



# Forschungsprogramm 1 Aufklärung und Überwachung

## Technologische Trends in der Radartechnik

Der vollständige Artikel ist in der W + T Broschüre „Technologies and the Future of Warfare“ veröffentlicht (2017, Editor Dr. Quentin Ladetto).

Dr. Peter Wellig  
Leiter Forschungsprogramm  
armasuisse W + T  
Feuerwerkerstrasse 39  
CH-3602 Thun  
+41 58 468 28 10  
[Peter.Wellig@armasuisse.ch](mailto:Peter.Wellig@armasuisse.ch)



Radarsysteme sind für heutige moderne Armeen unverzichtbar. Nur mit Radargeräten lassen sich weitentfernte Flugzeuge, Marschflugkörper oder Artilleriegeschosse zeitgerecht bei Tag und Nacht und bei jedem Wetter erfassen. Die Bedeutung steigt stetig an, da markante Technologiefortschritte Verbesserungen und neue Möglichkeiten erlauben. Rotierende Antennen gehören schon bald der Vergangenheit an und werden durch Antennen mit elektronisch gesteuerter Strahlschwenkung ersetzt. Sogenannte Multifunktionssysteme werden mehrere Aufgaben gleichzeitig erfüllen können. Satellitensignale lassen sich künftig nutzen, um unauffällig die Umgebung nach Bedrohungen abzusuchen. Intelligente Kleinsysteme werden auf Minidrohnen und Fahrzeugen eingesetzt. Dies sind nur einzelne von vielen zukünftigen Varianten. Die Frage, ob die Systeme dann immer noch als Radarsysteme bezeichnet werden, lässt sich nicht eindeutig beantworten. Der vorliegende Artikel thematisiert die Technologiefortschritte und stellt die neuen Möglichkeiten vor.

Das Radarprinzip, d.h. die Ortung eines Ziels basierend auf elektromagnetischen Wellen, stösst sowohl in zivilen wie auch militärischen Anwendungen auf grosses Interesse. Im zivilen Umfeld hat in den letzten Jahren die Automobilindustrie einen Technologieschub zu modernen radarbasierten Abstandssensoren ausgelöst. Aufgrund des grossen Bedarfs und der Massenproduktion sind heutzutage sehr günstige Komponenten erhältlich.

Wichtige Kenngrössen militärischer Systeme sind grosse Reichweite, Genauigkeit und Resistenz gegenüber Störungen. Gewollte Störungen des Gegners, z.B. von elektromagnetischen Störsignalen oder

Täuschmitteln gilt es zu unterdrücken, damit die eigentlichen Ziele trotzdem fehlerfrei erfasst werden. Eine weitere Fähigkeit ist die korrekte Klassifizierung, d.h. das Radargerät sollte erkennen, ob es sich um ein Flugzeug, einen Helikopter, eine Drohne oder ein Fahrzeug des Gegners handelt oder nicht.

### Technologiefortschritte bei Schlüsselkomponenten

Zur Generierung und Verarbeitung der hochfrequenten Signale bedarf es diverser Schlüsselkomponenten. Solche Komponenten sind beispielsweise schnell anzusteuern Signalfilter und rauscharme Signalverstärker. Die Signalfilter dienen zur Filterung der Nutzsignale und zur Verbesserung der Signalqualität und die rauscharmen Verstärker zur Weiterverarbeitung sehr schwacher, weit zurückgestreuter elektromagnetischer Wellen. Diese und weitere Hochfrequenzbauteile auch aus dem Bereich der Telekommunikation erreichen aufgrund besserer Halbleitermaterialien (z.B. Gallium-Nitrid-Technologie [1]) zunehmend bessere Kennwerte, was letztlich die Reichweite und die Leistungsfähigkeit verbessert.

Von Vorteil ist es, die Signale digital zu erzeugen und zu verarbeiten. Ultraschnelle Analog-Digital- und

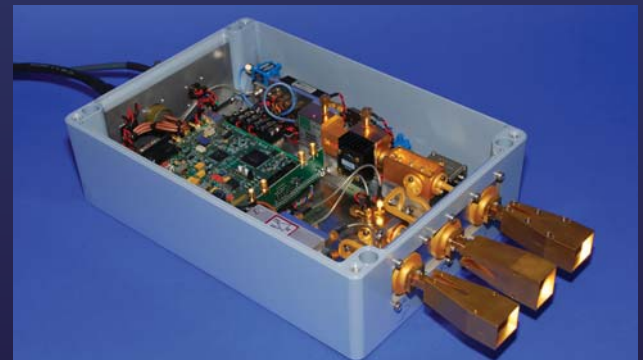


Abbildung 1: Ein frequenzmoduliertes Dauerstrich-Radar-System des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik. Die Betriebsfrequenz liegt bei 94 GHz. Die Hochfrequenzkomponenten sind kompakt integriert.

Digital-Analog-Signalwandler werden stetig hinsichtlich Geschwindigkeit und Auflösung verbessert. Dies erlaubt eine Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandlung des Radarsignals direkt bei der Antenne, wodurch die Vorteile der Digitalisierung optimal genutzt und die Funktionalitäten *software defined* werden [2].

Schnelle Speichermedien mit grossen Speicherkapazitäten und leistungsstarke digitale Signalprozessoren entsprechen weiteren Schlüsselkomponenten. Das zukünftige Radargerät besitzt ein Gedächtnis und eine Intelligenz, d.h. Informationen der Umgebung und der Ziele werden über eine lange Beobachtungszeit ausgewertet und gespeichert [3]. Hinzu kommt, dass die volle Digitalisierung, die hochkomplexen Algorithmen, die grosse Anzahl von anzusteuernenden Komponenten wie auch die geforderte Multifunktionalität massive Rechenleistungen beanspruchen werden. Der allgemeine Technologietrend zu besseren Speichermedien und schnelleren Signalprozessoren bewirkt deshalb auch bei Radarsystemen einen Technologieschub.

### Antennen: Intelligent und komplex

Rotierende Antennen werden bereits heute durch aktive Phased-Array-Antennen (*Active Electronically Scanned Array AESA*) ersetzt, bei denen die Strahlschwenkung elektronisch durchgeführt wird. Die Basis bilden sehr viele kleine Sende-Empfangseinheiten, die durch eine Kontrolleinheit angesteuert werden. Mit der sogenannten digitalen Keulenformung (*digital beamforming*) lassen sich gleichzeitig mehrere Strahlen und Strahlrichtungen realisieren. Dies ermöglicht die gleichzeitige Ortung von vielen kleinen oder weit entfernten Zielen. Die simultane Überwachung von Luft- und Bodenzielen inkl. Artillerieaufklärung, die Erfassung des Wetters

und in Zukunft vermutlich auch die neu integrierte Datenkommunikation beschreiben nur einige Aspekte der neuen Multifunktionalität zukünftiger AESA-Systeme. In der Literatur [4] werden die Multifunktionssysteme als *Radio Frequency-Systeme* bezeichnet und der Begriff Radar entfällt.

Eine andere vielversprechende Antennentechnologie stammt ursprünglich aus der Datenkommunikation. Systeme mit sogenannten MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) Antennen strahlen gleichzeitig verschiedene Sendesignale aus, was eine gute räumliche Auflösung über einen grossen Azimutwinkelbereich ermöglicht. MIMO-Radarsysteme zeigen zudem eine robuste Unterdrückung der Störsignale auf [5].

### Frequenzbenutzung im Zusammenspiel mit mobiler Datenkommunikation

Der Bedarf der mobilen Datenkommunikation an grösseren Datenkapazitäten steigert das Interesse an Frequenzbändern, welche auch von Radarsystemen benutzt werden können. Das stellt eine grosse Herausforderung dar, da die verschiedenen Systeme sich nicht stören sollten. Ein kritischer Frequenzbereich befindet sich zwischen 2 – 6 GHz. Die Forschung visiert eine Koexistenz an, d.h. die Benutzung des gleichen Frequenzbandes durch Radarsysteme und mobile Datenkommunikation ohne gegenseitige Störung [6]. Aktuell lassen sich Forschungsanstrengungen in diesem sogenannten RADCOM (Radar und Kommunikation) Bereich erkennen. Der MIMO-Ansatz entspricht hierbei der einen Forschungsrichtung. Ein anderer Forschungstrend betrifft das sogenannte kognitive Radargerät, welches verstärkt die Umweltbedingungen und das elektromagnetische Spektrum analysiert und fortlaufend eine optimierte Anpassung der Parameter durchführt.

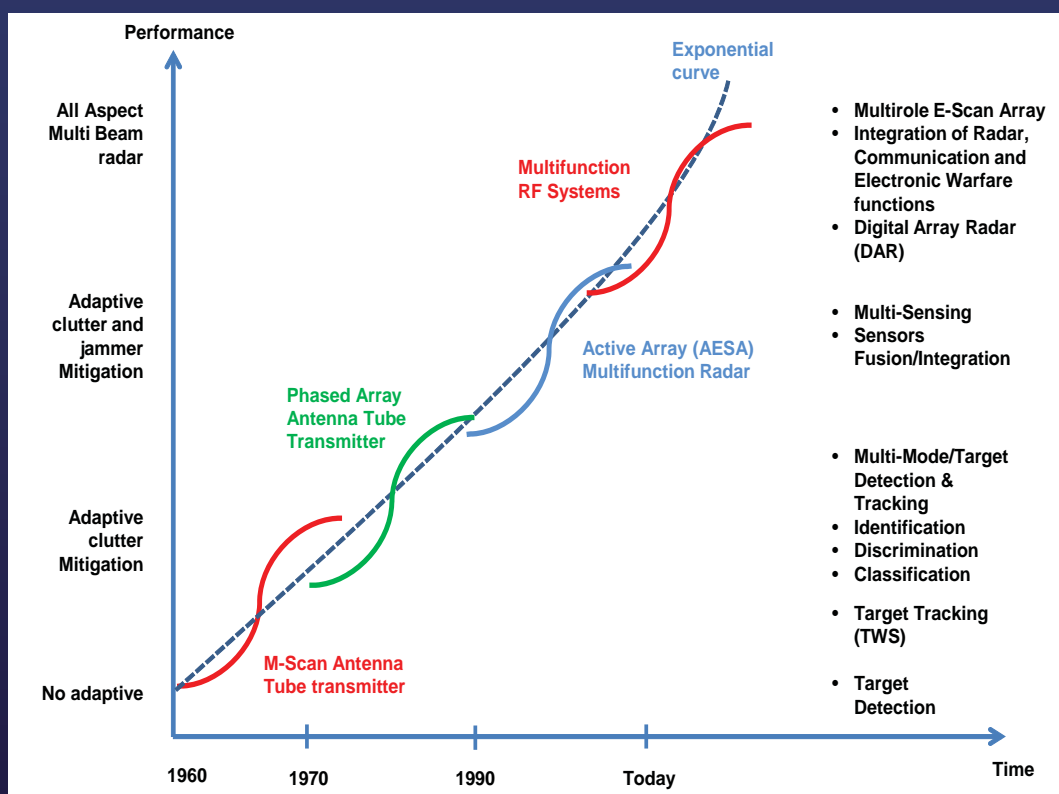


Abbildung 2: Die Weiterentwicklung der Radartechnologie in Form als S-Kurven dargestellt [4].

## Das unsichtbare Radargerät

Radarsysteme lassen sich relativ einfach orten, da die ausgesendeten elektromagnetischen Wellen auch vom Gegner erfasst werden. Das ist ein Grund, warum das Interesse an passiven Systemen stetig steigt. Ein Passivradarsystem entspricht einer hochmodernen und sensiblen Empfangseinheit, welche die bereits vorhandenen Rundfunksignale (z.B. FM, DAB, DVB-T) zur Detektion bzw. zur Beleuchtung von Flugzielen verwendet. Man spricht auch vom bistatischen Fall, da Sender und Empfänger örtlich getrennt sind. Eine Ortung des Passivradarempfängers basierend auf elektromagnetischer Strahlung ist somit praktisch unmöglich.

Das Potenzial heutiger Passivradarsysteme wurde in den letzten Jahren erfolgreich demonstriert. Die Systeme weisen eine hohe Technologiereife auf; einem operationellen Einsatz bzw. einer Kommerzialisierung steht prinzipiell nichts im Wege [7, 8]. Beispielsweise zeigt das Passivradargerät im Gegensatz zu aktiven Systemen gute Eigenschaften zur Detektion von tieffliegenden Flugzielen [9] oder für die Überwachung von Tälern auf.

Die Erweiterung des bistatischen Prinzips auf mehrere Sender und mehrere getrennte Empfänger lässt sich in der Forschung beobachten und betrifft auch eher traditionellere Radarfrequenzen. Man spricht von multistatischen (aktiven) Systemen [10]. Damit könnten Luftziele aus verschiedenen Richtungen erfasst werden, was eine bessere Ortung erlaubt. Herausforderungen widerspiegeln sich in der hochgenauen Synchronisation der verschiedenen Sende- und Empfangseinheiten sowie in der Datenverarbeitung in diesem Netzwerk.

## Drohnerdetektion - eine grosse Herausforderung

Kleindrohnen werden zunehmend zu einer ernsthaften Bedrohung und deren Anzahl wird in den nächsten Jahren durch verstärkte Flugautonomie und Massenproduktion weiter zunehmen. Infolge kostengünstiger Miniaturisierung der Hochfrequenzkomponenten, z.B. durch Silizium-Germanium-Halbleitertechnologie, werden zukünftige Kleindrohnen mit sehr kleinen Radargeräten ausgestattet werden, was autonome Flüge im urbanen Gelände oder Schwarmmissionen erlauben wird.

Auf der anderen Seite ist die Detektion und Bekämpfung von kleinen Drohnen (<30 kg) äusserst schwierig. Aufgrund der kleinen Grösse der Flugobjekte, des tiefen Fluges über dem Boden und der grossen Anzahl möglicher Falschziele wie Vögel stossen heutige Radarsysteme für die Boden-Luft-Aufklärung an ihre Grenzen. In der Forschung sind zahlreiche Ansätze sichtbar um trotzdem eine automatische Ortung und eine robuste Zielzuweisung zu erreichen. Ein vielversprechender Ansatz nützt die Messung der typischen Flugbewegungen aus. So ermöglicht die gemessene Verschiebung der Mikrodopplerfrequenz [11] zwischen dem ausgesandten und empfangenen Signals die Unterscheidung einer Drohne von einem Vogel aufgrund der Rotorbewegung bzw. des Flügel-schlages. Ein anderer Ansatz basiert auf der Weiterentwicklung von kognitiven Prinzipien und digitaler Keulenformung zum sogenannten holographischen Radargerät. Eine lange Beobachtungszeit und eine



Abbildung 3: Messung des Radarrückstreuquerschnittes der Drohne Skywalker X-8 FPV in der echofreien Messkammer von armasuisse / Wissenschaft und Technologie © VBS/DDPS.

intelligente Verteilung der Strahlrichtungen erlauben eine vertiefte Analyse von Dopplerfrequenzen und somit eine verbesserte Detektion und Klassifikation von Kleindrohnen. Im Nahbereich (<2 km) verspricht ein Multisensoransatz, d.h. eine Kombination aus günstigem Radarsensor mit anderen Sensoren (z.B. Wärmebildkameras, Mikrofone oder Detektoren für Funkaufklärung) die besten Chancen für einen erfolgreichen Einsatz.

Abbildende Radarsysteme werden wie Videokameras eingesetzt, jedoch tageslichtunabhängig auch bei Regen und Wolken sowie aus einer grossen Distanz

Einen markanten technologischen Fortschritt erwartet man auch für abbildende Systeme (*Synthetic Aperture Radar* SAR). SAR-Systeme werden auf Drohnen, Flugzeugen und Satelliten eingesetzt. Sie sind für die Bildaufklärung (*Imagery Intelligence* IMINT) von grossem Interesse, da die Bilder der Erdoberfläche zu jeder Tageszeit (Tag/Nacht) auch bei Wolken, Nebel und Regen erstellt werden können. Im Gegensatz zu visuellen Bildern hängt die geometrische Auflösung der SAR-Bilder nicht von der Abbildungsdistanz ab. Je nach Wahl des Schrägsichtwinkels, Flughöhe, Sendeleistung und Frequenzbereiches können sehr grosse Abbildungsdistanzen mit sehr guter Bildqualität erreicht werden.

Die Generierung von scharf fokussierten Bildern aus den erfassten Radarechos ist äusserst rechenintensiv. Heutige SAR-Systeme zeigen bereits Echtheitseigenschaften auf, jedoch nicht für höchste Bildauflösungen und nicht im georeferenzierten Format. Durch gesteigerte Rechenkapazitäten auf Drohnen und Flugzeugen wird die Forderung nach höchster Auflösung und Echtzeitfokussierung (*video-like SAR*) zunehmend besser erfüllt.

Die Auswertung der SAR-Bilder ist sehr aufwändig, da sie sich nicht wie visuelle Aufklärungsaufnahmen interpretieren lassen. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Bildauswertung sind eine gute Bildauflösung, eine scharfe Bildfokussierung, eine gute radiometrische Qualität, d.h. wenig Bildrauschen, Referenzbilder bzw. Referenzdaten und ein geübter Auswerter. Infolge von Fortschritten bei Hochfrequenzkomponenten, Antennentechnologie, Algorithmen und Signalprozessoren sind markante Verbesserungen der Bildauflösung bis in den Milli-



meterbereich zu erwarten [13].

Die Auswertung wird zusätzlich verbessert, bzw. Ziele werden besser erkannt, indem zukünftig Zusatzinformationen in hoher Qualität und in Echtzeit zur Verfügung stehen werden. Dies sind beispielsweise 3D-Informationen, geschätzte Geschwindigkeitswerte von Fahrzeugen oder die Charakterisierung einer Bodenstruktur auf Basis der Auswertung von Strahlungs- und Streueigenschaften der Oberflächen (polarimetrische Messgrösse). Die technische Realisierung sieht mehrere Antennen und eine massiv parallele Datenverarbeitung vor [14].

Bi- und multistatische Ansätze sind auch bei SAR-Systemen von Interesse. So wurden in der Forschung bereits erfolgreich Empfänger auf Flugzeugen eingesetzt, welche vom Boden rückgestreute Radarwellen eines zweiten SAR-Flugzeuges oder eines SAR-Satelliten erfassen konnten. In Zukunft sind auch kleine Empfänger auf Minidrohnen denkbar. Zu nennen sind zudem die Forschungsanstrengungen zur Verwendung von nicht-SAR Satellitensignalen (z.B. GPS) oder von Rundfunksignalen (DVB-T) für die Bildgenerierung, allerdings nur bei geringer Bildauflösung.

### Verdankung

Der Autor dankt herzlichst den Herren Dr. Hans Pratiso, Dr. Christof Schüpbach und Dr. Hansruedi Bircher von armasuisse / Wissenschaft und Technologie sowie Herrn Dr. Alexander Hommes von dem Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik für die wertvollen Beiträge und Diskussionen zu diesem Artikel.

### Referenzen

- [1] B. Manz, How Far Can We Take GaN Technology?, The Journal of Electronic Defense, März 2015.

- [2] D. Richardson, AESA Radar Technology, armada international, 3/2015.
- [3] A. White, NATO faces up to radar challenges, IHS Jane's International Defence Review, Oktober 2015.
- [4] A. Farina et al., AESA Radar – pan-domain multi-function capabilities for future systems, IEEE International Symposium on Phased Array Systems & Technology, Boston MA, Oktober 2013.
- [5] P. Quaranta, Radar Technology for 2020, MIL-TECH, 9/2016.
- [6] Spectrum Sharing Access for Radar and Communication (SSPARC) Program, DARPA, [www.darpa.mil](http://www.darpa.mil)
- [7] <https://www.hensoldt.net/solutions/land/radar/passive-radar/>
- [8] Homeland Alerter 100, <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/homeland-alerter-100>
- [9] Ch. Schuepbach et al., Micro-UAV Detection using DAB-based Passive Radar, Konferenz IEEE Radar, Mai 2017.
- [10] U. Boeniger et al., WYSIWYG or the more you see the better you get – towards a multistatic C-band radar system, NATO Expertenworkshop SET-231 Multi-Band Multi-Mode Radar, Oktober 2016.
- [11] A. Schroeder et al., Numerical RCS and Micro-Doppler Investigations of a Consumer UAV, SPIE Konferenz Security and Defence, September 2016.
- [12] S.L. Pendergast, Recent Advances in Radar Technology, Aerospace and Defense Channel, Microwave Journal, September 2015.
- [13] M. Frioud et al., Implementation of a fast time-domain processor for FMCW Synthetic Aperture Radar data, SPIE Konferenz Remote Sensing, September 2015.
- [14] Del Castillo et al., L-Band Digital Array Radar Demonstrator for Next Generation Multichannel SAR Systems, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Juni 2015.

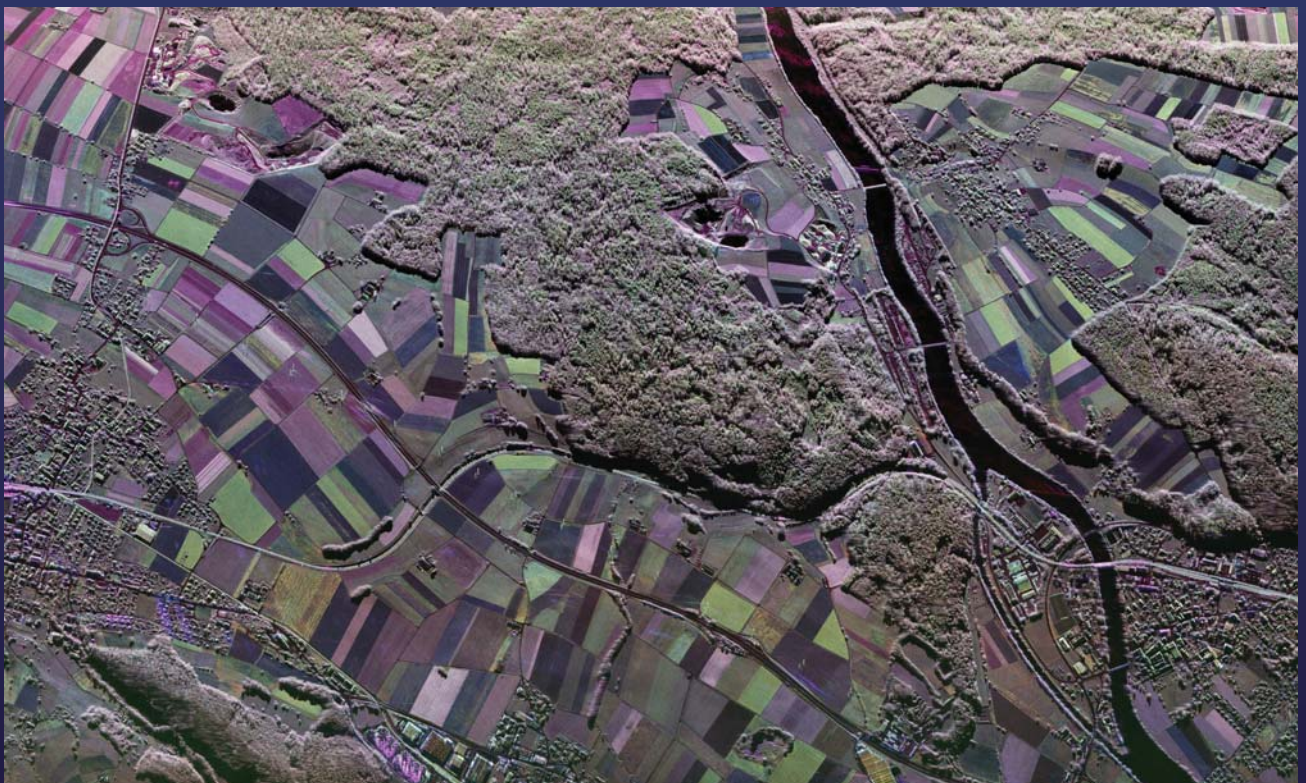


Abbildung 4: SAR-Bild des Gebietes Wangen an der Aare (© VBS/DDPS). Die Farbwahl basiert auf polarimetrischen Radareigenschaften. Das SAR-Bild wurde durch den F-SAR-Sensor des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) erfasst.