  $y_U$  (Nickwinkel) und  $x_U$  (Rollwinkel) gedreht. Durch anschließendes Verdrehen des UCAV-Dreiecks auf jenes der Radarstation lassen sich so die Vordrehwinkel bestimmen, um die das 3D-Modell des Flugobjekts für die Verwendung mit SIGMA gedreht werden muss.

### 2.4. Tool zur Berechnung von RADAR-Rückstreuquerschnitten

Zur Berechnung von elektromagnetischen Streufeldern und somit von Radarrückstreuquerschnitten von künstlichen Objekten wurden in der Vergangenheit unterschiedliche Methoden entwickelt. Eine exakte Berechnung ist unmöglich. Unterschiedlich aufwändige numerische Verfahren können genutzt werden, wobei mit Aufwand insbesondere Rechenzeit und Arbeitsspeicher gemeint sind. Den gravierendsten Einfluss darauf hat die elektrische Größe des Radartargets, also des UCAVs. Dies ist das Verhältnis von der Objektgröße, bzw. der Größe von Objektteilen zur Wellenlänge des zu berücksichtigenden Radarfrequenzbereichs. Ist dieses Verhältnis deutlich größer als 1, so ist das Streuverhalten

der optischen Reflexion und Streuung sehr ähnlich. In diesem Fall kann ein deutlich vereinfachtes Streumodell, nämlich die Physikalische Optik (PO) angewendet werden, ohne dass die Genauigkeit der Modellierung zu sehr leidet. So werden z.B. Objektteile, die im optischen Schattenbereich des Targets liegen, für die Berechnung entfernt. Für das aktuelle Projekt wurde daher diese Methode ausgewählt.

In dem beim DLR entwickelten Simulationsprogramm SIGMA, das die PO nutzt, sind zusätzlich ein Doppelreflexionsmodul, ein Modul zur verbesserten Modellierung der Kantenstreuung und ein Modul zur Anwendung von Fresnel'schen Reflexionsfaktoren für nichtmetallische Oberflächenbeschichtungen integriert.

Voraussetzungen für die Anwendung von SIGMA ist ein Geometriedatensatz im bereits erwähnten Punkt-/Panel-Format, eine Materialdatei, falls die Objektoberfläche nicht vollständig ideal leitend ist, sowie mehrere Konfigurationsparameter wie u.a. die Frequenz bzw. der Frequenzbereich, die Polarisation der Welle und deren Einfallrichtung. Die Module zur Doppelreflexion und zur verbesserten Kantenstreuung können gezielt aktiviert oder deaktiviert werden.

### 2.5. Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeit

#### 2.5.1. Statische Ziele

Bei normalverteiltem Rauschen lässt sich die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) der niederfrequenten Hüllkurve durch eine Rayleigh-Funktion beschreiben [2]:

$$(1) \quad p_{Rayleigh}(r) = \frac{r}{U_N^2} e^{-\frac{r^2}{2U_N^2}}$$

Die Detektionsschwelle wird im Allgemeinen so gesetzt, dass die Falschalarmwahrscheinlichkeit, gegeben durch die schraffierte Fläche dieser Funktion (vgl. Bild 5), einen akzeptablen Wert nicht überschreitet.

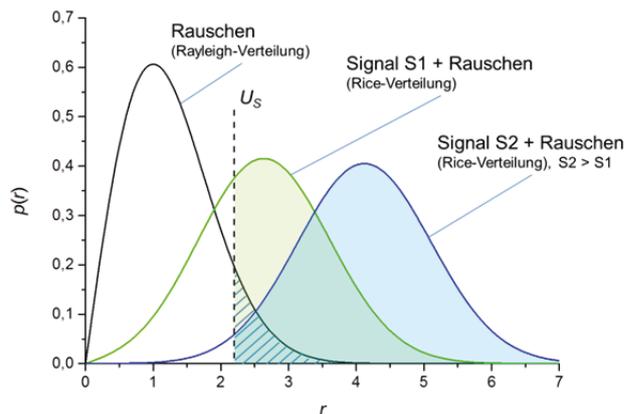


BILD 5. Falschalarm- und Detektionswahrscheinlichkeit bei verrauschten Signalen [3].

Die WDF eines verrauschten Signals kann durch eine Rice-Verteilung wiedergegeben werden [2]:

$$(2) \quad p_{Rice}(r) = \frac{r}{U_N^2} e^{-\left(\frac{r^2}{2U_N^2} + \frac{S}{N}\right)} \cdot I_0\left(\sqrt{\frac{S}{N}} \cdot \frac{r}{U_N}\right)$$

Die Detektionswahrscheinlichkeit entspricht dann dem eingefärbten Bereich der Rice-Funktion oberhalb der

Detektionsschwelle (vgl. Bild 5) und ist somit abhängig von der Falschalarmwahrscheinlichkeit. Das Signal-Rausch-Verhältnis S/N wird durch die bekannte Radar-gleichung bestimmt:

$$(3) \frac{S}{N} = \frac{P\tau A_{eff}^2 L}{4\pi N k_B T \lambda^2} \cdot \frac{\sigma}{R^4},$$

wobei

- $k_B$  1.3806504 · 10<sup>-23</sup> [J/K],
- $T$  absolute Temperatur [K],
- $R$  Zielentfernung.

Die übrigen Geräteparameter müssen in der CPACS-Datei für jede der Radarstationen angegeben werden:

- $P$  Senderspitzenleistung [MW],
- $\tau$  Pulsdauer [µs],
- $A_{eff}$  Effektive Antennenapertur [m<sup>2</sup>],
- $L$  Verluste [dB],
- $N$  Rauschzahl [dB],
- $\lambda$  Wellenlänge [m].

### 2.5.2. Fluktuierende Ziele

Bei sich bewegenden komplex aufgebauten Objekten, die groß im Vergleich zur Wellenlänge sind, kommt es selbst bei kleinen Aspektwinkeländerungen zu starken Schwankungen des Radarrückstreuquerschnitts, bedingt durch die Interferenz weit auseinander liegender Streuzentren<sup>[4]</sup>. Daher müssen in (2) und (3) auch die Rückstreuwerte aus einem Bereich um den eigentlichen Aspektwinkel betrachtet werden. Dazu wird mittels SIGMA eine 2D-Verteilung der RCS-Werte um den betrachteten Aspektwinkel bestimmt. Bild 6 zeigt als Beispiel eine solche zweidimensionale RCS-Verteilung der FaUSST-Stealthgeometrie über den gesamten Winkelbereich. Auffällig sind die extrem geringen RCS-Werte im Bereich um  $\varphi = 180^\circ$  und  $\theta = 90^\circ$ , also wenn das Radargerät auf die UCAV-Spitze blickt. Auch für davon etwas abweichende  $\varphi$ -Werte (Blick seitlich) und etwas geringere  $\theta$ -Werte (Blick etwas von unten) steigen die RCS-Werte nur geringfügig.

Eine Möglichkeit zur Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeit besteht darin, eine (möglicherweise gewichtete) numerische Integration von (2) unter Verwendung dieser Verteilung vorzunehmen<sup>[2]</sup>.

Aus Effizienzgründen verwenden wir bei unseren Berechnungen eine etwas andere Vorgehensweise, die auf Swerling<sup>[5]</sup> zurückgeht: aus den berechneten RCS-Werten wird ein Histogramm gebildet. An dieses werden nach dem Levenberg-Marquardt-Verfahren statistische Grundgesamtheiten angepasst. Gegenwärtig sind dies die Chiquadrat-Verteilungen<sup>[4]</sup>

$$(4) p(\sigma) = \frac{m}{\Gamma(m)\sigma_{av}} \left(\frac{m\sigma}{\sigma_{av}}\right)^{m-1} \exp\left(-\frac{m\sigma}{\sigma_{av}}\right), \sigma > 0$$

mit  $m = 1$  (Exponentialverteilung, Swerling Modell 1) und  $m = 2$  (Rice-Verteilung, Swerling Modell 3), optional auch zusätzlich die Lognormal-Verteilung

$$(5) p(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s_d} \exp\left\{-\frac{1}{2s_d^2} \left[\ln\left(\frac{\sigma}{\sigma_m}\right)\right]^2\right\}, \sigma > 0,$$

wobei

- $m$  Formparameter,
- $\sigma_{av} = \rho \cdot \sigma_m$  mittlerer RCS,
- $s_d = \sqrt{2 \ln \rho}$  Standardabweichung von  $\ln(\sigma/\sigma_m)$ ,
- $\sigma_m$  Median von  $\sigma$ .

Anhand des Chiquadratwertes wird die beste Anpassung ermittelt. Als Ergebnis werden der mittlere Rückstreuquerschnitt  $\sigma_{av}$  und  $m$  bzw.  $-\rho$  gespeichert. Konvergiert keine der Anpassungen, wird das letzte Ergebnis erneut abgespeichert.

Zur Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeiten werden die Algorithmen von Shnidman<sup>[6]</sup> verwendet, der zusätzlich zur Behandlung der Swerling-Fälle auch eine Näherungslösung für den Lognormal-Fall angibt.

Die maximale Detektionswahrscheinlichkeit, die eine Radarstation ermittelt, wird zusammen mit dem korrespondierenden Ereigniszeitpunkt in der CPACS-Datei eingetragen und steht danach Projektpartnern für eigene Tools zur Verfügung.

### 2.6. Visualisierung der Simulationsergebnisse und Ausgabe

In der Testphase ist eine übersichtliche und schnelle Darstellung der Simulationsergebnisse von großem Nutzen. Unerwünscht hohe Radardetektionswahrscheinlichkeiten könnten beispielsweise eine Änderung der Trajektorie notwendig machen, eine erneute Radarsimulation wäre anschließend nötig. Aus diesem Grund wurde eine Ergebnisvisualisierung programmiert, die rasch und übersichtlich auf eventuelle Konstellationen aufmerksam macht, die sich ungünstig auf das Detektionsrisiko auswirken. Bild 7 zeigt das Visualisierungsfenster für eine beispielhafte Radarsimulation. Zu erkennen sind die stark unterschiedlichen Radardetektionswahrscheinlichkeitswerte entlang der Trajektorie.

Bild 8 zeigt den Einfluss einer Beschichtung der Flügelvorderkante mit einem radarabsorbierenden Material auf die Detektionswahrscheinlichkeit. Die Modelltrajektorie führt aus größerer Entfernung in die Nähe einer Radarstation. Dort beschreibt der Flieger einen Kreis, bevor er auf demselben Weg wieder zurückfliegt. Die gestrichelten Kurven geben den Verlauf für das unbeschichtete Flugzeug wieder, die durchgezogenen Linien zeigen den Effekt der Beschichtung. Deutlich ist zu sehen, dass die Beschichtung beim Anflug zu einer Reduktion des Radarrückstreuquerschnitts um knapp 10 dB führt. Die Verringerung der Detektionswahrscheinlichkeit ist ebenfalls im Zeitbereich von 5700 s bis 6600 s deutlich zu erkennen.

### 3. DISKUSSION

Bei dem Programm zur Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeit wird gegenwärtig nur die Einzelpulsdetektion betrachtet, so dass nicht zwischen Swerlingfall 1 und 2 bzw. Swerlingfall 3 und 4 unterschieden wird. Eine Betrachtung mehrerer Pulse würde zu einer Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses führen. Das Programm dient jedoch hauptsächlich zur Veranschaulichung der RCS-Charakteristik und zur Beurteilung der Auswirkung konstruktiver Veränderungen, als auch zur Identifikation kritischer Flugmanöver im Hinblick auf bestimmte Trajektorien. Aus diesem Grund wird auch eine Wechselwirkung mit der Umgebung nicht betrachtet, obwohl diese durch verschiedene Effekte wie Abschattung, Pattern Propagation Factor bei niedrigen Flugbahnen, Ducting

oder Clutter erheblichen Einfluss auf die tatsächliche Detektionswahrscheinlichkeit hat. Eine Berücksichtigung dieser Effekte würde die Komplexität des Programms erheblich steigern und die Bedienung stark erschweren.

#### 4. AUSBLICK

Im DLR-Nachfolgeprojekt sind Untersuchungen zum Einfluss von Steuerklappen auf die Detektionswahrscheinlichkeit geplant. Um das Generieren eines komplett neuen Paneeldatensatzes wegen jeder Klappenstellungsänderung zu vermeiden, wird eine Parametrisierung des Einflusses angestrebt. Ansonsten würde die Rechenzeit der Radarsimulation überproportional ansteigen.

In der CPACS-Datei sind die Trajektorienpunkte und Flugzeugwinkel mit einem 10-Sekunden-Abstand vorgegeben. Dieser Zeitabstand ist für Radarsysteme zu grob. Das Programm wird gegenwärtig erweitert, um kritische Trajektorienbereiche automatisch zu identifizieren und für diese Abschnitte über geeignete Interpolationsverfahren Zwischenwerte zu errechnen.

Bewertungskriterien zum Detektionsrisiko für solche Bereiche und für die gesamte Trajektorie sollen ebenfalls untersucht werden.

#### 5. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] M. Litz, A. Bachmann, M. Kunde, "TIVA Geometric Library," <http://code.google.com/p/tigl/>
- [2] A. Ludloff, Praxiswissen Radar und Radarsignalverarbeitung, Vieweg, Braunschweig-/Wiesbaden 1998.
- [3] B. Huder, Einführung in die Radartechnik, Teubner, Leipzig 1999.
- [4] M. Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, Singapur 1981.
- [5] P. Swerling, "Probability of detection for fluctuating targets," in Information Theory, IRE Transactions, vol.6, no.2, pp.269-308, April 1960.
- [6] D. Shnidman, Evaluation of Probability of Detection for Several Target Fluctuation Models, Report ESD-TR-75-109, Lincoln Laboratory, MIT Lexington, MA, USA, 1975.

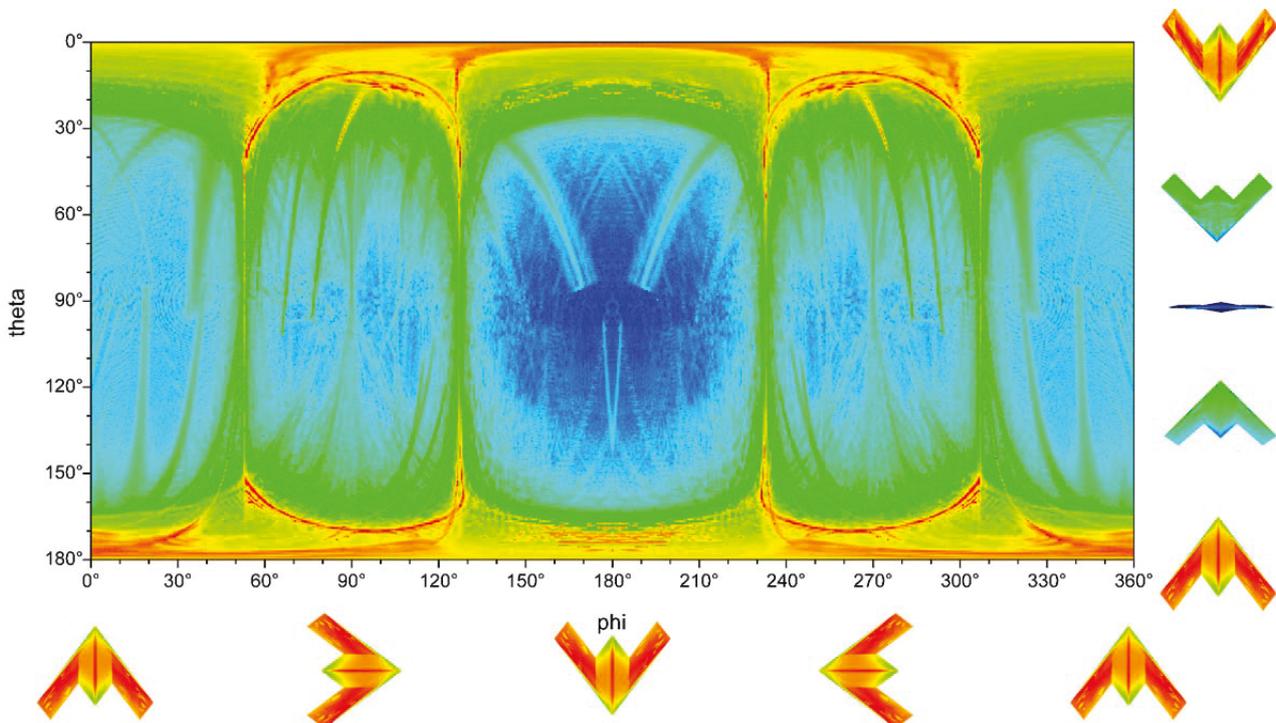


BILD 6. Durch SIGMA berechnete zweidimensionale RCS-Verteilung der FaUSST-Stealthgeometrie. Die Höhe eines RCS-Werts entspricht seiner Farbtemperatur.

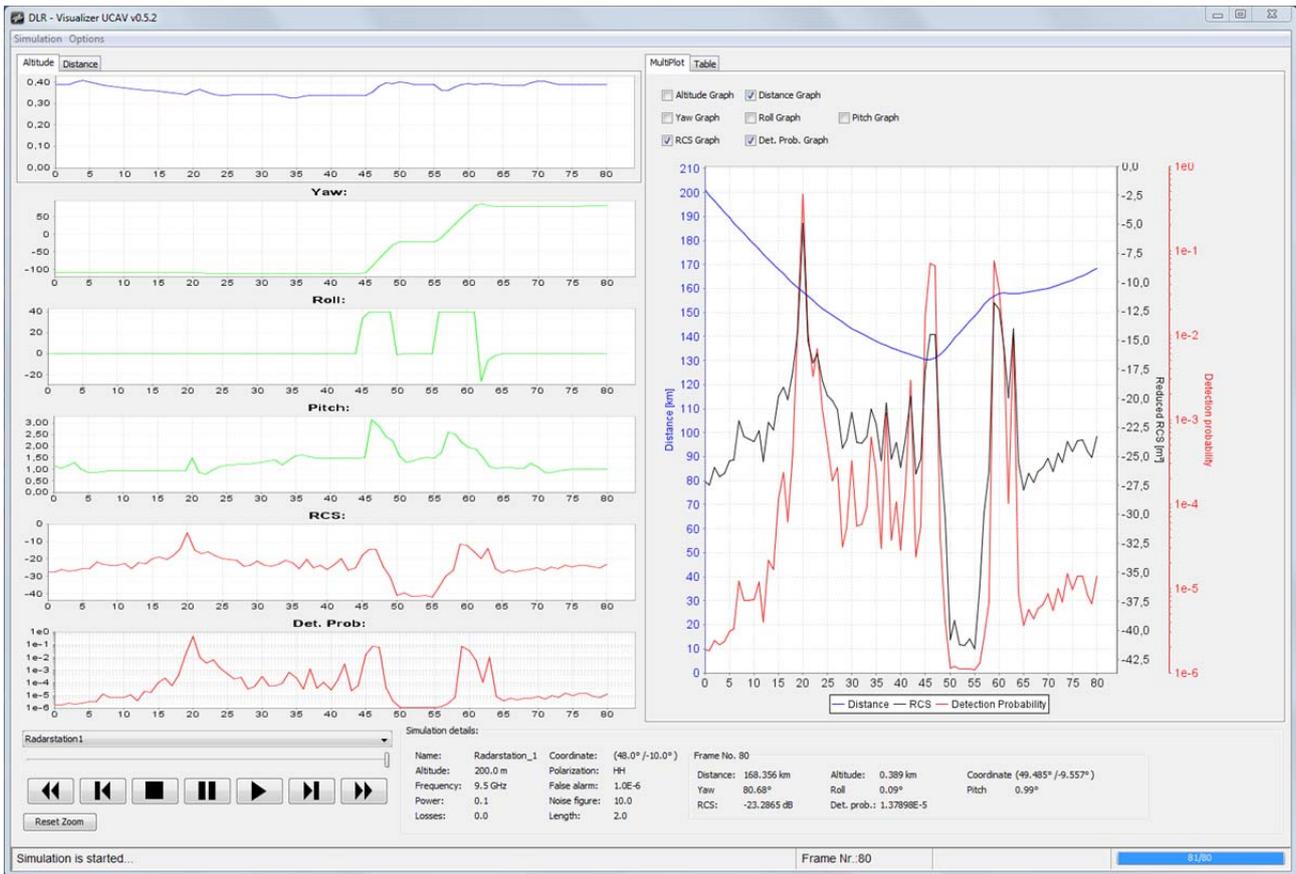


BILD 7. Benutzeroberfläche des Werkzeugs zur Auswertung der Radarsimulationen entlang vorgegebener Trajektorien.

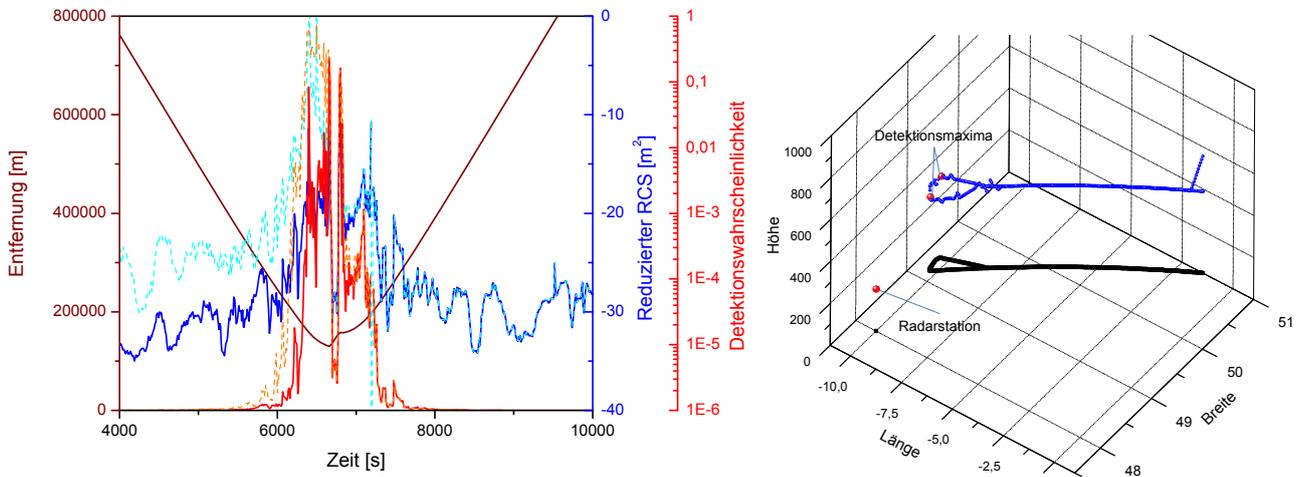


BILD 8. Einfluss einer radarabsorbierenden Teilbeschichtung auf den Radarrückstreuquerschnitt und auf die Detektionswahrscheinlichkeit (blaue und rote Kurven im linken Diagramm). Auf der rechten Seite ist ein Ausschnitt der zugehörigen Trajektorie zu sehen.