

# Radartutorial

Buch 2 „Gerätetechnik“

## **Vorwort:**

Es gibt eine Vielzahl von Radargeräten unterschiedlicher Größe mit verschiedenen Leistungskenngrößen. Einige finden davon in der Flugsicherung auf Flugplätzen Verwendung, andere haben große Reichweiten und werden in der Luftverteidigung als Frühwarnradar genutzt. Auch Raketenleitstationen haben ein Radargerät als Kern. Kleinere mobile Radargeräte, die nur durch eine Person bedient und gewartet werden sind ebenso verfügbar wie Systeme, deren Baugruppen mehrere große Räume füllen. An Bord von Schiffen der Marine und von Flugzeugen werden Multi-Funktionsradargeräte eingesetzt, welche Aufgaben der Waffenleitung und Navigation gleichzeitig erfüllen können. In diesem Buch erhalten Sie einen Überblick über Radargeräte verschiedenster Verwendungszwecke und unterschiedlichster Bauart.

## **Inhaltsverzeichnis:**

Radartutorial .....	1
Vorwort: .....	1
Lernziel: .....	1
Einteilung von Radargeräten .....	2
Imaging Radar / Non-Imaging Radar .....	2
Primärradargeräte:.....	2
Pulsradargeräte .....	3
Pulsradargeräte mit Pulskompression.....	3
Bistatische Radargeräte .....	3
Dauerstrichradar .....	3
Unmodulierte Dauerstrichradargeräte .....	3
Modulierte Dauerstrichradargeräte .....	3
Sekundärradargeräte.....	4
Vergleich Sekundärradar mit Primärradar .....	4
Dauerstrichradar .....	5
Verkehrsüberwachungsradar .....	5
Blockschaltbild CW- Radar .....	6
Frequenzmoduliertes Dauerstrichradar .....	6
Einteilung von Radargeräten nach Verwendungszweck .....	7
Luftverteidigungsradargeräte.....	7
Flugsicherungsradargeräte.....	8
„En Route“ Radargeräte .....	8
Air Surveillance Radar (ASR) .....	8
Präzisions Anflug- und Landeradarsysteme (PAR).....	8
Flugfeldüberwachungsradargeräte .....	8
spezielle Wetterradaranwendungen .....	8
Beispiele für Gefechtsfeldradar .....	9
Feuerleitradargeräte .....	9
Multi- Funktionale Radargeräte .....	9
Multi- Target Tracking Radar .....	9
Artillerieaufklärungsradar.....	9
Unterscheidung nach Frequenzbändern .....	10

## **Lernziel:**

Der Lernende kann die Vor- und Nachteile von Primärradargeräten im Vergleich zu den Vor- und Nachteilen von Sekundärradargeräten nennen.

## Einteilung von Radargeräten

Eine Einteilung von Radargeräten wird in den verschiedenen Nutzungsbereichen nicht einheitlich und nach unterschiedlichen Gesichtspunkten vorgenommen. Hier wird eine Einteilung nach technischen Besonderheiten dargestellt:

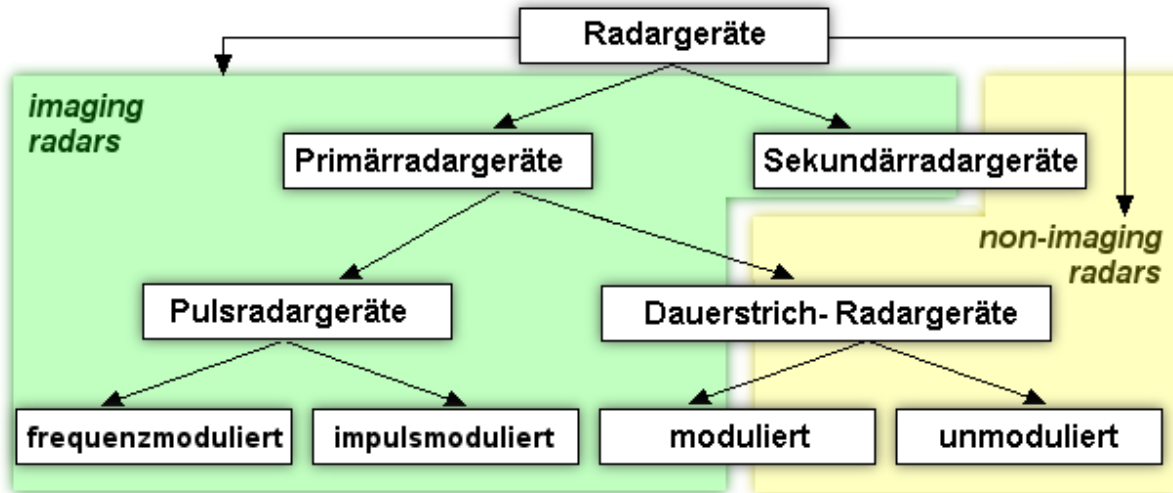


Abb. 1: Einteilung von Radargeräten nach technischen Unterscheidungsmerkmalen

### Imaging Radar / Non-Imaging Radar

Radargeräte können erst einmal grob in zwei Kategorien eingeteilt werden: Bildgebende Radarverfahren (imaging radar) und nicht-bildgebende Radarverfahren (non-imaging radar). Bildgebende Radarverfahren versuchen, aus den empfangenen Informationen ein landkartenähnliches Bild zu berechnen. Klassische Anwendungen sind hier das Wetterradar und die militärische Luftraumaufklärung. Bildgebende Radargeräte werden oft noch nach der Anzahl der zu messenden Koordinaten in 2D-Radargeräten (meist eine Richtung und Entfernung) und 3D-Radargeräte (Entfernung, Richtung und Höhe) unterteilt.

Nicht-bildgebende Radarverfahren stellen ihre Messergebnisse als reinen Zahlenwert zur Verfügung. Anwendungen hierfür sind Radar- Altimeter und Geschwindigkeitsmesser. Im nicht-bildgebenden Sekundärradarverfahren sind Wegfahrsperrn in Fahrzeugen der Oberklasse zu nennen, die auf diesem Wege feststellen, ob sich der Fahrzeugschlüssel im Inneren des Fahrzeuges befindet, oder nicht.

### Primärradargeräte:

Primärradargeräte senden hochfrequente Signale aus, die an Zielen reflektiert werden. Die entstandenen Echos werden empfangen und ausgewertet. Das heißt, Primärradargeräte empfangen im Gegensatz zu Sekundärradargeräten ihre selbst abgestrahlten Signale als Echo wieder. Meist sind Primärradargeräte wie im nebenstehenden Bild mit einem Sekundärradar gekoppelt um die Vorteile beider Geräte zu verbinden.



Abb. 2: Primärradarantenne (Parabolreflektor) mit aufgestockter Sekundärradarantenne (LVA-Antenne: hier die obere breitere Gitterkonstruktion)

## **Pulsradargeräte**

Pulsradargeräte strahlen ein impulsförmiges hochfrequentes Signal hoher Leistung aus. Danach folgt eine längere Pause, in der die Echos empfangen werden können, bevor ein neues Sendesignal ausgesendet wird. Aus Antennenstellung und Laufzeit des Signals können Richtung, Entfernung und ggf. Höhe des Zieles bestimmt werden.

## **Pulsradargeräte mit Pulskompression**

Moderne Radargeräte großer Reichweite mit einem Sender in Halbleitertechnologie nutzen innerhalb des Sendeimpulses eine Frequenzmodulation, um mit einer relativ langen Impulsdauer und geringerer Impulsleistung im Kilowattbereich große Reichweiten bei gutem Entfernungsaufklärungsvermögen zu erzielen. Das klassische Impulsradar benötigt vergleichsweise dazu einen sehr kurzen Sendeimpuls mit extrem großer Impulsleistung im Megawattbereich.

## **Bistatische Radargeräte**

Bei einem bistatischen Radargerät liegt zwischen Sender und Empfänger eine größere Entfernung und meist auch eine größere Azimutabweichung. Es wird also auch dann ein Signal empfangen, wenn durch die Geometrie des reflektierenden Objekts keine oder nur sehr wenig Energie (Stealth- Technologie!) in direkter Richtung eines monostatischen Radars reflektiert wird.

## **Dauerstrichradar**

Dauerstrichradargeräte oder CW- Radargeräte (engl.: Continuous Wave Radar) strahlen ununterbrochen ein Sendesignal ab. Das Echosignal wird ständig empfangen und verarbeitet. Der Empfänger muss nicht unbedingt am gleichen Ort stehen, wie der Sender. Jeder kräftige Rundfunksender kann nebenbei als Radarsender funktionieren, wenn ein entfernter Empfänger die Laufzeiten des direkten mit dem reflektierten Signal vergleicht. Es sind Versuche aus den USA bekannt, dass aus der Auswertung der Signale von drei verschiedenen Fernsehstationen der genaue Standort eines Flugzeuges errechnet werden kann (passives Radar). Eine Sonderstellung nimmt das Rausch-Radar ein. Das Rauschradar oder auch Stealth- Radar arbeitet wie ein Dauerstrichradar mit einem pseudo-rauschmodulierten Signal, das über eine längere Zeit gestreckt wird, sich ständig verändert und eine große Bandbreite besitzt. Mit dem Pulskompressionsverfahren kann trotz der sehr geringen (und vor allem: durch fremde Dienste nicht aufklärbaren) Sendeleistung eine ansehnliche Reichweite erzielt werden.

## **Unmodulierte Dauerstrichradargeräte**

Das Sendesignal dieser Geräte ist in Amplitude und Frequenz konstant. Diese Geräte sind auf Geschwindigkeitsmessungen spezialisiert. Entfernungen können nicht gemessen werden. Sie werden z.B. als Verkehrsmessradargeräte von der Polizei eingesetzt. Neueste Geräte (LIDAR) arbeiten im Laserwellenbereich und messen nicht nur die Geschwindigkeit.

## **Modulierte Dauerstrichradargeräte**

Das Sendesignal ist in der Amplitude konstant, wird aber in der Frequenz moduliert (engl.: Frequency Modulated Continuous Wave Radar). Damit wird die Entfernungsbestimmung nach dem Prinzip der Laufzeitmessung wieder möglich. Aus der Frequenzverschiebung kann dann der Abstand (= Höhe) bestimmt werden. Vorteil dieser Geräte ist, dass eine Auswertung ohne Empfangspause erfolgt und somit das Messergebnis kontinuierlich zur Verfügung steht. Sie werden überall dort eingesetzt, wo die Messdistanz nicht allzu groß ist und es auf eine kontinuierliche, lückenlose Messung ankommt, z.B. bei einer Flughöhenmessung in Flugzeugen oder im Wetterradar als „Windprofiler“.

Ein ähnliches Prinzip wird auch von Radargeräten genutzt, deren Sendeimpuls zu lang ist, um eine gute Entfernungsauflösung zu erzielen. Diese modulieren oft ihren Sendeimpuls zusätzlich, um mit Hilfe der Pulskompression eine Entfernungsbestimmung auch innerhalb des Sendeimpulses zu erreichen.

## Sekundärradargeräte

Bei diesen Radargeräten muss das Flugzeug einen Transponder (Wiedergabesender) an Bord haben und empfängt ein kodiertes Signal vom Radargerät. In dem Transponder wird eine aktive Antwort generiert, die dann ebenfalls kodiert an das Radargerät zurückgesendet wird. In dieser Antwort können dann viel mehr Informationen enthalten sein, als ein Primärradargerät erarbeiten kann (z.B. Flughöhe, Identifizierung oder auch technische Probleme an Bord, wie z.B. Funkausfall... ). Sekundärradargeräte sind in ihrer Funktion nur noch teilweise als Radargerät anzusehen. Mehr und mehr tritt der Radaranteil gegenüber einem bidirektionalen Datenlink in den Hintergrund. Der Begriff „Radar“ wird nur noch aus historischen Gründen angewendet.

## Vergleich Sekundärradar mit Primärradar

### Primärradargerät (PSR)

Das Primärradargerät hat eine wesentliche Eigenschaft: Es arbeitet mit passiven Echos. Die abgestrahlten hochfrequenten Sendeimpulse werden vom Ziel reflektiert und anschließend vom Radargerät wieder empfangen. Direkte Ursache des reflektierten Echos ist also der vom Radargerät ausgesandte Sendeimpuls. Eine aktive Mitwirkung der zu ortenden Objekte ist dazu nicht erforderlich.

### Sekundärradargerät (SSR)

Sekundärradargeräte arbeiten nach einem anderen Prinzip: Sie arbeiten mit aktiven Antwortsignalen. Das Sekundärradargerät sendet zwar ebenfalls hochfrequente Sendeimpulse ab, die sogenannte Abfrage (Interrogation). Diese wird jedoch nicht einfach reflektiert, sondern vom Ziel empfangen und mittels eines Antwortgerätes (Transponder) empfangen und verarbeitet. Dann wird, mit einer anderen Frequenz eine Antwort, das Antworttelegramm erzeugt und abgestrahlt.

Beide Systeme haben auf Grund der unterschiedlichen Prinzipien verschiedene Vor- und Nachteile. Gewinnt man mit dem Primärradar sichere Informationen über Richtung, Höhe und Entfernung der Ziele, so liefert das Sekundärradar noch zusätzliche Informationen, wie Kennung, Identifizierung und zusätzlich zu den GPS-Koordinaten ebenfalls die barometrische Höhe der Ziele. Allerdings ist dazu, wie schon erwähnt, die Mitarbeit des Ziels (Transponder) notwendig. Andererseits kann gerade durch diese aktive Mitarbeit des Ziels eine drastische Reduzierung der Sendeleistung bei gleicher Entfernung erreicht werden, da bei Primärradar diese mit Hin- und Rückweg, bei Sekundärradar aber nur mit Hinweg in die Radargleichung eingeht.

Als Richtwert kann hier ein Faktor  $> 1000$  angenommen werden. Daraus folgt ein erheblich einfacherer, kleinerer und billigerer Sender. Gleichzeitig kann der Empfänger unempfindlicher sein, da die Leistungen der aktiven Antworten höher ist als die der passiven Echos. Nachteilig wirkt sich dieser Umstand jedoch auf den Einfluss des Nebenkeuleneempfangs aus, der durch geeignete Maßnahmen der Nebenkeulenunterdrückung kompensiert werden muss.

$$R \sim \sqrt[4]{P_{PSR}} = \sqrt[2]{P_{SSR}}$$

Abb. 3: Zusammenhang Sendeleistung und Reichweite bei Primärradar (PSR) und bei Sekundärradar (SSR) (Formel gilt, wenn alle anderen Parameter der Radargleichung konstant bleiben.)

Durch die Notwendigkeit, dass alle Komponenten gleichzeitig kommunizieren müssen, ist eine Frequenzänderung bei aktiven Störungen unmöglich. Spezielle Auswirkungen dieser Störungen machen zusätzliche Schaltungsmaßnahmen in den Sekundärradaranlagen notwendig. Das Thema „Sekundärradar“ wird noch ausführlicher in einem eigenen folgenden Abschnitt behandelt.

## Dauerstrichradar

Dauerstrichradargeräte oder CW- Radargeräte (engl.: Continuous Wave Radar) strahlen ununterbrochen ein Sendesignal ab. Das Echosignal wird ständig empfangen und verarbeitet.

Prinzipiell arbeitet in einem Dauerstrichradargerät der Sender ständig und eine Antenne strahlt dieses Signal auch ständig ab. Dabei gibt es zwei grundsätzliche Probleme zu klären:

- Verhindern einer direkten Einstrahlung des Senders in den Empfänger (Mitkopplung),
- Zuordnung der empfangenen Echos zu einem Zeitsystem, um Laufzeitmessungen unternehmen zu können.

Eine direkte Einstrahlung der Sendeenergie in den Empfänger kann durch besondere Bauteile, wie Zirkulatoren und/oder zusätzlich durch

- eine räumliche Trennung der Sendeantenne von der Empfangsantenne, z.B. wird das Flugzeug durch einen starken bodengestützten Sender angestrahlt und der Empfänger befindet sich in der Rakete, die auf das Echo zusteuert, um das Flugzeug zu bekämpfen, und durch
- eine frequenzmäßige Trennung durch die Dopplerfrequenz bei Geschwindigkeitsmessungen

verhindert werden.

## Verkehrsüberwachungsradar

Eine Laufzeitmessung ist beim Dopplerradar für eine Geschwindigkeitsmessung überhaupt nicht erforderlich, da keine Entfernungsbestimmung vorgenommen werden muss.

Ein Radar, das eine unmodulierte Schwingung abstrahlt, kann über den Doppler-Effekt nur die Geschwindigkeit eines Objektes erfassen. Man kann wegen des Fehlens eines Zeitbezuges keine Entfernungen bestimmen oder verschiedene Ziele voneinander unterscheiden.

Dauerstrich- Radargeräte sind stark spezialisiert. Da die zur Messung der Geschwindigkeit genutzte Dopplerfrequenz auch proportional der Wellenlänge ist, arbeiten diese Radargeräte mit sehr hohen Sendefrequenzen im K-Band um eine möglichst gute Genauigkeit und Auflösung zu erzielen. Das gezeigte Traffipax SpeedoPhot der Firma ROBOT Visual Systems GmbH arbeitet zum Beispiel auf der Frequenz 24,125 GHz. Die Geschwindigkeit des ankommenden und/oder abfließenden Verkehrs kann vom Straßenrand aus gemessen und Verkehrsübertretungen fotografisch dokumentiert werden.



Abb. 4: Traffipax SpeedoPhot (ROBOT Visual Systems GmbH)

Da vom Straßenrand aus eine Messung leicht schräg zum fließenden Verkehr erfolgen muss, wird immer nur die Radialgeschwindigkeit gemessen, die stets kleiner oder maximal gleich der Momentangeschwindigkeit des Fahrzeuges ist. Abweichungen der Messwerte sind somit also nur nach unten möglich.

## Blockschaltbild CW- Radar

Einfache CW- Doppler- Radaranlagen werden z. B. nach folgendem Schema aufgebaut:

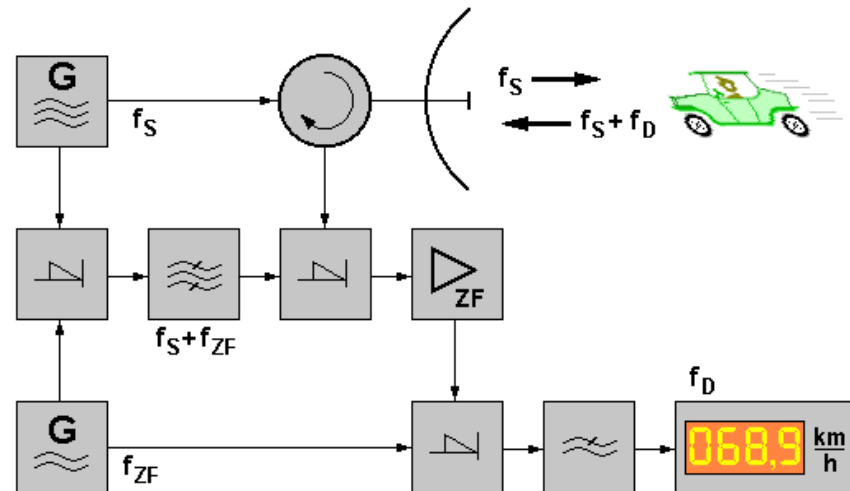


Abb. 5: Blockschaltbild eines einfachen CW-Radars

Die Local- Oszillatorfrequenz für den Superheterodynempfänger wird hier durch eine Mischstufe mit nachfolgendem schmalbandigem Filter erzeugt. Bei diesem Schaltungsbeispiel ist keinerlei Abstimmung der Sendefrequenz notwendig.

## Frequenzmoduliertes Dauerstrichradar

Normalerweise haben Dauerstrichradargeräte den Nachteil, dass sie wegen fehlenden Zeitbezuges keine Entfernung messen können. Ein solcher Zeitbezug zur Messung der Entfernung unbewegter Objekte kann aber mit Hilfe einer Frequenzmodulation (Frequency- Modulated Continuous Wave Radars = FMCW) erzeugt werden. Bei dieser Methode wird ein Signal ausgesendet, welches sich periodisch in der Frequenz ändert. Wird ein Echosignal empfangen, dann hat dieses eine Laufzeitverschiebung wie beim Pulsradar und nun kann durch Frequenzvergleich die Entfernung ermittelt werden. Es ist durchaus denkbar, dass komplizierte Frequenzmuster (wie etwa beim Rausch-Radar) ausgesendet werden, deren periodische Wiederholung höchstens in einer Zeit erfolgt, in der keine mehrdeutigen Echos zu erwarten sind. Doch im einfachen Fall wird nur eine Sägezahn- oder Dreiecksform der Modulation gewählt, die dann allerdings nur einen relativ geringen eindeutigen Messbereich hat.

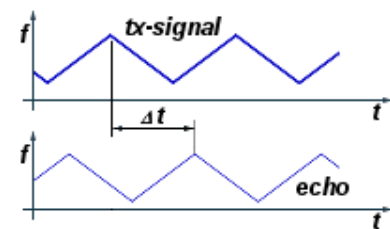


Abb 6: Entfernungsbestimmung durch Laufzeitmessung mit einem FMCW-Radar

Diese Art der Entfernungsermittlung wird z.B. in Flugzeugen als Funkhöhenmesser (Radio- Altimeter) oder bei einem Bodenfolgeradar verwendet, bei dem das Radar eine konstante Flughöhe über dem Grund ermöglicht. Vorteil gegenüber einem Pulsradar ist, dass die Messergebnisse nicht im Taktraster einer Impulsfolgefrequenz, sondern kontinuierlich bereitgestellt werden.

## Einteilung von Radargeräten nach Verwendungszweck

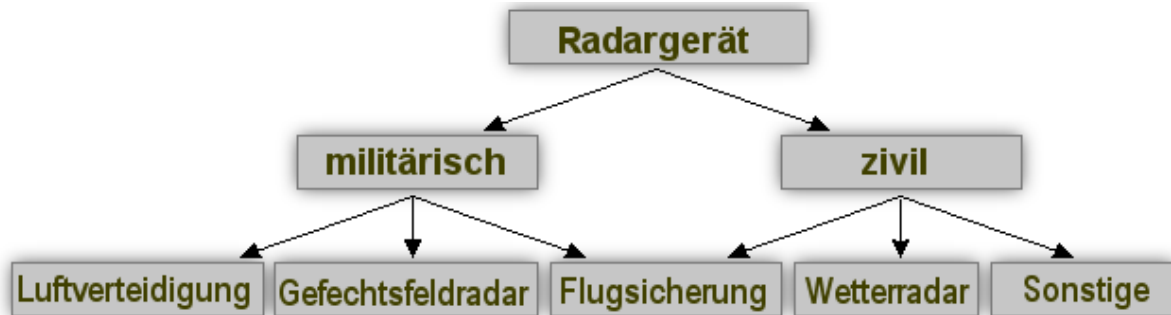


Abb. 7: Einteilung von Radargeräten

Obwohl sich fast jedes zivile Radargerät auch militärisch nutzen lässt und umgekehrt, hat sich diese Unterscheidung im allgemeinen Sprachgebrauch vor allem aus juristischen Gründen durchgesetzt.

### Luftverteidigungsradargeräte

Luftverteidigungsradargeräte orten Flugziele bereits in großer Entfernung und messen deren Position, Kurs und Geschwindigkeit. Die maximale Reichweite von Luftverteidigungsradargeräten kann demzufolge 450 km (und oft mehr!) bei einer vollen 360° Rundumsicht betragen. Man unterteilt sie häufig an Hand der Anzahl der zu messenden Koordinaten in zwei Kategorien. Radargeräte, die nur Entfernung und Seitenwinkel messen, werden als zweidimensionale oder 2D-Radargeräte bezeichnet. Radargeräte, die neben der Entfernung und dem Seitenwinkel auch die Höhe messen, nennt man dreidimensionale oder 3D-Radargeräte.

Luftverteidigungsradargeräte werden in Frühwarnsystemen verwendet, um anfliegende feindliche Flugzeuge und Raketen bereits in großer Entfernung zu orten. Denn nur eine rechtzeitige Alarmierung der Luftverteidigung kann einen Angriff erfolgreich abwehren. Sowohl FLAK (Flugabwehrkanonen, oft auch englisch als Anti- Aircraft Artillery oder „AAA“- Guns bezeichnet) als auch FLARak (Flugabwehrraketen) und Jagdflieger benötigen eine Vorwarnzeit, ehe sie gefechtsbereit sind. Die Entfernungs- und Seitenwinkelinformationen der Luftverteidigungsradargeräte werden dann auch als Zielzuweisung für Zielverfolgungsradar und Waffensysteme verwendet.

Eine andere Funktion von Luftverteidigungsradargeräten ist die Führung der eigenen Jagdflieger in eine Position, von der aus sie ein in den Luftraum eindringendes Flugzeug abfangen können. In diesem Fall werden durch eine Radarführungsabteilung die Abfangflugzeuge über eine Flugfunkverbindung entweder durch gesprochene Kommandos („per voice“) oder mittels einer Datenverbindung für den Instrumentenflug („per link“) geführt.



Abb. 8: Antennendiagramm eines 2D-Radargerätes



Abb. 9: Diagramm eines typischen 3D-Radargerätes, eine Kombination von schneller elektronischer Schwenkung eines Pencil- Beams und mechanischer Drehung



Abb. 9: mobiles 3D-Großraumradar, welches im Jahr 2007 in die Bundeswehr eingeführt werden soll

## Flugsicherungsradargeräte

Häufige Anwendungen von Flugsicherungsradargeräten (im Air Traffic Management „ATM“) sind zum Beispiel:

- „En-route“ Radargeräte
- Air Surveillance Radargeräte
- Präzisions Anflug- und Landeradarsysteme
- Flugfeldüberwachungsradargeräte
- spezielle Wetterradaranwendungen

### „En Route“ Radargeräte

„En Route“ (Luftstraßen-) Radargeräte arbeiten meist im L-Band und sind Radarsysteme bis zu einer Reichweite von etwa 450 km. Sie überwachen den Flugverkehr außerhalb der besonderen Flugplatzbereiche.

### Air Surveillance Radar (ASR)

Luftraumaufklärungsradargeräte werden von den Fluglotsen benötigt, um sämtliche Flugbewegungen in dem ECAC- Bereich (also rund um den Flugplatz) im Überblick zu behalten und den ständig wachsenden Flugverkehr auf eine sichere, ordentliche, schnelle Art sicherzustellen. Üblicherweise arbeiten die ASR im E- Band bis zu einer Reichweite von 60 Nautischen Meilen (ca. 120 km)

### Präzisions Anflug- und Landeradarsysteme (PAR)

Das Präzisions Anflugradar führt das den Flugplatz anfliegende Flugzeug auch unter schlechten Sichtbedingungen sicher zur Landung. Mit dem Radargerät werden Flugzeuge während der letzten Anflug- und Landephase aufgefasst und begleitet. Die Abweichungen von der idealen Anfluglinie werden dem Piloten über Funk entweder als akustische Kommandos oder dem Autopiloten als Steuerimpulse übermittelt.

### Flugfeldüberwachungsradargeräte

Bei Nebel oder schlechter Sicht zeigen Flugfeldüberwachungsradargeräte der Towerbesatzung das gesamte Flugfeld auf einem Bildschirm an. Mit extrem kurzen Sendeimpulsen im Nanosekundenbereich und einer sehr hohen Sendefrequenz (J- bis X- Band) können diese Radargeräte bei sehr hohem Auflösungsvermögen auch kürzeste Entfernungen messen. Flugfeldüberwachungsradargeräte werden oft durch die Abkürzung **ASDE** - **Airport Surface Detection Equipment** bezeichnet.

### spezielle Wetterradaranwendungen

Wetterradar ist prinzipiell sehr wichtig für die Flugsicherung und die Flugberatung. Aber auch hier gibt es Geräte, die speziell für die Flugsicherung entwickelt wurden.



Abb. 10: SRE-M7, ein typisches „En-Route“ Radar der DASA



Abb. 11: ASR-12, ein typisches Air Surveillance Radar



Abb. 12: PAR-80, ein typisches Precision Approach Radar



Abb. 13: Scanter 2001, ein Flugfeldüberwachungsradar



## Beispiele für Gefechtsfeldradar

### Feuerleitradargeräte

Radargeräte, welche ein einzelnes Ziel fortlaufend begleiten, werden „Zielverfolgungsradar“ genannt. Meist werden mit diesen Geräten Waffensysteme gesteuert, deshalb spricht man oft auch von „Feuerleitradar“.



Abb. 14: Das „Feuerleitwiesel“ mit einem Radar von Ericsson

Feuerleitradargeräte arbeiten typischerweise mit einem sehr schmalen, scharf gebündelten Antennendiagramm, nutzen eine sehr hohe Puls-Folge-Frequenz (PRF) und einen extrem kurzen Sendeimpuls. Diese Merkmale bewirken zwar eine sehr hohe Genauigkeit in der Zielbegleitung, verringern aber die Reichweite und erschweren somit die Zielsuche in einem breiteren Sektor.

Feuerleitradargeräte müssen wegen dieser starken Bündelung ihre Antennen erst einmal in die Richtung des zu bekämpfenden Zieles steuern. Dieser Vorgang beginnt mit einem sehr breiten Antennendiagramm. Diese Phase der Zielbekämpfung wird „Zielsuche“ genannt. Wurde das Ziel aufgefasst, wird ein schmaleres Antennendiagramm zum „Auffassen des Zieles“ geschaltet. Ist das Ziel einmal durch das schmale Antennendiagramm aufgefasst, wird in den Modus „Zielbegleitung“ umgeschaltet. Das Radar folgt nun allen Manövern des Zieles und die Waffensysteme werden auf das Ziel ausgerichtet. (Hierbei sind mehrere Begleitmethoden möglich.) Diese drei sequentiellen Phasen der Operation werden oft Modi genannt und sind der Zielverarbeitungsfolge der meisten Feuerleitradargeräte gleich (oder zumindest ähnlich).

### Multi- Funktionale Radargeräte

Multi- Funktionale Radargeräte (MFRs MultiFunction Radars) verfügen immer über aktive Phased Array Antennen und ermöglichen modernen Waffensystemen, auf massive Luftangriffe mit Geschossen oder Raketen mit sehr kleinen effektiven Reflexionsflächen in einer Umgebung mit erheblicher Störleistung zu reagieren. Solche MFRs müssen mit einer großen Anzahl von Feuerleitkanälen ausgestattet sein, die ein gleichzeitiges Begleiten von sowohl feindlichen als auch verteidigenden Geschossen ermöglichen sowie Kurskommandos für Abwehrraketen erarbeiten

### Multi- Target Tracking Radar

Ein MultiTarget Tracking Radar (MTTR) muss folgende Funktionen aufweisen:

- eine Weitbereichsradarüberwachung;
- Bereitstellung von Radardaten mit schneller Datenfolge für tieffliegende Ziele;
- Radardaten mit hoher Auflösung (zum Erkennen der Anzahl von Flugzeugen in einem Zielzeichen);
- automatische Ermittlung von allen drei Raumkoordinaten;
- gleichzeitige Zielverfolgung einer großen Anzahl von Zielen;

### Artillerieaufklärungsradar

Ein Artillerieaufklärungsradar erkennt die ballistische Flugbahn von feindlichen Geschossen und bestimmt daraus die Position des schießenden Geschützes um wirkungsvolles Gegenfeuer der eigenen Artillerie zu ermöglichen. Das System beobachtet mehrmals pro Sekunde den Horizont über einem zugewiesenen Sektor, erfasst und begleitet die Geschosse und errechnet den Punkt, von dem aus die ballistischen Kurven beginnen. Die ermittelten Koordinaten des Geschützes werden dem Bediener angezeigt.

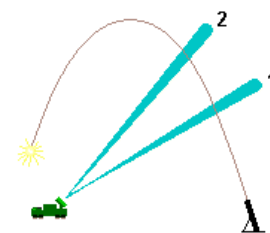


Abb. 15: Arbeitsprinzip eines Artillerieaufklärungsradars

## Unterscheidung nach Frequenzbändern

Die Hersteller von Radargeräten nutzen gern standardisierte Baugruppen, um damit mehrere Radargerätetypen auszustatten. Diese Radargeräte werden dann meist in sogenannte „Familien“ zusammengefasst. Leider wird sich dabei noch nicht konsequent auf die neuen internationalen Frequenzbandbezeichnungen bezogen. So kann es sein, dass noch die alten Frequenzbandbezeichnungen in dem Namen des Radargerätes erscheinen. Radargeräte einer sogenannten „C-Band-Familie“ arbeiten mit Sicherheit im neuen G-Band, dafür arbeiten Radargeräte, die das „L“ im Namen führen (z.B. SMART-L) nicht mehr im L-Band, sondern im D-Band.

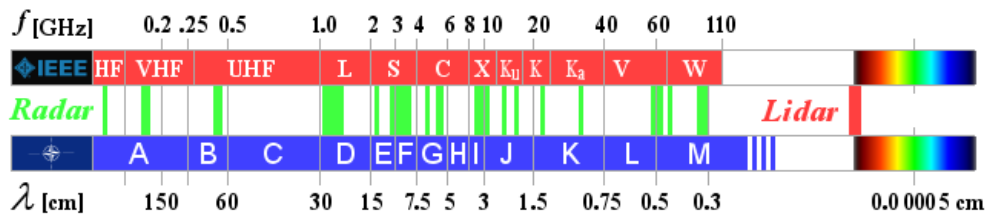


Abb. 16: neue und alte Frequenzbandbezeichnungen im Überblick

Die Frequenzen von Radargeräten reichen von etwa 30 Megahertz bei einem sogenannten „OTH“ Radar (Over The Horizon Radar) bis zu etwa 98 Gigahertz (98.000.000.000 Schwingungen pro Sekunde!). Für bestimmte Radaranwendungen werden aber auch bestimmte Frequenzen bevorzugt. Sehr weitreichende Radaranlagen arbeiten meist mit niedrigeren Frequenzen unterhalb bis einschließlich des D-Bandes. Flugsicherungsradargeräte arbeiten teils knapp unter 3 GHz (ASR) bzw. knapp unter 10 GHz (PAR). Je genauer ein Radar arbeiten muss, desto höher ist auch seine Sendefrequenz!

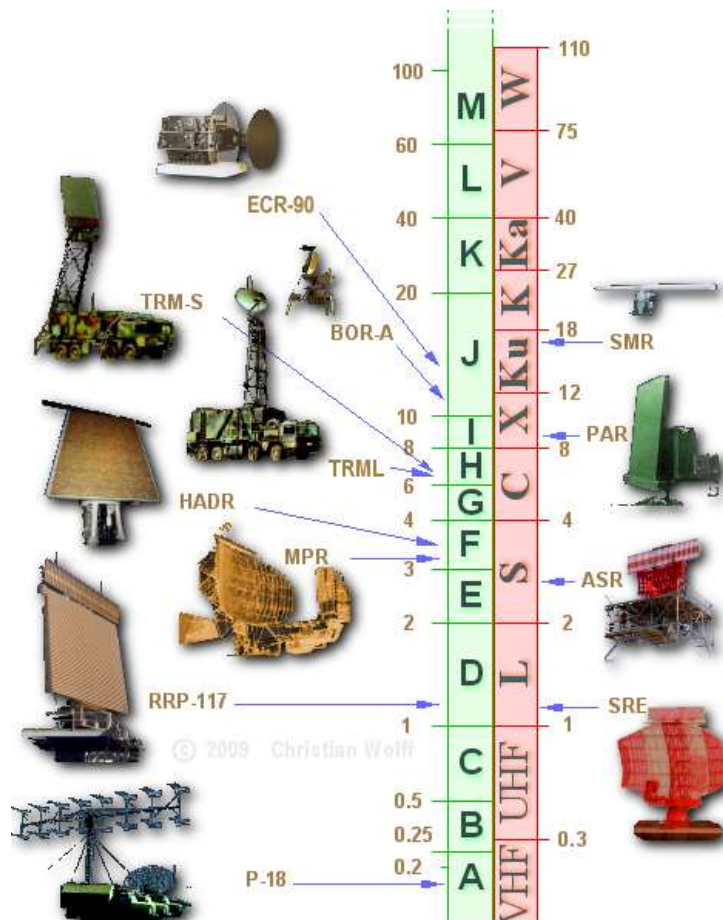


Abb. 17: Frequenzbänder für Radargeräte