

Funkpeilen

Funkpeilen

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	2
2. Nutzung des H-Feldes.....	3
2.1 Die technische Realisierung.....	4
3. Nutzung des E-Feldes.....	7
3.1 Die Maximumpeilung.....	7
3.2 Die Minimumpeilung.....	8
4. Drehfunkfeuer.....	9
4.1 Das VOR.....	9
4.2 Nutzung des Doppler-Effekts.....	10
4.2.1 Wirkungsprinzip.....	10
4.2.2 Die Realisierung.....	11
5. Peilen mit dem Interferometerprinzip.....	12

1. Vorwort

Funkpeilen ist eine sehr alte Disziplin. Man erkannte schnell dass es sehr hilfreich sein kann, nicht nur Nachrichten von einem weit entfernten Gegenüber zu empfangen sondern auch die Richtung zu ermitteln aus der das Signal kommt. Hat man wenigstens zwei Sender mit bekanntem Standort, dann lässt sich aus den Empfangsrichtungen der eigene Standort ermitteln. Dieses Verfahren wurde in Schifffahrt und Luftfahrt zur Navigation eingesetzt. Dazu wurde eine große Zahl von Funkbaken installiert die dann eine gute Navigation ermöglichten. Parallel dazu wurden an Land Funkpeilstellen eingerichtet mit deren Hilfe auch für Schiffe ohne Peileinrichtung eine Positionsbestimmung möglich wurde. Im Zuge der Umstellung auf andere Navigationsverfahren wurden diese Peilfunknetze zumindest in der Seefahrt aufgelöst. Für die Luftfahrt existiert allerdings auch jetzt noch ein größeres Netz von Funkbaken (NDBs) – schon alleine aus Sicherheitsgründen um im Falle eines Ausfalls des GPS-Systems ein funktionsfähiges Ersatzsystem zu haben.

2. Nutzung des H-Feldes

Genau wie die „normale“ Kommunikation fing auch das Funkpeilen im Lang- und Mittelwellenbereich an. Für diesen Frequenzbereich hatten sich Rahmenantennen als recht effektive Empfangsantennen erwiesen. Fürs Peilen wird diesen Antennen wird ausgenutzt, dass man an einer Drahtschleife eine Spannung messen kann wenn diese von einem magnetischen Wechselfeld durchströmt wird. Dreht man die Schleife allerdings so, dass das H-Feld parallel zur Spulenfläche liegt, ist die Spannung an der Drahtschleife „0“.

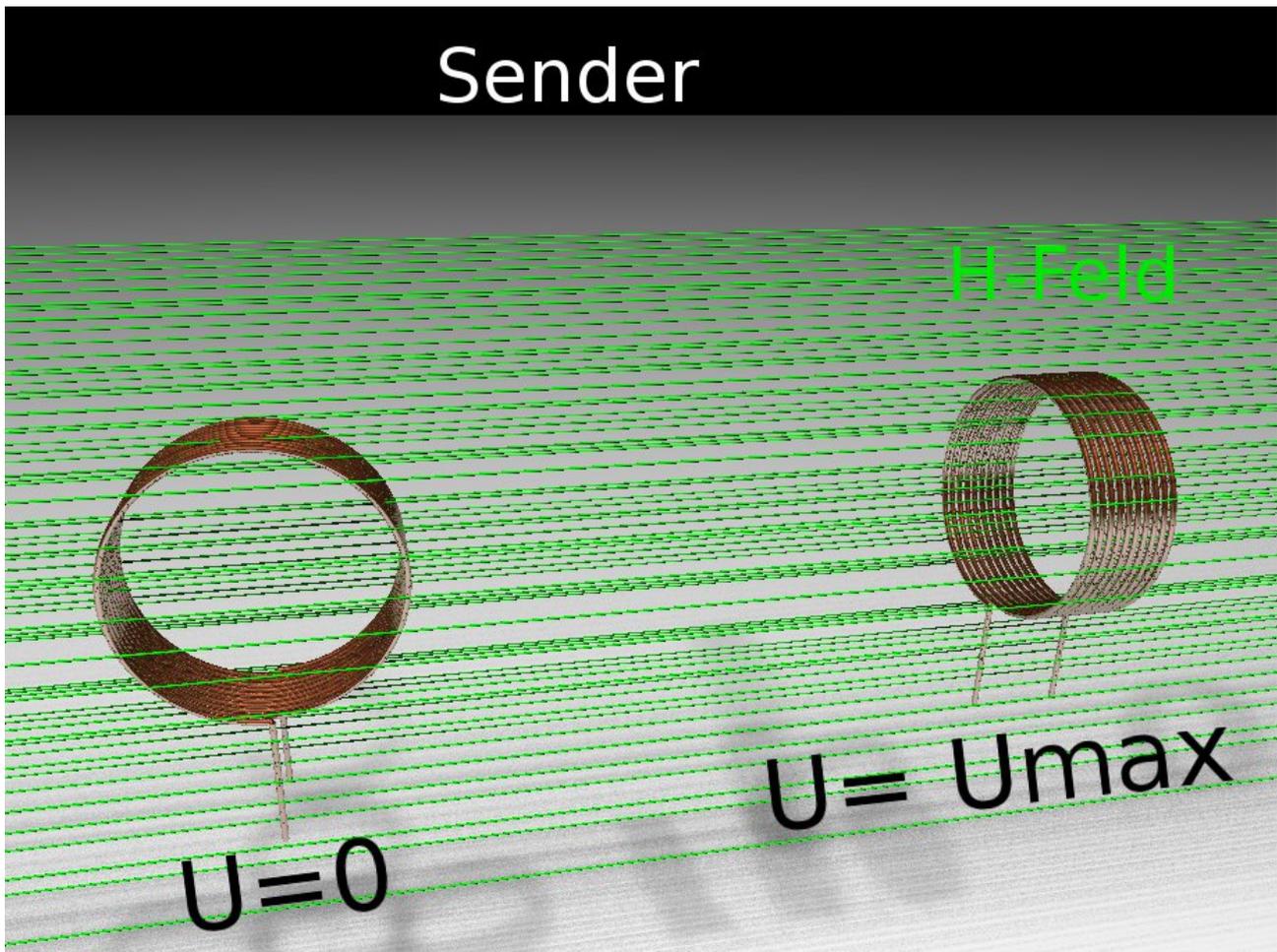


Bild 1: Spule im Magnetfeld

Dieses Verhalten kann man zur Bestimmung der Richtung zum Sender nutzen. Da das H-Feld räumlich senkrecht zur Ausbreitungsrichtung steht, wird die Spannung „0“ wenn die Achse der Spule Richtung Sender zeigt denn in dem Falle verlaufen die magnetischen Feldlinien parallel zur Spule. Ein Problem hat dieses Verfahren allerdings: Allein mit dieser Methode kann man nicht ermitteln, ob der Sender vor einem oder hinter einem steht. Auch das Drehen der Antenne um 90° in Richtung Maximum hilft in diesem Fall nicht denn die Maxima sind in beiden Richtungen gleich groß. Für eine Unterscheidung ob der Sender nun vorne oder hinten steht gibt es nur die Möglichkeit zusätzlich zum H-Feld das E-Feld anzufassen. Der Phasenwinkel zwischen H- und E-Feld ermöglicht dann die Entscheidung. Technisch wird das E-Feld-Signal zum H-Feld-Signal addiert. Damit zeigt die Antenne bei einer Drehung von 360° zwei Maxima von denen eines viel schwächer ausgeprägt ist als das andere. Das Peilen sieht damit so aus:

Funkpeilen

- Mit Hilfe des Empfangsminimums die genaue Richtung ermitteln (das Minimum ist weit schärfer als das Maximum)
- Drehen der Antenne um 90° und die Signalstärke des Maximums ermitteln.
- Drehen der Antenne um 180° . Abhängig davon ob das zweite Maximum deutlich stärker oder schwächer ist als das erste, ist der Sender dann vor- oder hinter dem Empfänger.

2.1 Die technische Realisierung

Bei den Peilgeräten der ersten Generation hatte man eine drehbare Rahmenantenne direkt auf das Empfängergehäuse gesetzt. Beim Betrieb solcher Geräte haben sich aber einige Nachteile gezeigt

- Das Empfangsminimum ist nicht immer so stark ausgeprägt wie es die reine Theorie erwarten lässt. Dieser Effekt - „Trübung“ genannt - entsteht durch Objekte in der Nähe des Peilgerätes die vom zu empfangenden Sender mit angeregt werden und damit für zusätzliche Magnetfelder sorgen. Solche Felder konnten durch einspeisen zusätzlicher Signale mit einstellbarer Phase und Amplitude der sogenannten „Enttrübung“ zumindest teilweise kompensiert werden.
- Auf Schiffen musste die Antenne möglichst weit von den Metallteilen entfernt platziert werden. Da blieb nur die Möglichkeit die Antenne am Masttop zu montieren. An so einer exponierten Stelle war an eine Mechanik mit drehbarer Rahmenantenne aber nicht mehr möglich. Die drehbare Rahmenantenne wurde deshalb durch zwei zueinander senkrecht stehende Spulen, dem Kreuzrahmen ersetzt.

Peilgeräte mit Kreuzrahmen

Um die Wirkung der Eisenaufbauten der Schiffe zu minimieren wurde vom Masttop aus entweder ein Drahtkreuz gespannt das zusammen mit den Schiffsaufbauten zwei um 90° versetzte Drahtschleifen bildete oder es wurden zwei um 90° versetzte Rahmenantennen montiert. Das Signal dieser Schleifen wurde am Masttop abgenommen und verstärkt. Im Empfänger wurde das oben gemessene Feld durch zwei um 90° versetzte Spulen nachgebildet. In diesem Feld konnte dann mit Hilfe einer „Suchspule“ die Richtung des H-Feldes bestimmt werden. Dieses sogenannte Goniometer wurde später durch ein Oszilloskop ersetzt bei der das Signal der einen Schleife auf die X-Ablenkung, das der anderen auf die Y-Ablenkung gelegt wurde. Die Richtung zum Sender konnte damit als Strich dargestellt werden der den Winkel des Senders relativ zum Schiff anzeigte. Diese Methode hatte den Vorteil, dass man die Richtung ohne weitere Hantierungen an einem Gerät direkt ablesen konnte. Auf dem Oszilloskop war im Idealfall ein Strich zu sehen dessen Winkel der Winkel zum gesuchten Sender war. Eine eventuell vorhandene „Trübung“ hat sich so ausgewirkt, dass anstatt des Striches eine Ellipse zu sehen war wobei das Verhältnis Breite zu Höhe ein Maß für die Trübung oder die Peilgüte war. Peilgeräte nach diesem Verfahren wurden als „Sichtpeilgeräte nach Sir Watson Watt“ bezeichnet. Im Gegensatz zum Verfahren mit der Suchspule wird hier natürlich nicht mehr das Signalminimum sondern das Maximum zur Peilung benutzt.

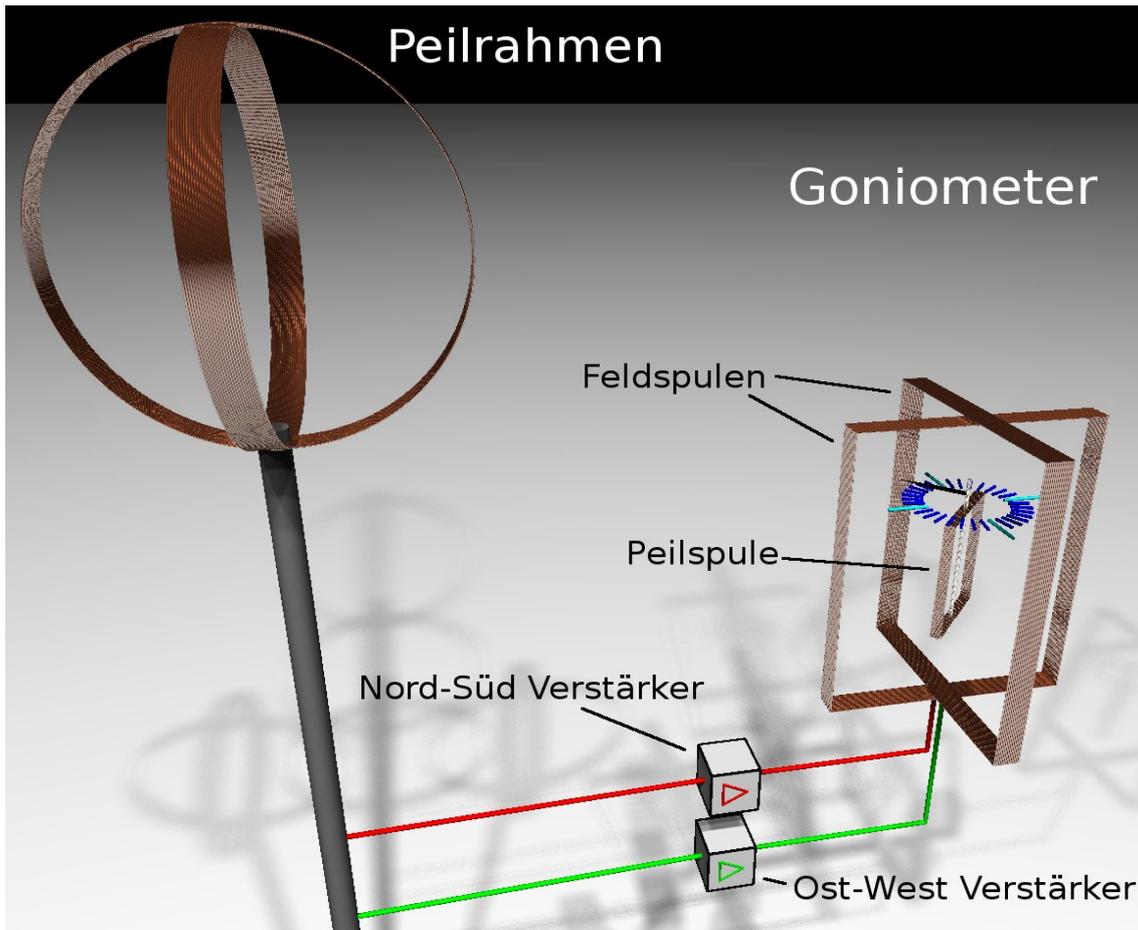


Bild 2: Peilgerät mit abgesetztem Peilrahmen und Goniometer

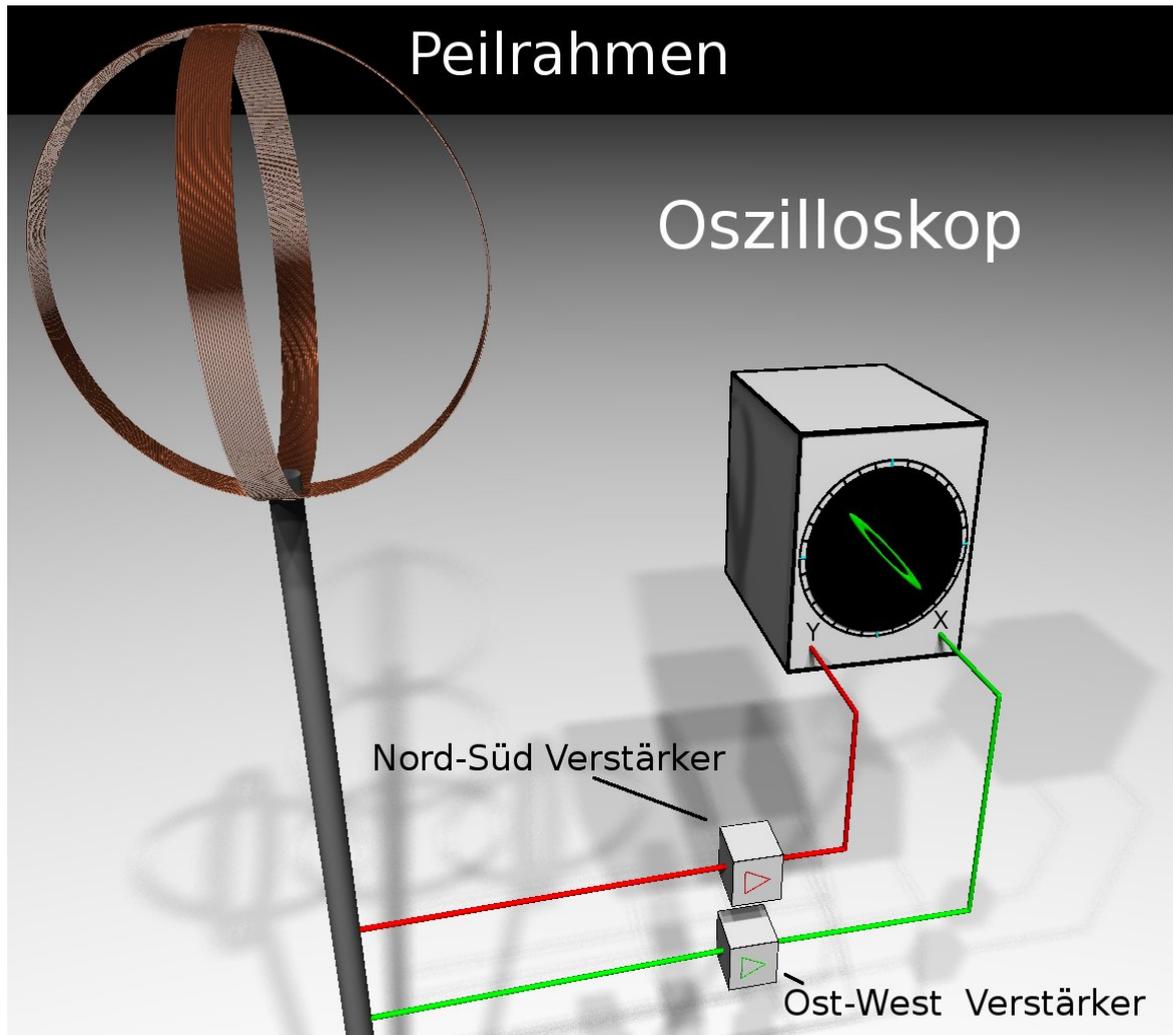


Bild 3: Peilgerät mit abgesetztem Peilrahmen und Oszilloskop: Sichtpeilgerät nach Sir Watson Watt

Ersetzt man die etwas unförmigen Rahmenantennen durch Ferritantennen kann man auch gut hantierbare Handpeilgeräte bauen. Solche Handpeilgeräte wurden in der Sportschiffahrt zur Navigation benutzt. Heute werden sie im Amateurfunk noch zur Fuchsjagd eingesetzt.

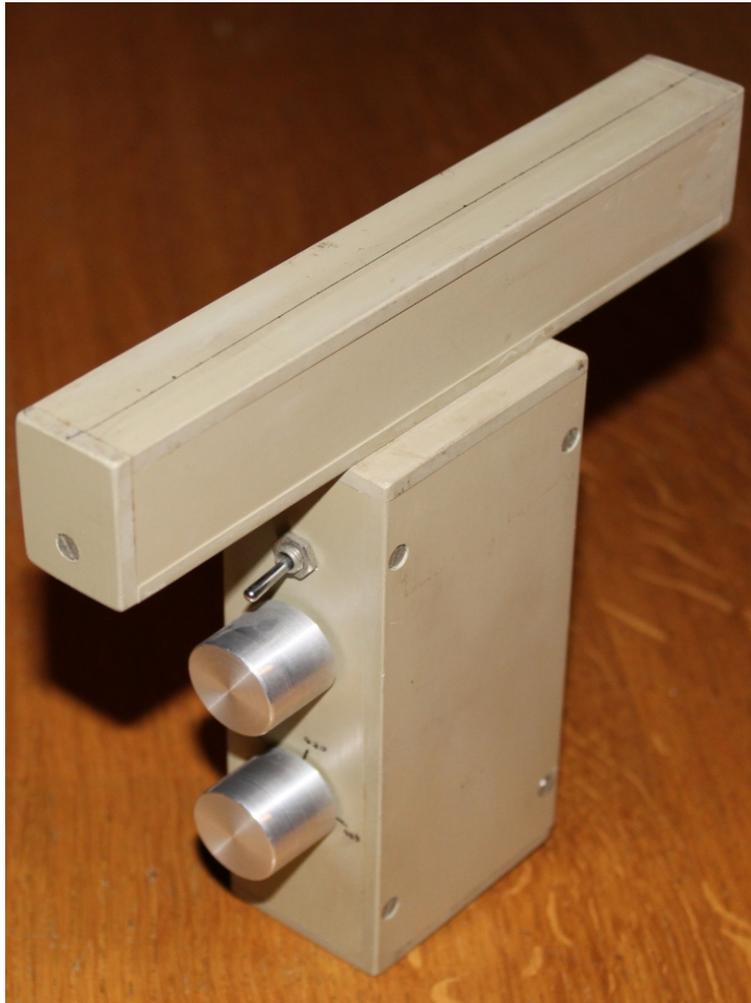


Bild 4: Eigenbau Handpeilgerät

3. Nutzung des E-Feldes

3.1 Die Maximumpeilung

Bei höheren Frequenzen sind Richtantennen wie Yagis weit einfacher zu bauen als bei niedrigen Frequenzen. Mit Yagis mit einem deutlichen Maximum sind Maximumpeilungen möglich obwohl dabei auch bei kleineren Öffnungswinkeln die Suche nach dem genauen Maximum zu verhältnismäßig ungenauen Messergebnissen führt. Halbwegs genaue Messungen lassen sich nur machen indem man die Antenne so weit dreht dass das Signal z.B. 3dB unter dem Maximum liegt. Danach dreht man die Antenne in die Gegenrichtung bis genau derselbe Pegel erreicht ist. Die genaue Richtung ist dann der Mittelwert beider gemessener Winkel. Nachdem Yagi-Antennen in Rückwärtsrichtung deutlich unempfindlicher sind als in Vorwärtsrichtung, fällt hier eine vorne-hinten Entscheidung recht leicht. Die Vorteile dieser Art der Peilung sind natürlich, dass man dafür

eine normale Empfangsanlage nutzen kann und wegen des Antennengewinns auch die Richtung von sehr schwachen Signalen bestimmen kann.

3.2 Die Minimumpeilung

Die Güte einer Peilung mit Hilfe des Empfangsmaximums ist stark von der Qualität oder genauer von dem Antennendiagramm der betroffenen Antenne abhängig. Möchte man sehr schnell zu einem genauen Ergebnis kommen, ist das oben beschriebene Verfahren der Maximumpeilung zu umständlich. Für solche Fälle gibt es eine andere Methode: Das Signal wird von zwei identischen Dipolen empfangen, das Signal eines der beiden Dipole wird um $n * \lambda / 2$ ($n = 1,3,5,\dots$) verzögert, das verzögerte Signal wird vom nicht verzögerten subtrahiert. Kommen die Signale bei beiden Dipolen zeitgleich an, kommt es bei der Subtraktion zur Auslöschung. In dem Fall steht die Verbindungsachse zwischen beiden Dipolen genau senkrecht auf der Linie Sender-Empfänger. Der Vorteil des verglichen mit einer Maximumpeilung weit schärferen Minimums bei dieser Methode wird durch einige Nachteile erkauft.

- Sind die Dipole zu nahe beieinander, wird auch das Minimum wegen der kleinen Phasenunterschiede etwas breiter
- Sind die Dipole zu weit voneinander entfernt, kann es vorkommen, dass wegen unterschiedlicher Empfangspegel kein brauchbares Minimum mehr entsteht. Bei zu großer Entfernung (Abstand größer als die halbe Wellenlänge) entstehen außerdem weitere Minima und Maxima. Eine eindeutige Bestimmung der Richtung ist damit nicht mehr möglich.

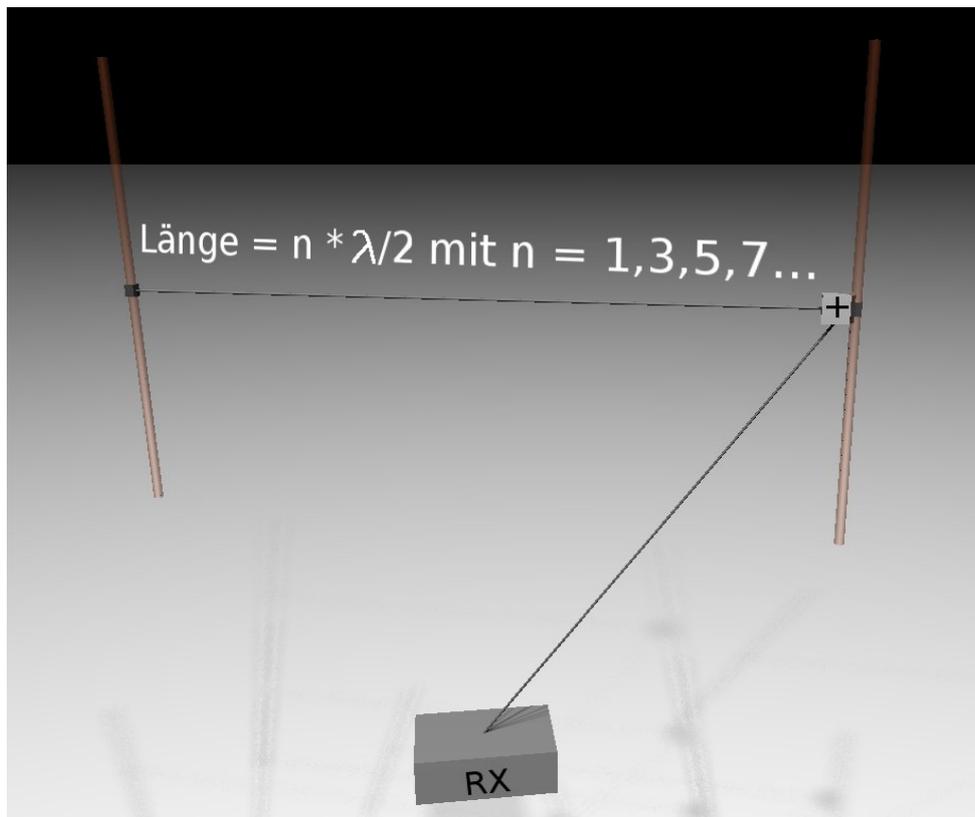


Bild 5: Minimumpeilung mit Hilfe von zwei Dipolen

4. Drehfunkfeuer

Bisher wurden Verfahren beschrieben, bei denen Signale mit konstanter Amplitude und Frequenz verwendet wurden. Verfahren um mit Hilfe solcher Signale den eigenen Standort zu bestimmen sind aber verhältnismäßig aufwendig und für Anwendungen in denen es auf Schnelligkeit, Sicherheit und exakte Navigation ankommt nur bedingt geeignet. Deshalb wurden Verfahren entwickelt, die die Funknavigation für den Anwender deutlich vereinfacht haben, die Drehfunkfeuer. Das Wirkungsprinzip lässt sich am besten mit einem fiktiven Leuchtturm erklären:

Beobachtet man einen Leuchtturm, der ein umlaufendes Licht besitzt, wird man ein gleichmäßiges Blinken wahrnehmen denn immer dann wenn das umlaufende Licht in die eigene Richtung zeigt wird man es als Lichtblitz sehen. Setzt man nun auf den Leuchtturm zusätzlich ein rotes Blinklicht das in alle Richtungen leuchtet und immer nur dann aufblitzt, wenn das umlaufende Licht genau Richtung Norden leuchtet, kann man alleine mit diesen zwei Lichtern ermitteln in welchem Winkel man den Leuchtturm relativ zur Nordrichtung sieht. Wie das geht, lässt sich am besten mit konkreten Zahlen erklären: Nehmen wir an, das umlaufende Licht braucht genau 60s um sich um 360 Grad zu drehen und der Beobachter sieht, dass das umlaufende Licht an seinem Standort genau 30s nach dem roten Licht aufblitzt, dann weiß er, dass er vom Leuchtturm aus gesehen genau bei 180 Grad, also im Süden steht weil das Licht in der Hälfte der Zeit genau 180 Grad weitergelaufen sein muss.

Ein solches Verfahren wurde für die Fliegerei entwickelt, wobei sich das Ganze natürlich in einem ganz anderen Zeitrahmen abspielt. Diese Peilsender werden VORs (VHF Omnidirectional Radio Range) genannt.

4.1 Das VOR

Als „umlaufendes Licht“ dient eine Richtantenne, die mit 30 Umdrehungen pro Sekunde rotiert. Ein Beobachter wird deshalb von diesem Sender ein mit 30Hz amplitudenmoduliertes Signal empfangen. Prägt man auf dieses Signal nun außerdem ein sinusförmiges Signal frequenzmoduliert auf, das den Pegel 0 hat, wenn die Antenne Richtung Norden steht und mit jeder Umdrehung der Antenne eine volle Sinusschwingung durchläuft, hat man außerdem die Information, die in unserem Leuchtturmmodell das rote Rundumlicht geliefert hat. Der Empfänger kann das empfangene Signal einmal wie ein FM-Signal demodulieren und einmal wie ein AM-Signal. Die Phasendifferenz dieser beiden demodulierten Signale liefert dann die Richtung aus dem man vom Peilsender aus „gesehen“ wird.

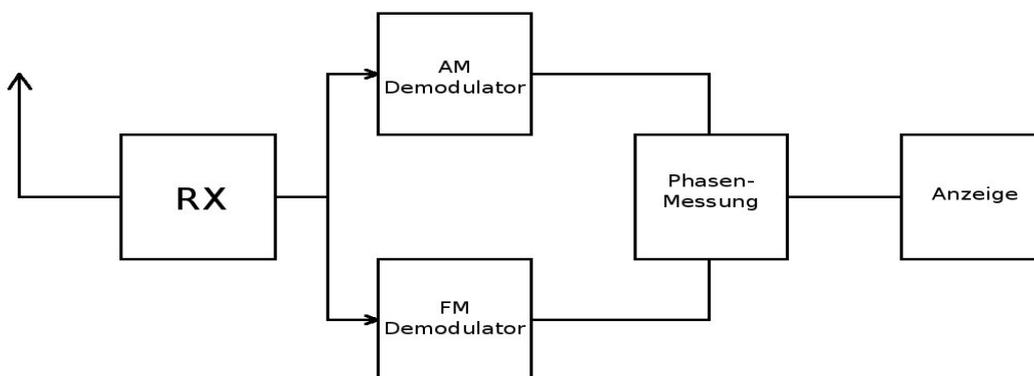


Bild 6: Prinzipschaltbild eines VOR-Empfängers

Funkpeilen

Wie aus der Beschreibung zu erkennen ist, wird für die Richtungserkennung die Amplitude eines Signals benutzt das durch eine rotierende Antenne erzeugt wird. Objekte am Boden können durch Echos die Maxima solcher AM-Signale „verbiegen“ was zu Ungenauigkeiten in der Richtungsbestimmung führt. Der Einsatz von Reflektoren (siehe Bild) kann da nur bedingt Abhilfe schaffen.



Bild 7: VOR „ERL“ Standort: Hetzleser Berg

4.2 Nutzung des Doppler-Effekts

Die oben beschriebenen „Probleme“ kann man umgehen, indem man den Dopplereffekt ausnutzt. Mit dem hier beschriebenen Verfahren erzielt man eine höhere Genauigkeit und kann außerdem die VOR-Empfänger weiter benutzen ohne Änderungen daran vornehmen zu müssen.

4.2.1 Wirkungsprinzip

Man lässt man einen Dipol an einem Dreharm um einen festen Punkt rotieren und strahlt damit ein Signal mit konstanter Amplitude aus. Bedingt durch den Dopplereffekt wird das Signal auf der Empfängerseite frequenzmoduliert sein denn zur den Zeitpunkten zu denen sich die Antenne auf den Empfänger zubewegt wird die Frequenz höher als die Originalfrequenz sein, wenn sich die

Funkpeilen

Antenne wegbewegt entsprechend tiefer. Moduliert man das Sendesignal jetzt außerdem noch amplitudenmoduliert mit einem sinusförmigen Signal das immer dann das Maximum hat wenn die Antenne genau im Norden steht, ist eine Bestimmung der Richtung möglich: Man demoduliert das Signal auf der Empfängerseite zum Einen mit einem Diskriminator, zum Anderen mit einem AM-Demodulator. Misst man den Phasenwinkel zwischen den beiden demodulierten Signalen kann man aus der Winkeldifferenz 1:1 den Winkel ablesen unter dem man den Sender **relativ zur Nordrichtung** sieht.

Verglichen mit dem „alten“ VOR-Verfahren, wird jetzt die Phasenmodulation durch den Dopplereffekt erzeugt, die Amplitudenmodulation wird auf das Signal aufgeprägt.

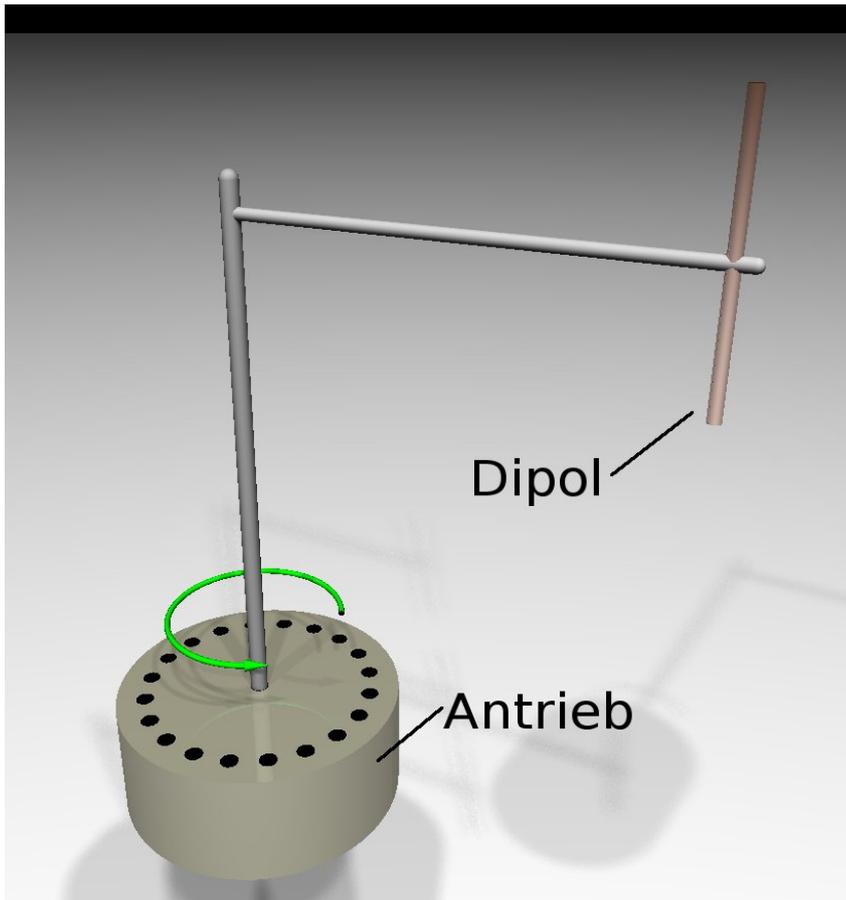


Bild 8: Mechanisches Modell einer Einrichtung zur Doppler-Peilung

4.2.2 Die Realisierung

Die im Flugfunk eingesetzten DVORs haben einen Drehradius von 6,75 m und eine Drehfrequenz von 30 Hz. Würde man versuchen das - wie im Bild 8 zu sehen - mit mechanischen Mitteln zu machen käme man für den Dipol am Ende des Dreharms auf eine Geschwindigkeit von 1272 m/s (also etwa 4-fache Schallgeschwindigkeit) und eine Beschleunigung von etwa dem 24000-fachen der Erdbeschleunigung. Diese hohe Geschwindigkeit ist notwendig um bei den üblicherweise benutzten Sendefrequenzen um 120MHz zu gut detektierbaren Dopplerverschiebungen zu kommen. Wie leicht zu erkennen, lassen sich die erforderlichen Werte mit mechanischen Mitteln nicht erreichen. Statt des mechanischen Aufbaus gibt es aber eine elektronische Möglichkeit: Stellt man genügend Dipole im Kreis auf (der Abstand der Einzelantennen muss deutlich kleiner als die halbe

Funkpeilen

Wellenlänge sein), kann man die Dipole mit rein elektronischen Mittel reihum einen nach dem anderen auf den Sender schalten. Durch diese Umschaltung wird ein virtuell umlaufender Dipol erzeugt der sich genauso verhält wie das mechanische Gegenstück. Mit dieser Art des Aufbaus erreicht man Genauigkeiten die bei etwa $\pm 1^\circ$ liegen.

Das Verfahren nach dem Dopplerprinzip funktioniert nicht nur in Senderichtung. Man kann die Einzelantennen einer solchen Anlage auch reihum auf einen Empfänger schalten. In dem Fall sind alle empfangenen Signale frequenzmoduliert. Nachdem man hier den Zeitpunkt kennt zu dem der virtuell umlaufende Dipol in einer bestimmten Richtung steht, kann man die Phasenlage des Signals zur Phasenlage der eigenen Antennensteuerung messen und kann so die Empfangsrichtung bestimmen.

5. Peilen mit dem Interferometerprinzip

Letztendlich ist die Peilung die im Punkt Nutzung des E-Feldes / Minimumpeilung bereits eine Peilung nach dem Interferometerprinzip. Bei dieser Art der Peilung werden die Zeitunterschiede ausgewertet zu denen die Wellenfront eines Senders an verschiedenen Antennen ankommt. Dabei tritt allerdings dasselbe Problem auf wie bei der oben schon beschriebenen Minimumpeilung: Sind die Antennen weiter als die halbe Wellenlänge voneinander entfernt, lässt sich die Richtung nicht mehr eindeutig bestimmen. Umgekehrt wird die Messung umso genauer je weiter die Antennen auseinanderstehen. Lösen lässt sich das Problem indem man die Messung zuerst mit Antennen mit kleinem Abstand durchführt. Das so erhaltene Messergebnis lässt sich dann mit einer zweiten Messung präzisieren und man kann von den mehreren gefunden Richtungen die auswählen, die in der ersten, ungenaueren Messung gefunden wurde. Benutzt man zur Bestimmung der Richtung drei Antennen ist es möglich neben der Richtung (Azimut) auch die Höhe (Elevation) des Signals zu berechnen.

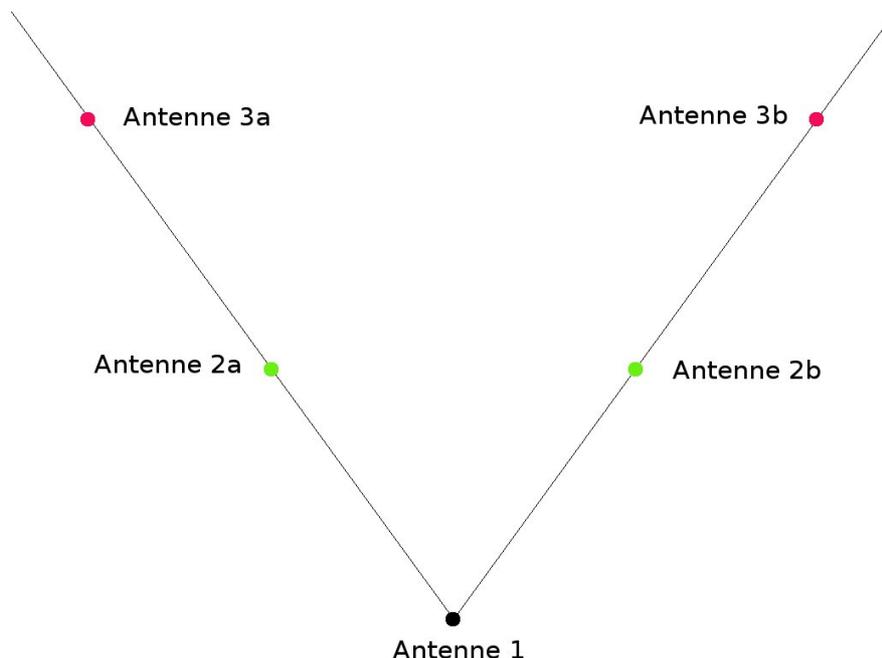


Bild 9: Antennenarray mit fünf im Dreieck aufgestellten Antennen.

Funkpeilen

Mit dem in Bild 8 gezeigten Antennenarray kann man mit den Antennen 1, 2a und 2b die Richtung eines Senders (Azimut und Elevation) eindeutig bestimmen, vorausgesetzt die Abstände dieser Antennen sind kleiner als $\lambda/2$. Danach lässt sich diese Messung mit Hilfe der Antennen 1, 3a und 3b präzisieren. Nachdem die Richtung jetzt schon bekannt ist, braucht die $\lambda/2$ -Bedingung für die 1, 3a, 3b-Konstellation nicht mehr zu gelten.

Quellenverzeichnis

Rudersdorfer R. : Funkempfänger Kompendium, Aachen: Elektor Verlag 2009