

# Grundlagen zum Antennen-Tracking



# Track it out!

In Zeiten, in denen Übertragungssysteme zur Übermittlung von hoch-datenratigen Videos oder Bildern in den Modellbau-Markt drängen, ergibt sich die Notwendigkeit von automatisch nachgeführten Antennensystemen, so genannten Antennen-Tracking-Verfahren. Auch für den Hobby-Modellbauer ist es daher sinnvoll, mehr über die Hintergründe dieser Technik zu verstehen.

Natürlich stellt sich die Frage, warum soll oder muss ich eine nachgeführte Antenne verwenden und wo liegen Vor- beziehungsweise Nachteile? Welche Möglichkeiten hat man, um eine Antenne automatisch nachzuführen? In diesem Beitrag wird auf Grundlagen und Basiswissen eingegangen und es werden die Optionen für den Modellbauer vermittelt.

Grundsätzlich wird unter Antennen-Tracking oder nur Tracking das automatische Nachführen einer Antenne verstanden, sodass sie immer in Richtung Flugobjekt zeigt. Die Notwendigkeit einer Nachführung ergibt sich immer bei Antennen die einen hohen Antennengewinn aufweisen. Solche Antennen eignen sich für die Überbrückung von großen Distanzen, sie weisen aber gleichzeitig immer einen

schmalen Winkelbereich auf, in dem dieser Gewinn (dBi) verfügbar ist: die so genannte Hauptkeule.

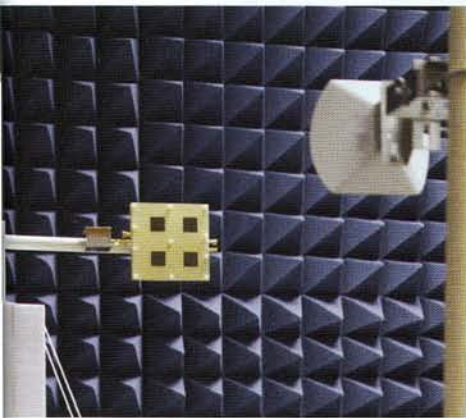
### Richt- und Rundfunk

Im Vergleich dazu muss eine rundumstrahlende (omni-direktionale) Antenne nicht nachgeführt werden, der Antennengewinn bei einer solchen Omni-Antenne ist aber sehr gering (typisch: 2 dBi) und große Distanzen lassen sich nur durch sehr hohe Sendeleistungen erzielen. Veranschaulicht betrachtet, wird bei einer Omni-Antenne die abgestrahlte Leistung gleichmäßig in der Umgebung verteilt, während bei einer nachgeführten Antenne mit hohem Gewinn (typisch: mehr als 12 dBi) die meiste Leistung direkt in Richtung des Flugobjekts dirigiert und so eine effizientere Übertragung möglich macht.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die verwendete Frequenz, denn bei einem Übertragungssystem mit unveränderten Antennengewinnen bei Sender und Empfänger steigen die Übertragungsverluste mit der Frequenz. Bei höheren Frequenzen benötigt man daher also mehr Antennengewinn, was schmalere Hauptkeulen und damit auch eine präzisere Nachführung notwendig macht, um eine lückenlose und fehlerfreie Übertragung zu garantieren.

### Fallstricke beim GPS

Sehr verbreitet sind GPS-Tracking-Verfahren. Das Flugobjekt überträgt dafür seine GPS-Koordinaten per Funk zur Bodenstation, wo diese mit den Koordinaten der eingenordeten Bodenstation verglichen werden. Ein Algorithmus steuert dann die Motoren oder Servos



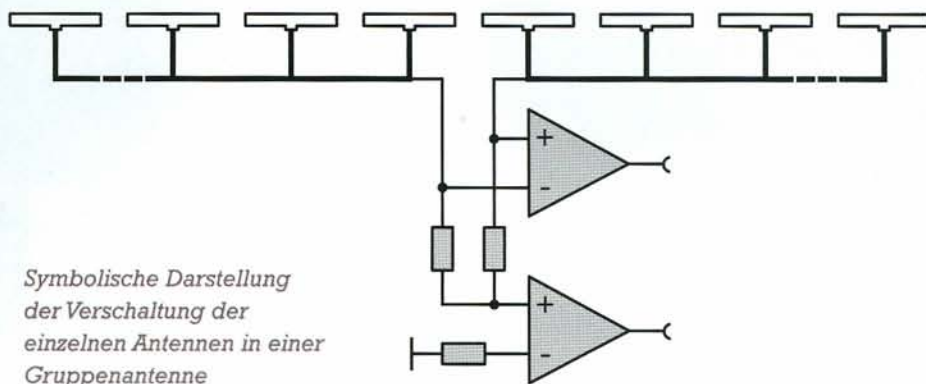
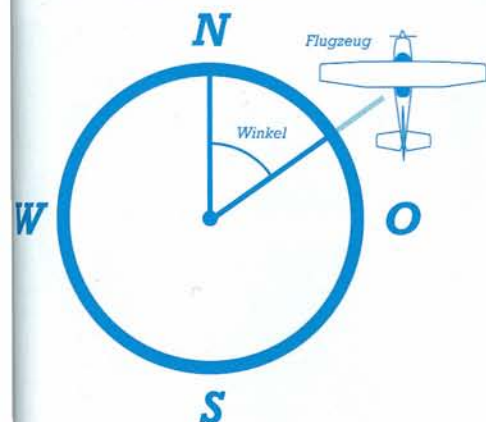
Je exakter die Ausrichtung der Antenne erfolgt, desto größere Distanzen können die Daten bei gleicher Sendeleistung überwinden

der Antennenaufhängung so, dass die Antenne der Bodenstation in Richtung Flugobjekt zeigt.

Im Flugobjekt ist also ein GPS-Empfänger und ein Funkmodem erforderlich, um fortlaufend die Koordinaten zum Boden zu senden. Dies geht auf Kosten von Gewicht, Stromverbrauch und der Belegung von freien Video-, Audio- oder Telemetrikkanälen.

Weiteres müssen solche Systeme initialisiert werden, damit Koordinaten und Ausrichtung der Bodenstation bekannt sind. Zu Problemen bei GPS-Trackern zählen auch die ungenaue und träge Höheninformation, welche die Nachführung in der Elevationsachse erschwert. Ebenfalls ist die Rate, mit der die GPS-Koordinaten vom GPS-Modul ermittelt werden (einmal pro Sekunde bei zivilen GPS-Empfängern), bei schnellen Überflügen über die Bodenstation oft nicht ausreichend. Ein fundamentales Problem ist ferner, dass wenn einmal die Funkverbindung abreißt, keine weiteren Daten zum Tracking zur Verfügung stehen. Dieses Problem kann umgangen werden, wenn für die Koordinatenübertragung ein

Das (vereinfachte) Funktionschema eines Antennentrackers



Symbolische Darstellung der Verschaltung der einzelnen Antennen in einer Gruppenantenne

eigenes Funkmodem verwendet wird, welches auf einer separaten Frequenz sendet und nicht die Trackingantenne benutzt. Es ergibt sich damit aber wieder zusätzlicher Stromverbrauch, Gewicht und meist eine zusätzliche Antenne am Flugobjekt.

### Alternativen zum GPS

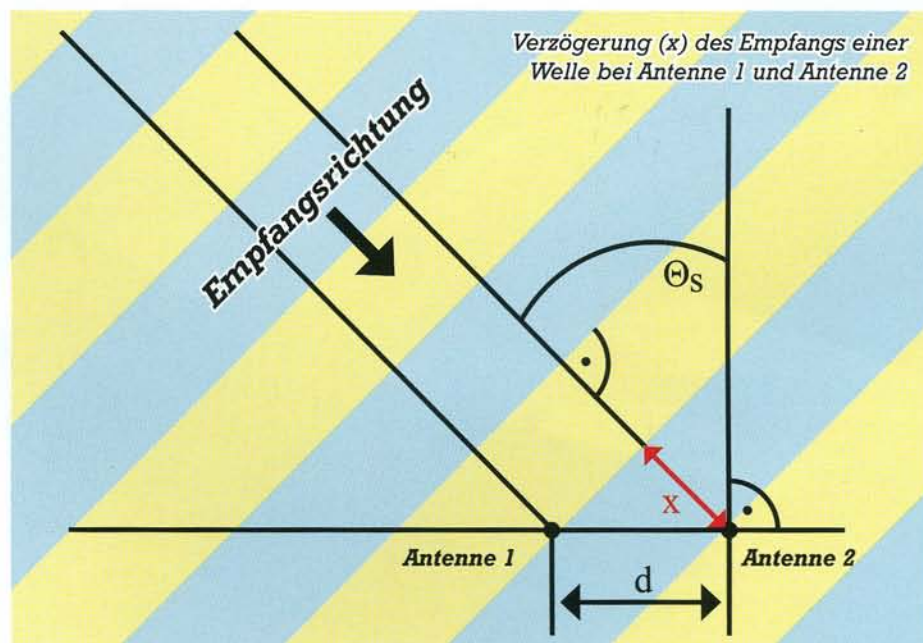
Es gibt aber andere Verfahren, die nicht auf GPS-Koordinaten basieren, sondern die Richtung des ankommenden Empfangssignals messen. Diese Systeme brauchen kein eigenes Funkmodem, sondern können beispielsweise direkt das kontinuierlich gesendete Signal des Videosenders tracken.

Diese Verfahren sind in der Radartechnik schon seit Jahrzehnten bekannt und werden zur genaueren Positionsbestimmung von Flugkörpern eingesetzt. Die Technik die sich vom Aufwand her am ehesten für den Modellbau-Bereich einsetzen lässt heißt Monopuls- oder Interferometer-Verfahren. Diese Verfahren können aufgrund des besonderen Antennenaufbaus die Richtung des ankommenden Signals detektieren.

Als Basis dient eine Gruppenantenne, die sich aus mindestens zwei – meistens aber vier – einzelnen Antennenelementen zusammensetzt. Die empfangenen Signale werden jedoch nicht einfach nur summiert, wie das bei einer Gruppenantenne üblich ist, sondern es werden zusätzlich auch Differenzsignale erzeugt. Dies kann relativ einfach durch die Verwendung von speziellen Richtkopplern (Hybrid-Schaltungen) geschafft werden. Das obige Bild zeigt symbolisch, wie die Elemente einer solchen Gruppenantenne zusammengeschaltet werden.

### Phasenverschiebung

Im nächsten Schritt wird gezeigt, welcher Zusammenhang zwischen den Signalen an der Antenne und der Empfangswelle besteht. Das Bild zeigt eine Welle, dargestellt in blau-gelb (Wellentäler und -berge). Diese Welle trifft auf zwei Antennen (Ant1 und Ant2) im Abstand „d“. Die Wellenfront trifft im Winkel  $\Theta_S$  zur Normalebene auf die beiden Antennen. Entsprechend des Einfallswinkels  $\Theta_S$  trifft die Wellenfront zuerst auf die Ant1 und zeitlich verzögert wegen der örtlichen



# Telemetrie

## Bezug

Pidso, Phorusgasse 8, 1040 Wien  
E-Mail: office@pidso.com  
Internet: www.pidso.com

Distanz „x“ auf die Ant2. Dies hat zur Folge, dass das Empfangssignal an der Ant2 eine Phasenverschiebung  $\Delta\phi$  zum Signal an Antenne 1 aufweist.

Nun soll mathematisch gezeigt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen der Phasenverschiebung der Empfangssignale und dem Einfallswinkel gibt.

Zuerst gilt für das rechtwinkelige Dreieck die folgende Beziehung zwischen x und  $\Theta_S$ :

$$x = d \cdot \sin \Theta_S$$

Des Weiteren gilt folgende Übereinstimmung für Phase einer sich im Raum ausbreitenden Welle:

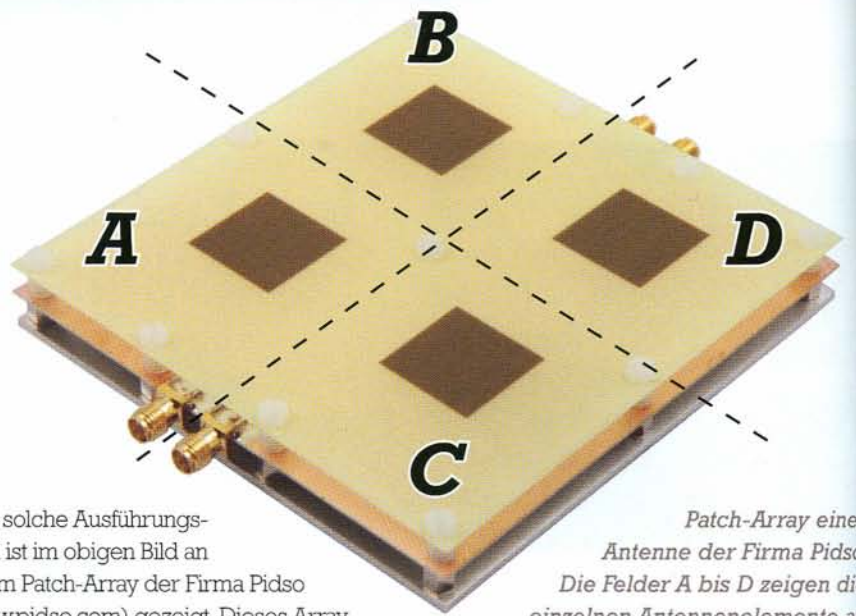
$$\frac{360^\circ}{\Delta\phi} = \frac{\lambda}{d}$$

Somit kann nun die erste Beziehung eingesetzt werden, sodass die Phasenverschiebung proportional des Einfallswinkels ist:

$$\Delta\phi = \frac{360^\circ \cdot d \cdot \sin \Theta_S}{\lambda}$$

Um eine eindeutige Zuordnung des Empfangswinkel zu garantieren, muss der Abstand d oder kleiner als  $\lambda/2$  sein.

Somit werden minimal zwei Antennen benötigt, um eine Winkelbestimmung durchzuführen. Soll dies in Elevation und Azimuth erfolgen, ist es naheliegend eine 2 x 2-Gruppenantenne zu verwenden.



Patch-Array einer Antenne der Firma Pidso. Die Felder A bis D zeigen die einzelnen Antennenelemente an

Eine solche Ausführungsform ist im obigen Bild an einem Patch-Array der Firma Pidso (www.pidso.com) gezeigt. Dieses Array hat bereits die Richtkoppler zur Summen und Differenzenbildung integriert. An den Seiten der Antenne werden die benötigten drei Anschlüsse und ein weiterer Differenzport zur Verfügung gestellt. Zum besseren Verständnis sind die Elemente des Arrays mit den Buchstaben A bis D versehen.

Die folgenden Gleichungen zeigen nun, welche Antennenelemente wie miteinander verschaltet sind und welche Information daraus gewonnen werden kann:

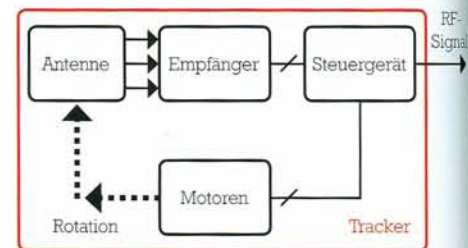
$$\text{Summe} = A + B + C + D$$

$$\text{Azimuth-Delta: } (A + C) - (B + D)$$

$$\text{Elevations-Delta: } (A + B) - (C + D)$$

Das Summen-Signal wird zum Empfang verwendet, die beiden Delta-Signale zur Steuerung der Mechanik. Durch Auswertung der Phase zwischen dem Summen und dem jeweiligen Differenzsignal wird

der genaue Einfallswinkel des Empfangssignals in Elevation und Azimuth ermittelt. Mit dieser Information kann ein Motortreiber präzise angesteuert werden.



Blockschaltbild eines Monopuls-Trackers

Das Blockschaltbild verdeutlicht den Aufbau eines Monopuls-Trackers. Die Antennenausgänge werden im Empfänger (RX) gefiltert und verarbeitet. Die Control-Unit steuert die Motoren und beinhaltet den Tracking-Algorithmus. Die Algorithmen zur Auswertung und Motorsteuerung sind eines der Kernstücke des Trackers. Die Control-Unit kann auch zusätzlich noch weitere Eingangsgrößen wie GPS-Koordinaten oder nützliche Telemetriedaten verarbeiten, um die Genauigkeit weiter zu erhöhen. ■

Eine fertig installierte Trackingantenne beeindruckt nicht nur Laien



Richtig getrackt, steht dem FPV-Vergnügen nichts mehr im Wege

