



Parasol GmbH & Co. KG · Sönke-Nissen-Koog 58 · 25821 Reußenköge

Einleitung

Aufgrund der AVV (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen) muss jede Windkraftanlage ab einer Höhe von 100 Metern für die Luftfahrt gekennzeichnet werden. Tagsüber ist die Kennzeichnung mittels roter Blattspitzen oder u. a. mit einer weißen Tagbefeuerung ausreichend und für die Anwohner selten störend. Anders gestaltet sich der Fall bei der Nachtkennzeichnung von Windkraftanlagen. Die Nachtkennzeichnung die unter Verwendung von einem roten Hindernisfeuer erfolgt, macht den Nachthimmel hell, unruhig und wird daher als lästige Begleiterscheinung der Windkraft gesehen.

Um die Bürgerakzeptanz gegenüber der Windkraft zu fördern, hat der Dirkshof in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut ein Passiv-Radar-System „Parasol“ entwickelt, dass in der Lage ist, ohne die Freisetzung von Emissionen, Flugobjekte zu detektieren. Damit ist es möglich, die Befeuerung der Windkraftanlagen nur dann einzuschalten, wenn sich tatsächlich ein Flugobjekt in der Nähe des Windparks befindet. Dies ermöglicht uns, die Nächte 95% dunkel zu schalten, der Umwelt so die gewünschte Ruhe zu geben und die Bürgerakzeptanz vor Ort zu stärken.

Seit unserer Anerkennung am 16. Mai 2018 durch die DFS (Deutsche Flugsicherheit GmbH) beweist unser System in einem großen Windpark in Nordfriesland, dass es eine Alternative zu Aktiv-Radar-Systemen gibt. Dieses Dokument soll eine allgemeine Funktionsbeschreibung sowie die Installationsmöglichkeiten und das Vorgehen für die Anschaffung des Systems vermitteln.

1. Allgemeine Funktionsweise des Passivradar-Systems Parasol

Das Parasol-System sendet - anders als herkömmliche Radarsysteme - keine eigene elektromagnetische Strahlung aus, sondern verwendet die Signale der Radio- und Fernsehsender, die bereits in der Umgebung vorhanden sind. Damit wird eine weitere unnötige Strahlenbelastung der Bevölkerung verhindert.

Ein Sensor besteht aus zwei Antenneneinheiten. Eine Antenne wird zum Empfang des direkten, vom Radio- oder Fernsehsender ausgehenden, Signals verwendet. Die andere Antenne empfängt das Signal, welches vom Flugobjekt reflektiert wird. In Abbildung 1 ist der Zusammenhang schematisch dargestellt. In Blau ist das direkte Signal abgebildet, in Rot der Signalweg über die Reflexion am Flugzeug.

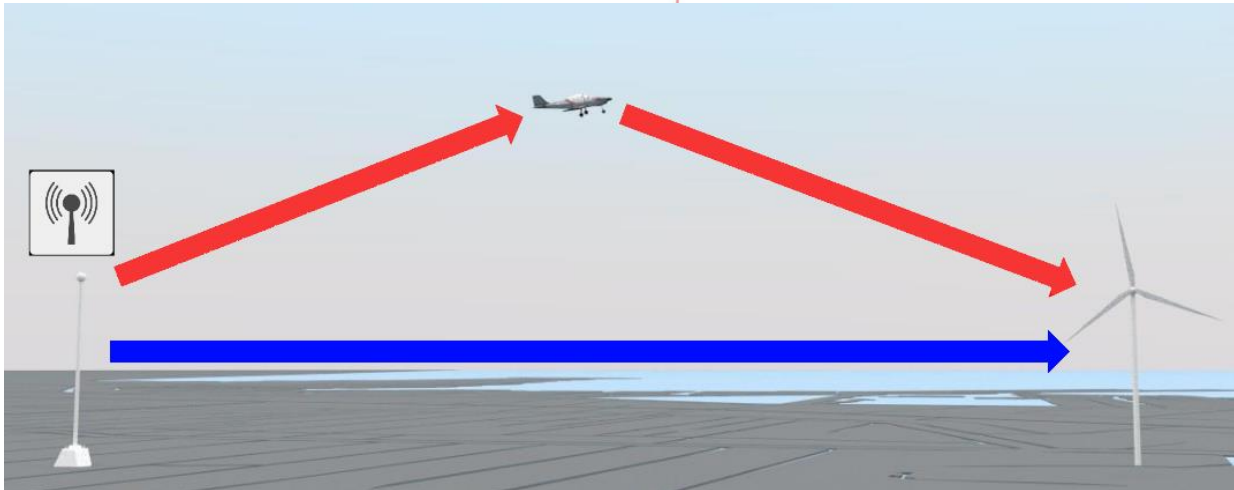


Abbildung 1: Die jeweiligen Signalwege zwischen Sender, Flugzeug und Sensor

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, legen beide Signale einen unterschiedlich langen Weg zurück und erreichen nicht zum selben Zeitpunkt den Empfänger. Da sich elektromagnetische Wellen konstant mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, kann eine Laufzeitdifferenz ermittelt werden. Anhand dieser Zeitverschiebung kann die relative Position des Flugobjektes zwischen Sender und Antenne berechnet werden. Weiterhin entsteht durch die Bewegung des Flugobjektes ein Dopplereffekt, welcher die Berechnung eines Geschwindigkeitsvektors (Geschwindigkeit und Richtung des Flugobjektes) ermöglicht.

Eine Entfernungsangabe allein reicht jedoch nicht aus, um die exakte Position des Flugobjektes im Wirkraum zu bestimmen. Wird der geometrische Zusammenhang auf einer zweidimensionalen Karte übertragen, ergibt sich eine Ellipse auf deren Kanten sich das Flugobjekt befindet, dies ist in Abbildung 2 gezeigt.

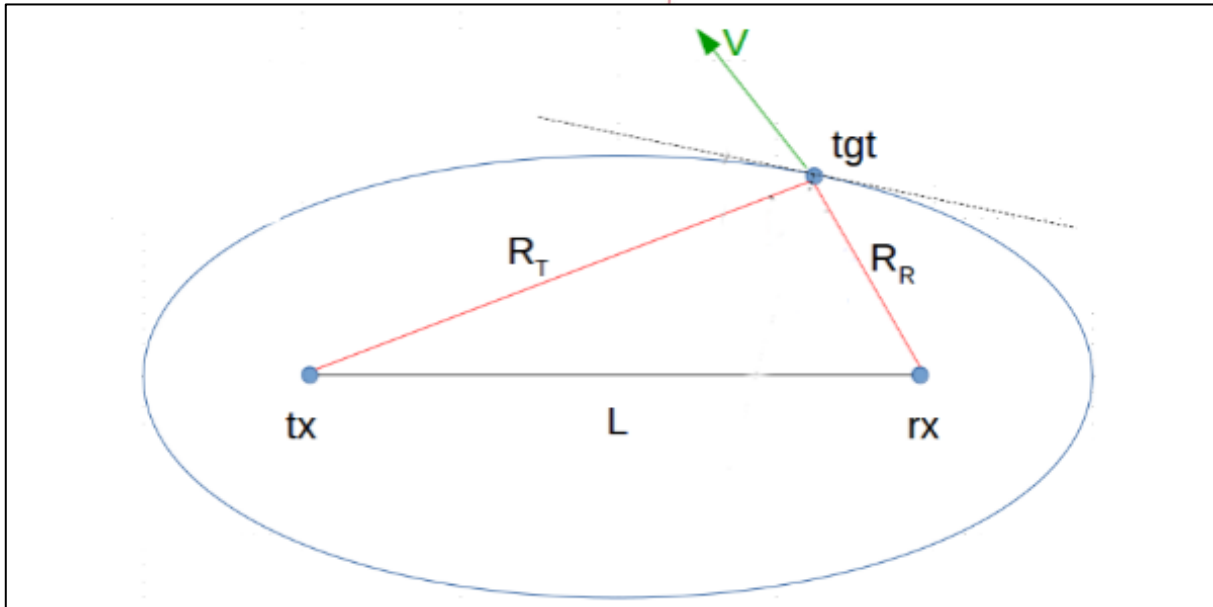


Abbildung 2: Darstellung des geometrischen Zusammenhangs

Ähnlich wie in Abbildung 1 ist hier noch einmal deutlicher der geometrische Zusammenhang dargestellt.

In der Abbildung 2 ist der Sender mit tx und der Sensor mit rx dargestellt.

Sender und Sensor haben zueinander die Entfernung L , über die auch das direkte Signal übermittelt wird.

Das reflektierte Signal setzt sich aus den Strecken R_T - die den Weg von Sender zum Flugobjekt (tgt) darstellt sowie die Strecke R_R , welches die Strecke vom Flugobjekt zum Sensor abbildet - zusammen.

Es kann die Zeitverschiebung zwischen dem direkten Signal und dem reflektierten Signal gemessen werden. Damit ist auch die Länge des Wegs des reflektierten Signals bekannt, also die Summe der Wege von R_T und R_R .

Es ist allerdings nicht bekannt, wie lang die einzelnen Strecken R_T und R_R sind, daher ergeben sich für die beiden Strecken verschiedene Lösungen und jede Lösung ergibt einen Punkt auf der Ellipse. Das heißt, dass nicht genau bekannt ist, wo sich das Flugobjekt befindet, sondern lediglich, dass es sich irgendwo auf der Ellipsenkante befindet. Genauer muss gesagt werden, dass es sich um ein dreidimensionales Problem handelt, daher ist die Ellipse ein Ellipsoid und das Flugobjekt befindet sich auf der ellipsoiden Oberfläche.

Damit nun eine exakte Position des Flugobjektes bestimmt werden kann, werden zwei weitere Antennen benötigt. Alle drei Sensoren berechnen ihren Ellipsoiden. Die drei Sensoren werden als Cluster bezeichnet.

Die exakte Position bestimmt sich anschließend aus dem Schnittpunkt der drei Ellipsoiden, wie Abbildung 3 zeigt.

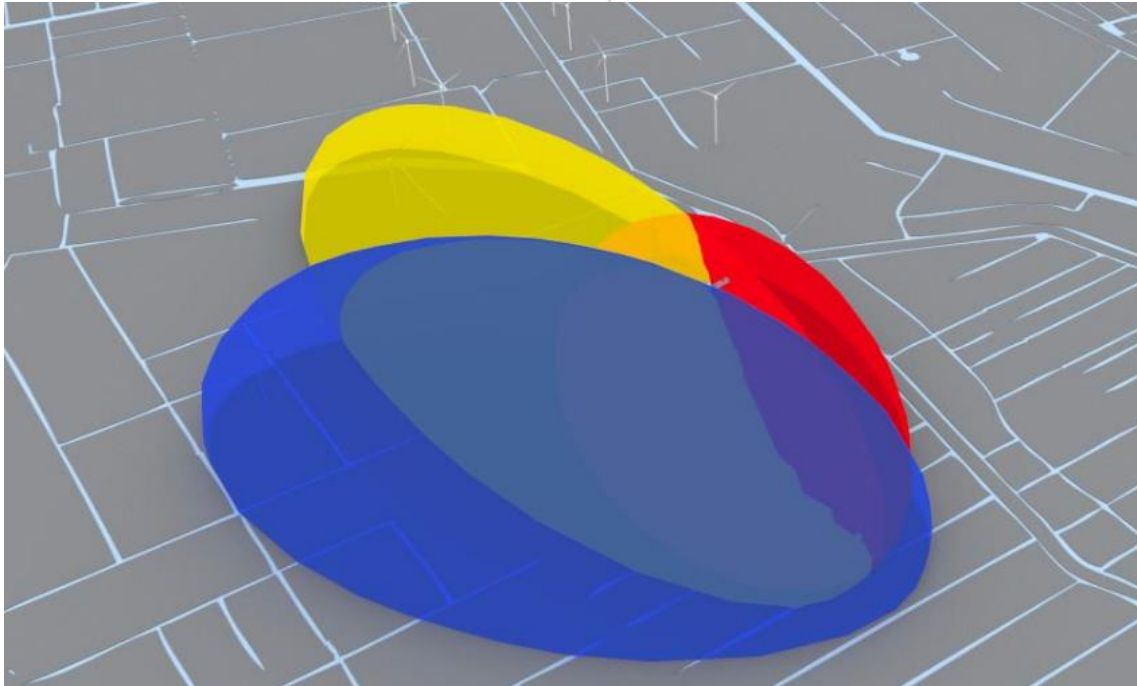


Abbildung 3: Ellipsoiden Schnittfläche

Die Windkraftanlagen, welche bedarfsgerecht befeuert werden sollen, besitzen einen Sicherheitsabstand von einigen Kilometern. Dies wird als Wirkraum bezeichnet. Die berechnete Position wird dann mit dem aufgespannten Wirkraum abgeglichen und wenn sich ein Flugobjekt innerhalb des Wirkraumes befindet, wird die Beleuchtung aktiviert.

2. Installationsvoraussetzungen

2.1 Aufstellen des Clusters

Wie beschrieben, besteht das Parasol-System aus drei Sensorstandorten. Jeder Sensorstandort besteht aus zwei Antenneneinheiten und einem Rechner. Die Standorte sind selbst ungefähr auf den Eckpunkten eines Dreiecks mit einer Seitenlänge von 1.000 m angeordnet und diese müssen mit 1 GeBit Ethernet dediziert (Lichtwelle) untereinander verbunden sein (eigenes direktes Netzwerk, es muss also keine direkte Verbindung sein).

Es sind zwei mögliche Variationen für die Standorte vorgesehen. Die erste Möglichkeit wäre die Sensoren direkt an den Windkraftanlagen zu befestigen. Diese Möglichkeit funktioniert jedoch nur, wenn entweder die Windkraftanlagen nicht zum Wirkraum gehören oder es mehr als ein Cluster gibt. Die Installation der Sensoren an einer Windkraftanlage ist in Abbildung 4 dargestellt. Die andere Möglichkeit wäre, mit separaten Masten für die Sensoren zu arbeiten.

2.1.1 Sensoreninstallation an einer Windkraftanlage



Abbildung 4: Beispiel Befestigung der Antennen an einer Windkraftanlage

Auf der rechten Seite der Windkraftanlage ist die Parasol-Antenne (Abmessung ist in Abbildung 6 zu sehen) angebracht, die das reflektierte Signal des Flugobjektes im Wirkraum aufzeichnet. Auf der linken Seite ist eine Yagi-Antenne (eine herkömmliche Fernsehantenne) zu erkennen, diese nimmt das direkte Signal des Fernsehsenders auf. Beide Antennen können über zwei Möglichkeiten befestigt werden:

1. Befestigung mit Hilfe eines Spannrings (wie in Abbildung 4):
Die Spannrings werden ohne Bohrlöcher um die Windkraftanlage gelegt und halten sich lediglich über die Spannkraft am Ort. Diese Methode ist also reversibel (wie in Abbildung 5).



Abbildung 5: Befestigung / Abnahme von Spannringen an einer Windkraftanlage

2. Befestigung mit Hilfe von Bohrlöchern:

Die zweite Möglichkeit sieht vor, dass mit Hilfe von Bohrlöchern die Antennen befestigt werden. Dazu sind vier Löcher für die rechte Antenne notwendig (Abmessung der Löcher können der Abbildung 6 entnommen werden) und ein Bohrloch für die Yagi-Antenne.

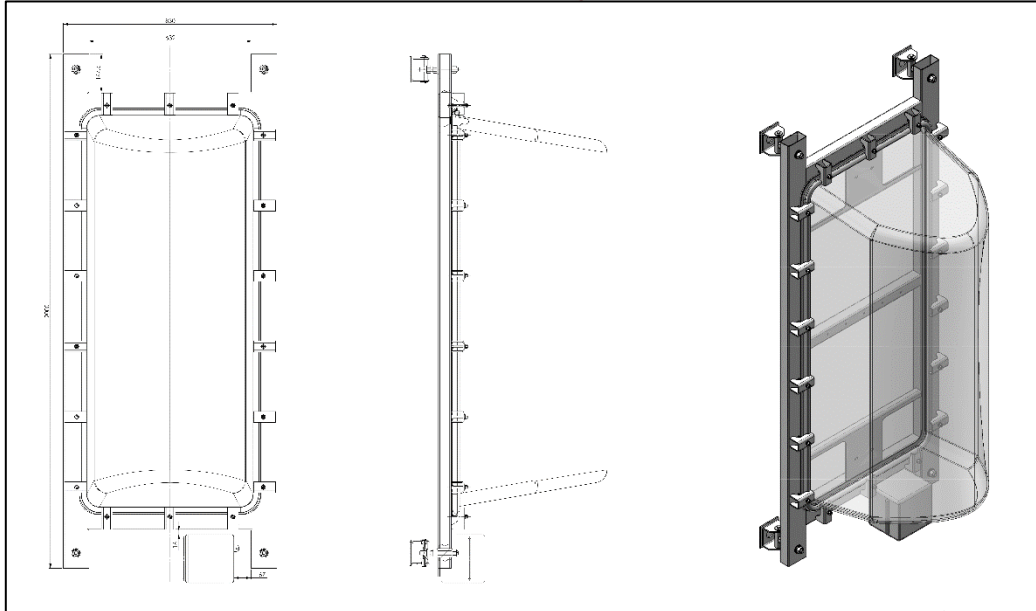


Abbildung 6: Abmessung der Antenne

Die Antennenkabel werden mit Magneten befestigt und die Rechner stehen in der Windkraftanlage. Die Kabelverbindungen der Antennen müssen in den Turm gelegt werden. Sofern Lüftungsschlitze oder andere Öffnungen vorhanden sind, können diese dazu verwendet werden. Es handelt sich hier um drei Kabel mit einem Stecker-Durchmesser von 16 mm (N-Stecker). Das Kabel besitzt zwar einen kleineren Durchmesser, jedoch kann der Stecker nicht abgenommen werden. Weiter muss noch ein GPS-Kabel mit einem Steckerdurchmesser von 8 mm (SMA-Stecker) verlegt werden.

In der Windkraftanlage muss eine 230 V Steckdose für die Rechner bereitstehen. Weiterhin muss die Lichtwellenleitung zu den anderen Sensoren vorhanden sein, ein Internetanschluss für externe Wartung und eine Netzwerkmöglichkeit (das sogenannte Parasol-Netz) um das Überwachungssignal an die Anlagen zu senden (also ob das Flugobjekt im Wirkraum ist oder nicht, siehe dazu unten).

2.1.2 Sensorstandort als separater Mast

Wenn keine Windkraftanlagen für die Befestigung der Sensoren in Frage kommen, gibt es die Möglichkeit separate Masten aufzustellen. Ein Beispiel für den Aufbau ist in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: Beispiel Befestigung der Antennen an einem separaten Mast

Der separate Mast ist, sofern möglich, unter 10 m und damit nicht baugenehmigungspflichtig. Am Fuß des Mastes muss noch eine KVZ (Kabelverzweigung) aufgestellt werden, in der der Rechner untergebracht werden kann.

Die KVZ benötigt eine 230 V Stromanschluss, die Lichtwellenverbindung zu den beiden anderen Sensoren, sowie einen herkömmlichen Internetanschluss und einen Netzwerkzugang (Parasol-Netz), um das Überwachungssignal an die Windkraftanlagenbefehrerung weiter zu geben (also ob sich momentan ein Flugobjekt im Wirkraum befindet und ob befehrt werden muss).

2.2 Anschluss der Befeuerung

Der Anschluss des Parasol-Systems an die eigentliche Befeuerung der Windkraftanlagen ist je nach Hersteller sehr individuell. Hier sollen zwei Varianten aufgezeigt werden, es gibt jedoch noch andere Möglichkeiten, die von der verbauten Technik abhängig sind.

2.2.1 Befeuerungsansteuerung jeder einzelnen Anlage

Sämtliche Windkraftanlagen, die bedarfsgerecht befeuert werden müssen, benötigen für diese Lösung einen Netzwerkzugang, zu dem oben erwähnten Parasol-Netz. An dieses Netzwerk wird ein Parasol-Connector angeschlossen, der der Befeuerung (zum Beispiel einer Orga-Anlage) mitteilt, in welchem Betriebsmodus sie gerade arbeitet und ob sie jetzt gerade das Gefahrenfeuer anschalten muss. (Der Betriebsmodus wäre: Herkömmliche Befeuerung oder bedarfsgerechte Befeuerung).

Der Vorteil ist in diesem Fall, dass jede Windkraftanlage einzeln befeuert werden kann, jedoch der Aufwand der Installation größer ist als bei der Nutzung eines Scada-Systems.

2.2.2 Befeuerungsansteuerung über das Scada-System

Einige Scada-Systeme managen die Befeuerung in einem Windpark. Daher wäre eine weitere Möglichkeit, direkt das Scada-System zu informieren, ob bedarfsgerecht befeuert wird und ob momentan ein Flugobjekt im Wirkraum ist. Dazu benötigt der Scada-Rechner einen Parasol-Connector und der Connector benötigt Zugang zu dem oben erwähnten Parasol-Netz.

3. Allgemeines Vorgehen

Wenn das Parasol-System für die bedarfsgerechte Befeuerung in Betracht gezogen wird, besteht das allgemeine Vorgehen aus folgenden Punkten:

1. Der Kunde teilt mit, welche Windkraftanlagen befeuert werden sollen. Hierfür existiert ein Formular. Wichtig dabei sind vor allem die Koordinaten der Windkraftanlagen. Anhand der Koordinaten kann der Wirkraum aufgespannt werden. Der Wirkraum ist der Raum, in dem Flugobjekte detektiert werden müssen. Dieser ist laut der Luftaufsicht 4 km um die jeweilige Windkraftanlage. Nach der Berechnung des Wirkraumes, kann die grobe

theoretische Dislozierung beginnen. In der Dislozierung wird berechnet, wie viele Cluster benötigt werden und wo diese stehen müssen. Außerdem wird berechnet, welche räumliche Abdeckung erreicht werden kann.

2. Anhand der Dislozierung kann ein Angebot erstellt werden, da nun bekannt ist wie viele Cluster benötigt werden und welcher Aufwand betrieben werden muss.
3. Es folgt die Auftragsgestaltung.
4. Nach der Auftragserteilung wird eine komplette Dislozierung des Windparks berechnet. Anschließend wird das Dislozierungsergebnis mit der mobilen Einheit praktisch vor Ort nachgemessen, dafür fliegt ein Flugzeug den Wirkraum ab. (Abbildung 8)



Abbildung 8: Beispiel zum Abfliegen des Wirkraumes

5. Wenn der praktische Test erfolgreich war, werden die Sensoren fest installiert und die Befeuerung wird an das Parasol-System angeschlossen. Anschließend folgt ein erneuter Testflug.
6. Nach dem erfolgreichen zweiten Test erfolgt eine Abnahme des gesamten Systems durch die DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH).
7. Mit der Abnahme wird eine Änderung der Baugenehmigung der Windkraftanlagen eingereicht, da diese nun bedarfsgerecht befeuert werden sollen.
8. Abschließend wird bedarfsgerecht gesteuert.