

## Phased Array Antennen

Eine **Phased Array Antenne** ist eine Gruppenantenne, deren einzelnen Strahler mit unterschiedlicher Phasenlage gespeist werden können. Im Resultat kann das gemeinsame Antennendiagramm elektronisch geschwenkt werden. Die elektronische Schwenkung ist sehr viel flexibler und wartungsärmer als eine mechanische Schwenkung der Antenne.

### Funktionsweise

Wichtig für das Prinzip dieser Antenne ist die Wirkung der Interferenz, das heißt, eine phasenabhängige Überlagerung von zwei oder (meist) mehreren Strahlungsquellen. Dabei ist zu beobachten, dass sich gleichphasige Signale (in der Grafik gleichfarbig) verstärken und gegenphasige Signale gegenseitig auslöschen. Wenn also zwei Strahler im gleichen Takt ein Signal aussenden, so wird eine Überlagerung erzielt – das Signal wird in der Hauptrichtung verstärkt und in den Nebenrichtungen abgeschwächt. Hier werden in der linken Strahlergruppe der Grafik im Bild 1 beide Strahler mit der gleichen Phase gespeist. Das Signal verstärkt sich in der Hauptrichtung.

In der zweiten Grafik wird das Signal vom oberen Strahler um  $22^\circ$  phasenverschoben (also etwas verzögert) gesendet, als vom unteren Strahler. Deswegen wird die Hauptrichtung des gemeinsam abgestrahlten Signals leicht nach oben verschoben.

(In der Graphik werden Strahler ohne Reflektor gezeigt. Deswegen ist die Rückkeule des Antennendiagramms in dieser Darstellung genauso groß wie die Hauptkeule. Die Rückkeule hat sich jedoch ebenfalls nach oben verschoben. Tipp: Schauen Sie sich das Bild in der Vergrößerung an und achten sie beim Umschalten des Phasenschiebers auf die Unterschiede in der Strahlungscharakteristik des unteren Strahlers)

Wenn nun das auszustrahlende Signal durch eine die Phase regelnde Baugruppe geleitet wird, kann also die Abstrahlrichtung elektronisch gesteuert werden. Das ist aber nicht unbegrenzt möglich, weil die Effektivität dieser Antennenanordnung in einer senkrecht zum Antennenfeld liegenden Hauptrichtung am größten ist, während bei einer extremen Schwenkung der Hauptrichtung die Anzahl und die Größe der unerwünschten Nebenkeulen steigt, während gleichzeitig die effektive Antennenfläche verkleinert wird. Mit dem Sinussatz kann die nötige Phasenverschiebung errechnet werden.

Es können beliebige Antennenkonstruktionen als Strahler in einem Antennenfeld verwendet werden. Für eine Phased Array Antenne ist entscheidend, dass die einzelnen Strahler mit einer geregelten Phasenverschiebung angesteuert werden und somit die Hauptrichtung der Abstrahlung verändert wird. Um eine Bündelung sowohl horizontal als auch vertikal zu erreichen, werden sehr viele Strahler in einem Antennenfeld verwendet. Die Antenne des RRP-117 besteht z.B. aus 1584 Einzelstrahlern, deren Empfangssignal noch auf analoge Weise zum Antennendiagramm der Antenne verknüpft werden. Modernere Multifunktionsradargeräte verwenden dagegen auf dem Empfangsweg die digitale Formung des Antennendiagramms.

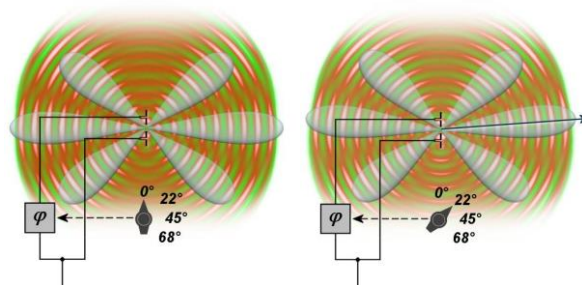


Bild 1: links zwei gleichphasig gespeiste Antennenelemente, rechts zwei ungleichphasig gespeiste Antennenelemente, die Hauptstrahlrichtung ist deswegen leicht nach oben geschwenkt.

#### Inhaltsverzeichnis « Phased Array Antennen »

1. Funktionsweise
2. Vor- und Nachteile
3. Anordnungsmöglichkeiten
  - Lineare Arrays
  - Planare Arrays
4. Frequenzabhängige Strahlschwenkung
5. Berechnung der Phasenverschiebung
  - Rechenbeispiel

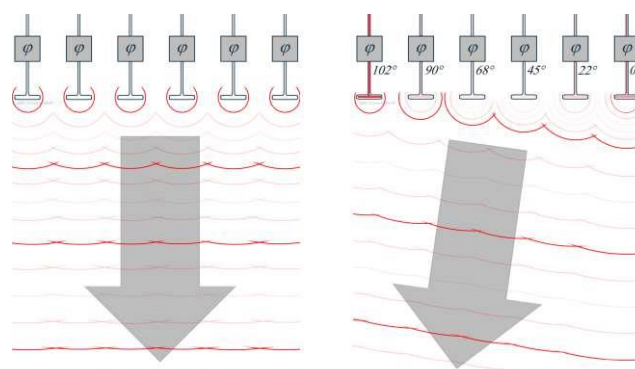


Bild 2: Elektronische Schwenkung des Antennenstrahls, links: Hauptrichtung, rechts: geschwenkt

## Vorteile

- hoher Antennengewinn bei gleichzeitig großer Nebenkeulendämpfung
- sehr schneller Wechsel der Strahlrichtung (im Mikrosekundenbereich)
- sehr schnelle Diagrammformung und -umformung (Beam agility)
- beliebige Raumabtastung
- frei wählbare Zielbeleuchtungsdauer
- Multifunktionsbetrieb durch gleichzeitiges Erzeugen von mehreren Beams
- Ausfall einzelner Komponenten führt nicht unbedingt zum Systemausfall

## Nachteile

- begrenzter Abtastraum (bis max. 120° in Azimut und Elevation)<sup>[1]</sup>
- Verformung des Strahlungsdiagramms bei der Auslenkung
- Frequenzabhängigkeit des Strahlungsdiagramms (low frequency agility)
- sehr komplexer Aufbau (Rechner, Phasenschieber)
- hohe Kosten (noch)

<sup>[1]</sup> Anmerkung: Die Begrenzung des Abtastrumes kann mit einer dreidimensionalen Strahlerverteilung behoben werden. Diese Anordnung der Strahler erhielt den Namen Krähennest-Antenne.

## Anordnungsmöglichkeiten

### Lineare Arrays

Diese Phased Array Antennen bestehen aus Zeilen, die gemeinsam über einen Phasenschieber gesteuert werden. (Es wird also nur ein Phasenschieber pro Antennenzeile benötigt.) Eine Vielzahl senkrecht übereinander angeordneter linearer Arrays bilden eine ebene Antenne.

**Vorteil:** einfache Anordnung

**Nachteil:** Strahlschwenkung nur in einer Ebene möglich

**Beispiele:**

- PAR-80 (horizontale Strahlschwenkung) und
- RRP-117 (vertikale Strahlschwenkung)
- Large Vertical Aperture (LVA) Antenne (fixe Strahlform)

### Planare Arrays

Diese Phased Array Antennen bestehen vollständig aus Einzelelementen mit jeweils einem Phasenschieber pro Element. (Jeder Einzelstrahler benötigt einen eigenen Phasenschieber!) Die Elemente werden wie in einer Matrix angeordnet, die ebene Anordnung aller Elemente bildet die gesamte Antenne.

**Vorteil:** Strahlschwenkung in zwei Ebenen möglich

**Nachteil:** komplizierte Anordnung und sehr viel mehr gesteuerte Phasenschieber

**Beispiele:** AN-FPS-85 und Thomson Master-A

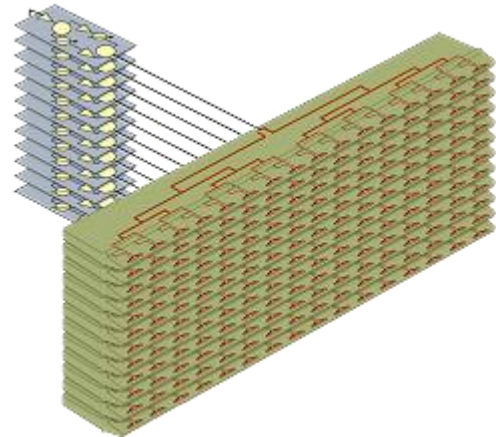


Bild 3: lineares Phased Array- Antennenfeld

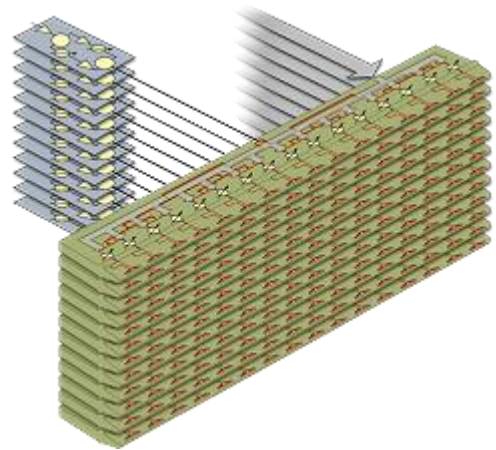


Bild 4: planares Phased Array- Antennenfeld

## Frequenzabhängige Strahlschwenkung

Die frequenzabhängige Strahlschwenkung ist ein Sonderfall der Phased-Array-Antenne, bei welcher die Strahlschwenkung völlig ohne Phasenschieber durch die Sendefrequenz gesteuert wird. Die Strahlschwenkung ist hier eine Funktion der Frequenz. Diese Art Phased-Array-Antenne wurde in älteren Radargeräten oft verwendet.

Eine vertikale Antennengruppe wird seriell gespeist. Auf der Grundfrequenz  $F_1$  erhalten alle Strahler eine Leistung gleicher Phase durch konstruktiv gleiche Umwegleitungen, die eine Phasenverschiebung von  $n \cdot 360^\circ$  bewirken. Alle Strahler strahlen also mit gleicher Phase zur gleichen Zeit. Der resultierende Strahl befindet sich somit senkrecht zur Antennenebene.

Wenn die Sendefrequenz um wenige Prozent erhöht wird, stimmt aber die konstruktiv festgelegte Länge der Umwegleitungen nicht mehr. Die Umwegleitung ist nun etwas zu lang. Es tritt eine Phasenverschiebung von Strahler zu Strahler auf. Der erste Strahler strahlt diese wenigen Prozent eher als der nächste benachbarte Strahler u.s.w. Der resultierende Strahl  $F_2$  ist also um den Winkel  $\theta_s$  nach oben geschwenkt.

Diese Art der Strahlschwenkung ist zwar sehr einfach aufgebaut, ist aber auf wenige fest installierte Sendefrequenzen beschränkt. Neben der Störanfälligkeit sind auch noch mehr Einschränkungen hinzunehmen, z.B. kann dieses Radargerät wegen der zu geringen Bandbreite keine Intrapulsmodulation mit Pulskompression verwenden.

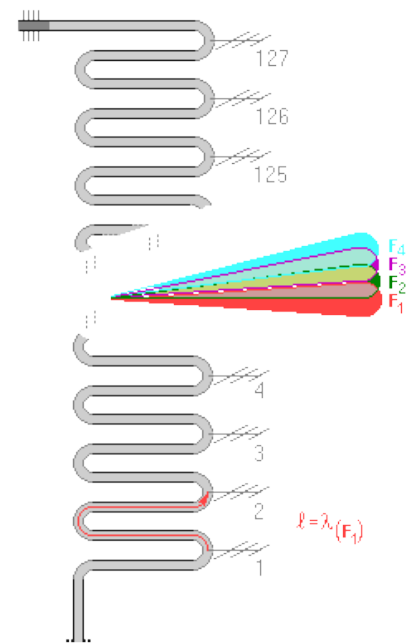


Bild 5: Frequency Scanning Array

## Berechnung der Phasenverschiebung

Wie groß muss die Phasenverschiebung  $x = \Delta\varphi$  von Strahler zu Strahler sein, um einen bestimmten Abstrahlwinkel zu erreichen?

Es wird eine lineare Anordnung von isotropen Einzelstrahlern betrachtet.

Zwischen den Strahlern, zwischen dem jeweiligen Strahl des Abstrahlwinkels mit der aufgetragenen Phasenverschiebung lässt sich ein rechtwinkliges Dreieck zeichnen, dessen kürzere Seite auf dem Strahl liegt. Die Hypotenuse ist die Entfernung zwischen zwei Strahlern. Die dritte Seite ist eine Hilfslinie senkrecht zur Strahlrichtung des früher sendenden Strahlers.

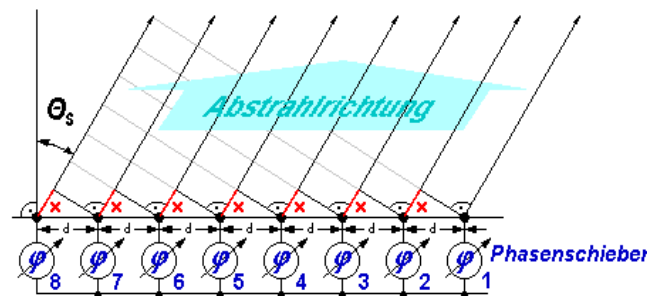


Bild 6: grafische Herleitung der Phasenverschiebung

$$x = d \cdot \sin \theta_s \quad (1)$$

$$\frac{360^\circ}{\Delta\varphi} = \frac{\lambda}{x} \quad (2)$$

$\Delta\varphi$  = Phasendifferenz zwischen zwei Strahlern  
 $d$  = Elementabstand  
 $\theta_s$  = Abstrahlwinkel

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ \cdot d \cdot \sin \theta_s}{\lambda} \quad (3)$$

## Beispielrechnung:

- Gegeben:**
- Ein Radargerät arbeitet mit einer Wellenlänge von  $\lambda=10\text{ cm}$ .
  - Der Strahlerabstand beträgt  $d=15\text{ cm}$ .
  - Die Laufzeitunterschiede durch die Speiseleitung können wir vorerst vernachlässigen.
  - Der Abstrahlwinkel soll  $\theta_s=40^\circ$  betragen.

**Gesucht:** Wie groß muss die Phasenverschiebung  $\varphi_8$  des Phasenschiebers Nr. 8 (links außen im Bild 6) sein, um diesen Abstrahlwinkel zu erreichen?

Wir beginnen mit der Bestimmung der Phasenverschiebung  $x$  von Strahler zu Strahler.  
Wegen der Winkelfunktion benötigen wir doch einen Taschenrechner:

$$\Delta\varphi = (360^\circ \cdot 15\text{ cm}/10\text{ cm}) \cdot \sin(40^\circ) = 347,1^\circ.$$

Das bedeutet, der Strahler Nr. 8 benötigt in diesen Beispiel die Phasenverschiebung  
 $\varphi_8 = 7 \cdot 347,1 = 2429,7^\circ$ .

Auf Grund der Periodizität der Sinusfunktion beträgt eine Phasenverschiebung von  $n \cdot 360^\circ = 0^\circ$ .  
Deshalb können wir von dem Ergebnis solange  $360^\circ$  abziehen bis ein Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $360^\circ$  vorliegt und erhalten somit für den Phasenschieber Nr. 8 (links außen) einen Phasenwinkel von  $\varphi_8 = 269,7^\circ$ . So genau wird das aber kein Phasenschieber realisieren können. Mit einem 4-Bit-Phasenschieber kann die Phasenverschiebung in Schritten von  $11,25^\circ$  gemacht werden. Es wird also in der Praxis ein Phasenwinkel von  $\varphi_8 = 270^\circ$  verwendet werden.

Bei serieller Speisung wird ein Teil dieser Phasenverschiebung schon durch die Laufzeit in der Speiseleitung realisiert. In der Praxis existiert im Rechner für die Antennensteuerung (für jede Sendefrequenz extra) eine individuell geeichte Tabelle mit den Phasenschieberdaten für jeden zu realisierenden Schwenkwinkel.