

---

# Passiv Radar Kollisionswarnung an Windenergieanlagen

---

- Einschalten der Befeuerung nur bei Annäherung eines Luftfahrzeugs (LFZ)
- Keine Warnauslösung bei Vogelschwärmen
- Integration in Windpark-Infrastruktur

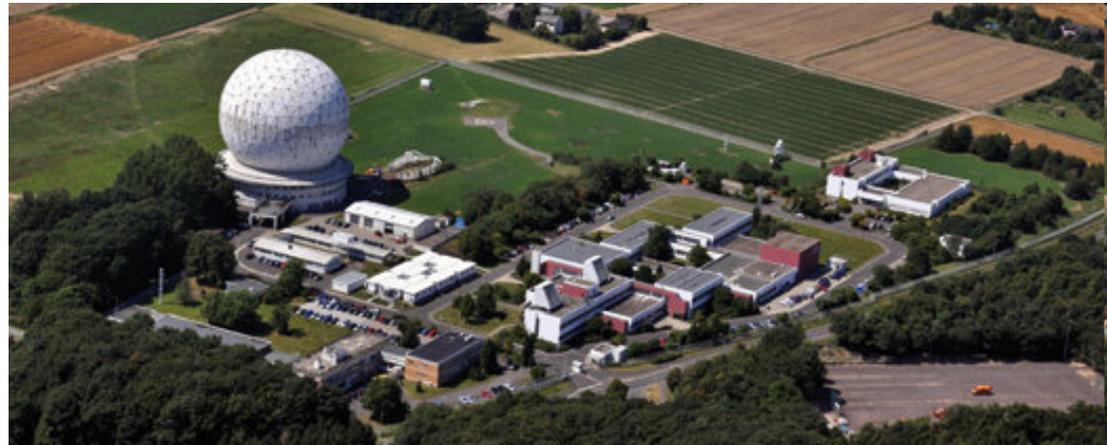
**Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR** befasst sich seit über fünfzig Jahren mit der Weiter- und Neuentwicklung von Radarverfahren und schreibt damit die Geschichte des Radars seit mehr als der Hälfte der Zeitspanne seit seiner Patentierung im Jahre 1904 durch Christian Hülsmeier mit.

Wir entwickeln

- Konzepte, Verfahren und Systeme für die elektromagnetische Sensorik
- die damit verbundene Signalverarbeitung
- neue Technologien vom Mikrowellen- bis in den Terahertzbereich.

## Geschäftsfelder

- Radar zur Weltraumbeobachtung
- Boden- und Luftaufklärung
- Sicherheit und Schutz
- Hochfrequenzsysteme für Industrie und Landwirtschaft
- Verkehr und Umwelt
- Antennen und elektromagnetische Modellierung

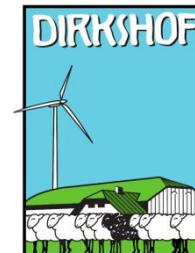


Passiv Radar basierte  
Schaltung der  
Objektkennzeichnung für die  
Luftfahrt

Gefördert durch das Bundesministerium für  
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen  
Bundestages



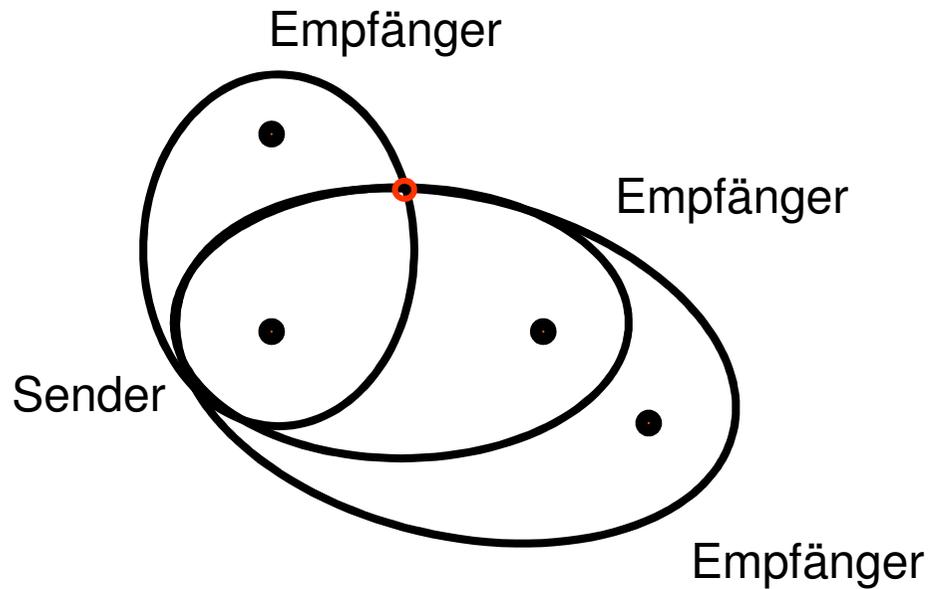
In Kooperation mit  
Dirkshof  
und  
Industrial Electronics



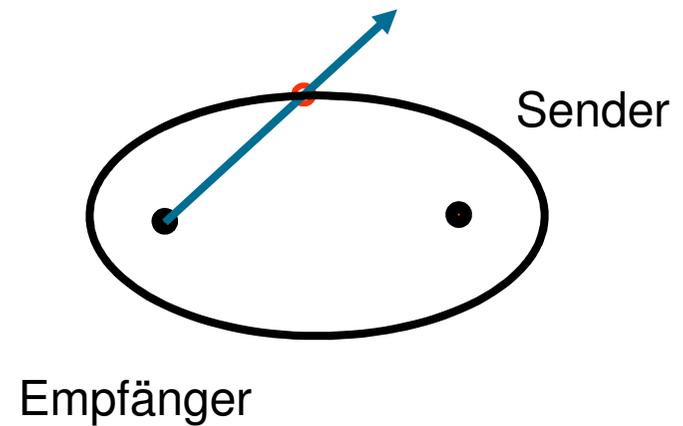
# Passiv Radar Ortungsverfahren

Radar ohne eigene Emissionen

Nutzung von DVB-T und DAB+



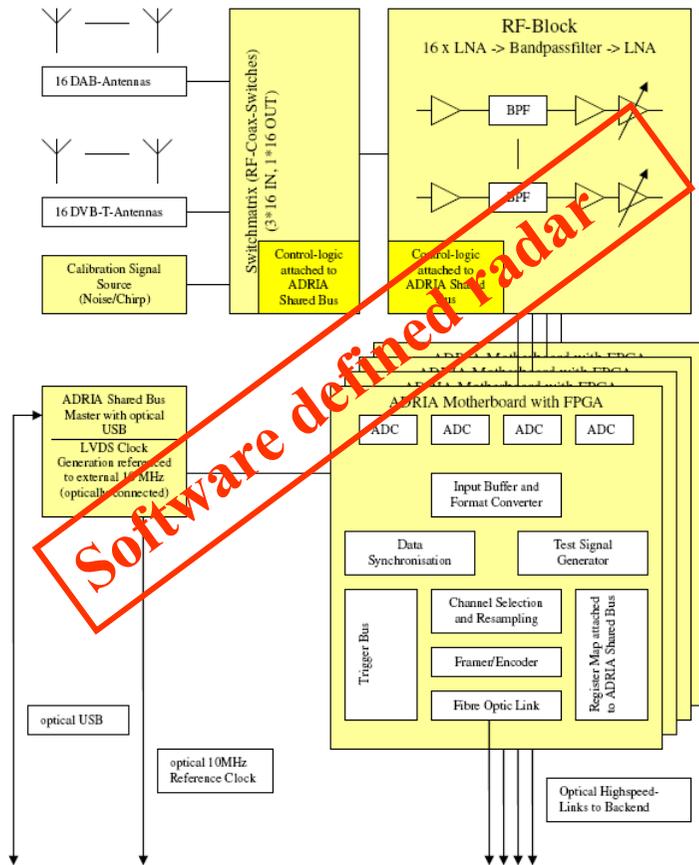
Multi-Sensor-Verfahren



Umweg-Richtungs-Ortung

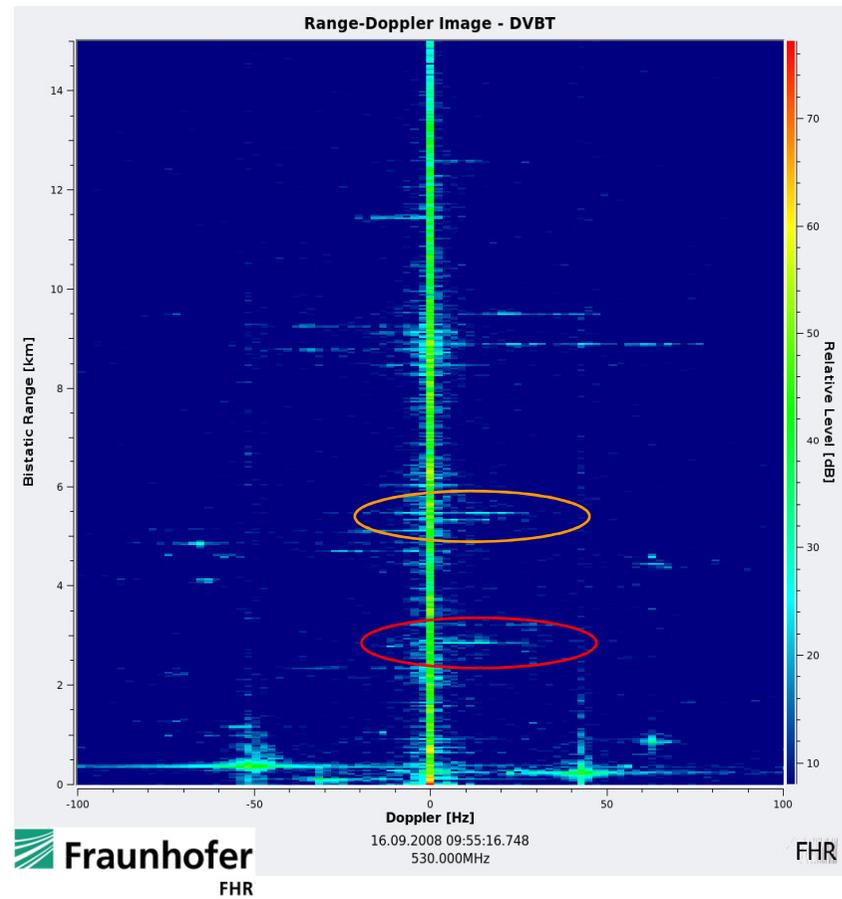
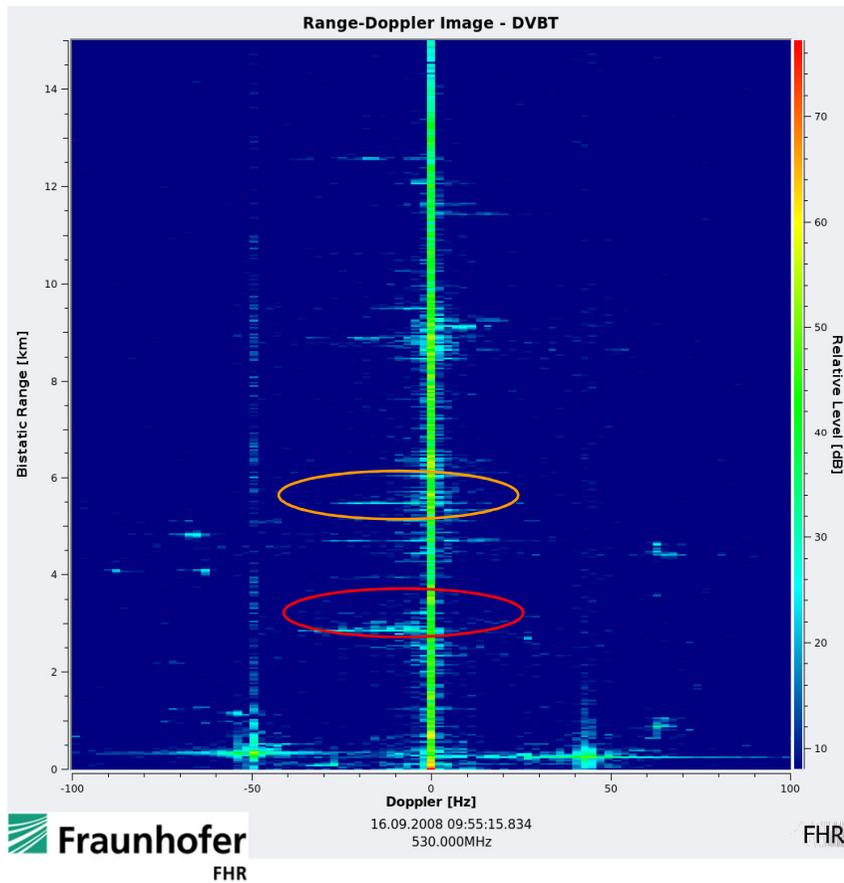
# Passiv Radar Erfahrung bei Fraunhofer: WEA-Messungen mit dem Experimentalsystem CORA (software defined radar front-end)

(FHR development)

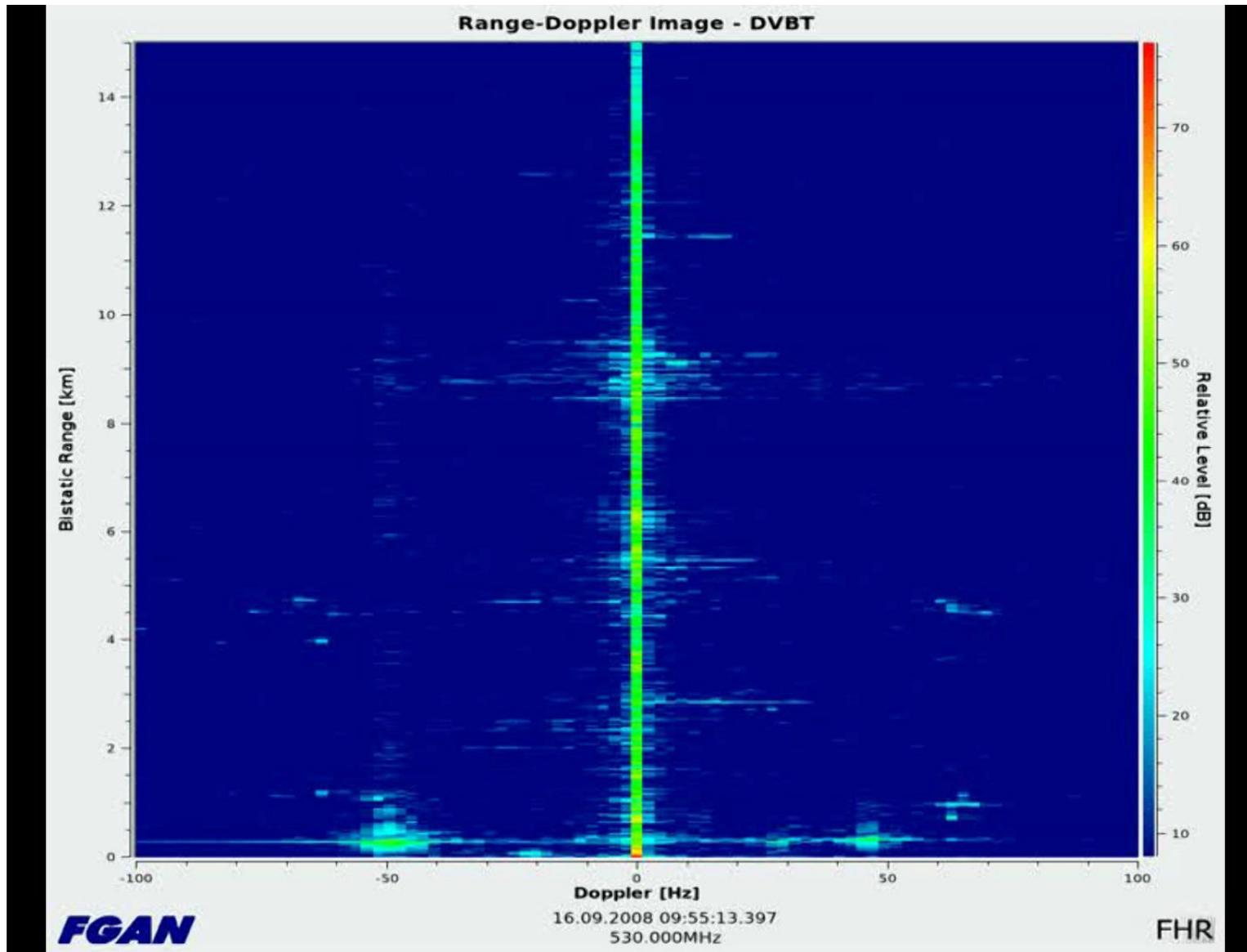


Software defined radar





WEA-Rotorechos mit alternierend positivem und negativem Doppler



# Vorteile und Herausforderungen bei Passiv Radar

## Vorteile

- Keine Frequenzzuteilung erforderlich
- Keine zusätzliche elektromagnetischen Emissionen
- Kostengünstiger als aktiv Radar da kein eigener Sender nötig
- DVB-T (DAB+) als Sender flächendeckend verfügbar
- Keine Witterungseinflüsse

## Herausforderungen

- Objektklassifizierung (Vogelschwärme/kleine LFZ/Bodenfahrzeuge)
- Objekthöhenmessung
- Sensordislozierung

# Objektklassifizierung

LFZ-Echos: punktueller Doppler, veränderliche Umwegentfernung

KFZ-Echos: punktueller Doppler, veränderliche Umwegentfernung,  
aber: geringere Geschwindigkeit als LFZ und Bewegung auf immer  
gleichen Spuren sowie erdgebunden

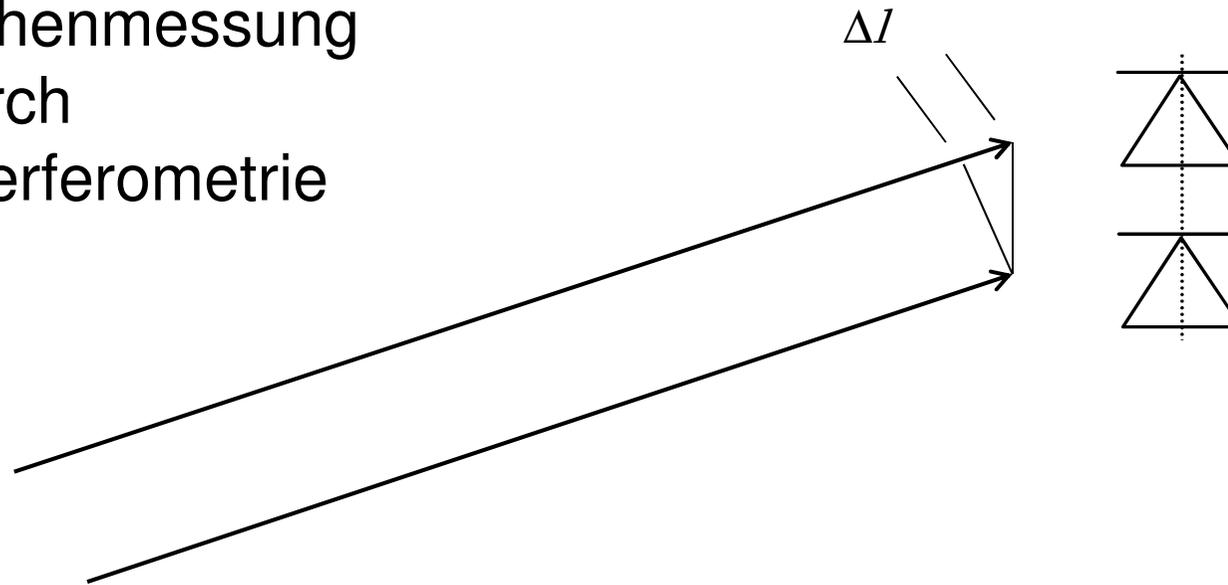
Rotorechos: gespreizter Doppler, konstante Entfernung

Vogelschwärme: Geringes Echo, „Doppler/Entfernungs-Wolke“

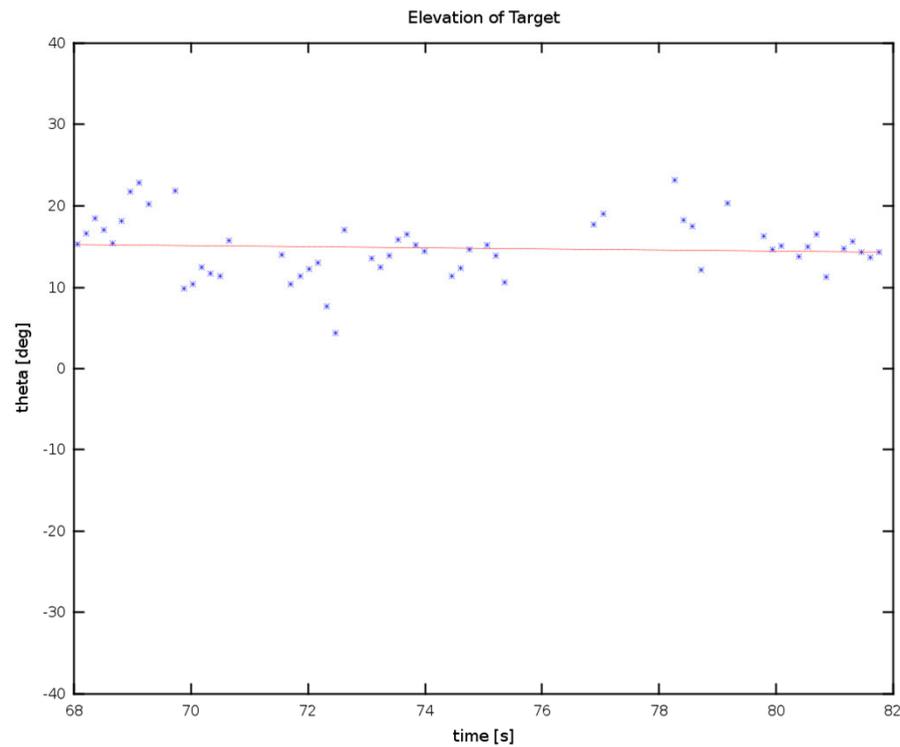
Regen, Wolken: vernachlässigbares Echo

# Unterscheidung von Bodenfahrzeugen von Luftfahrzeugen in niedriger Höhe zur Vermeidung von Falschalarmen

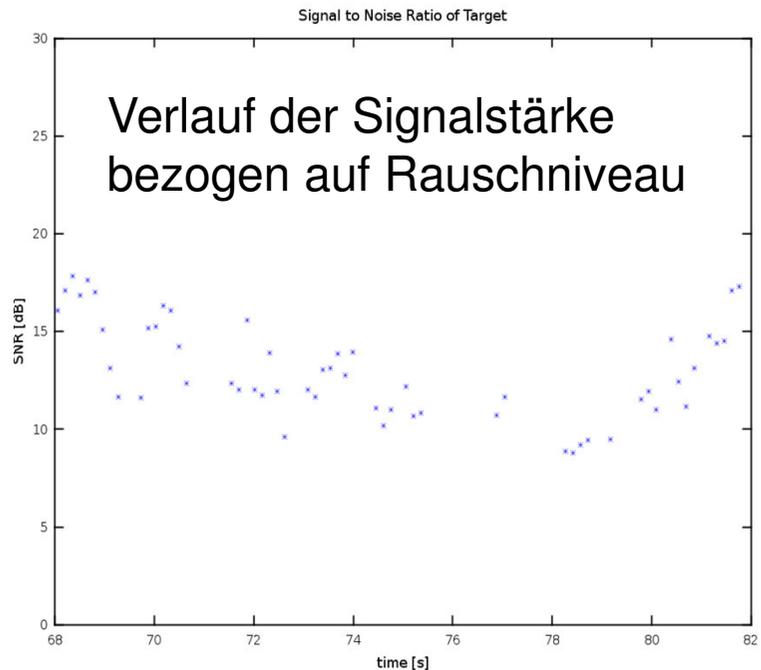
Höhenmessung  
durch  
Interferometrie



# Zielhöhenmessung



ca. 17°



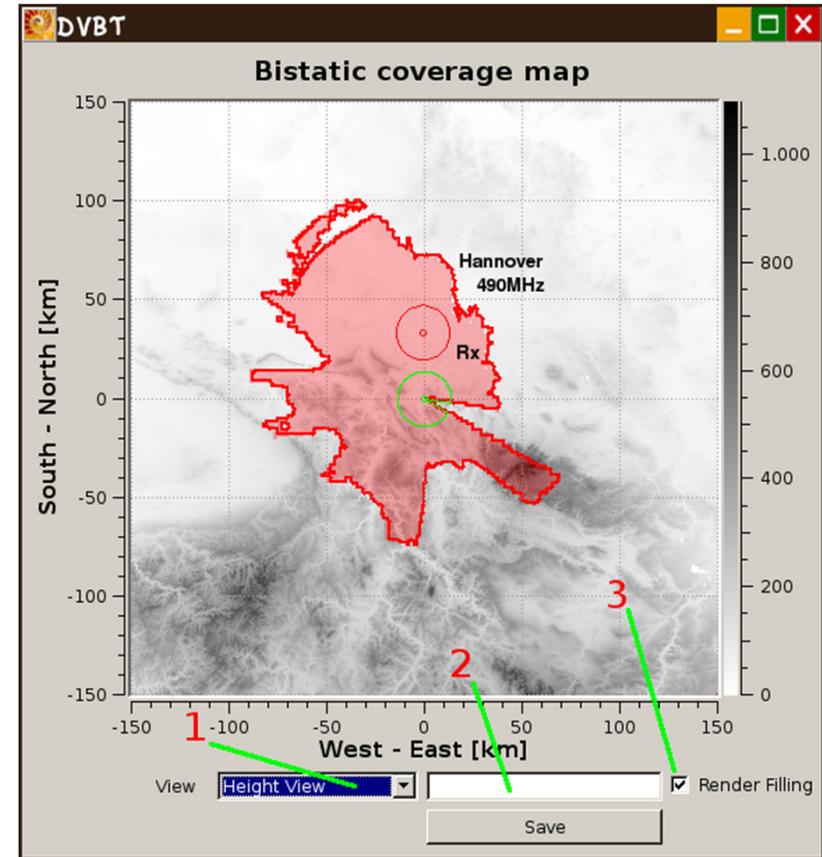
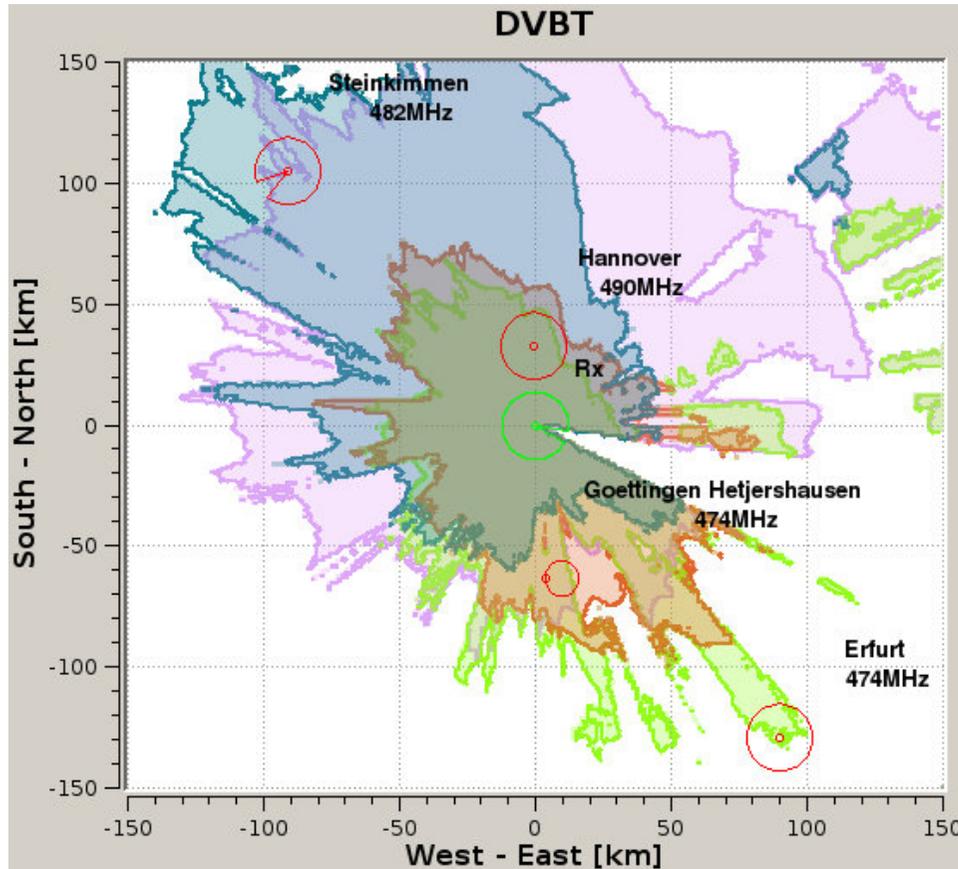
Beispiel für den Verlauf des Elevationswinkels eines UL-Flugzeugs gemessen im Vorbeiflug.

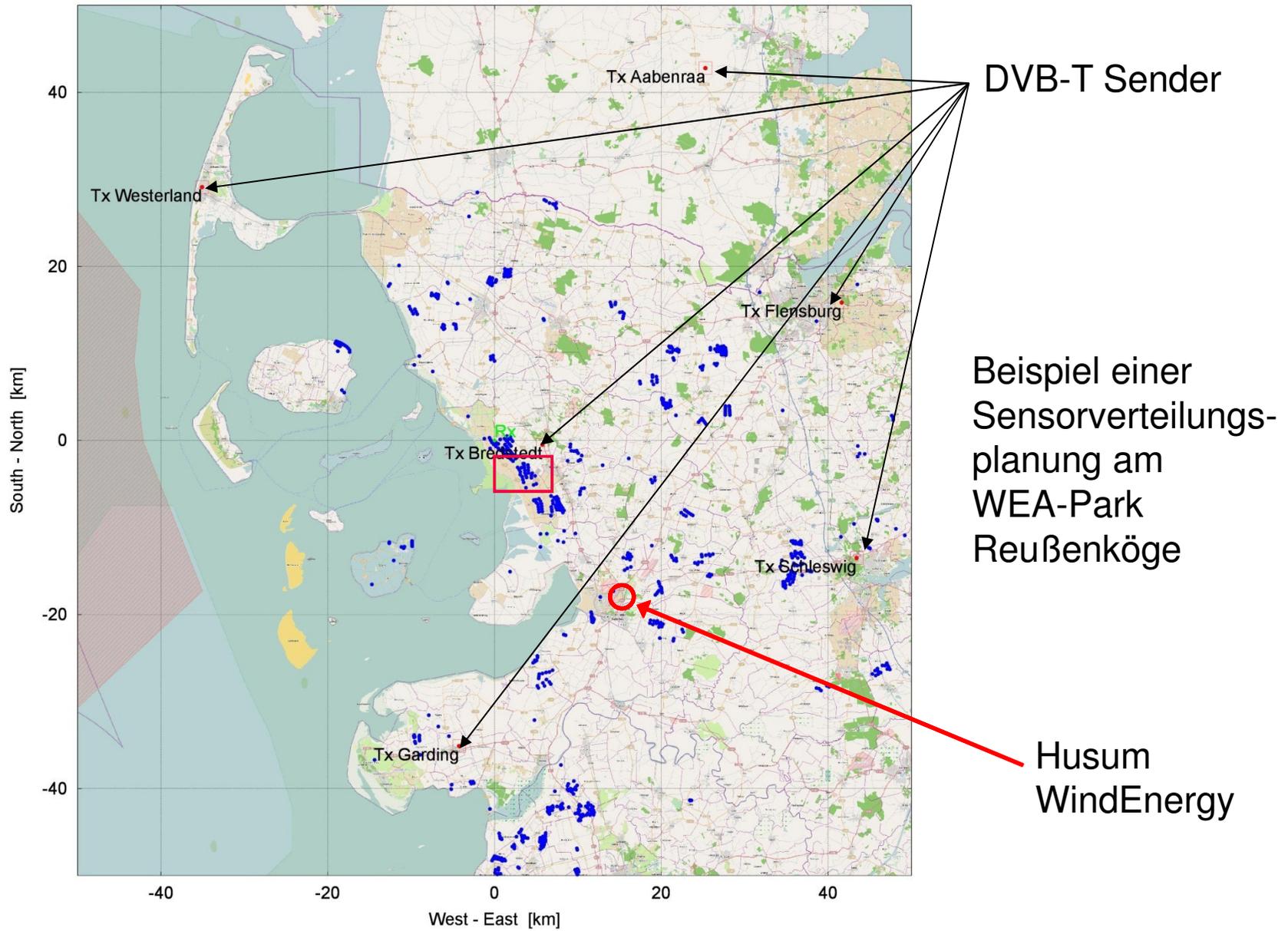
# „Missionsplanung“

- Berücksichtigung der Sendercharakteristik
  - Antennenrichtwirkung (Azimut, Elevation)
  - Sendeleistung
- Optimale Kombination der verfügbaren Frequenzbänder
- Auswahl der Sensorpositionen im Windpark zur
  - Mehrfachabdeckung
  - Vermeidung von Mehrdeutigkeiten der Höhenmessung
  - Reduzierung der WEA-Störechos
  - Optimale Nutzung der WEA-Infrastruktur
- Einplanung von Erweiterungsoptionen

## ➔ Sensornetzwerkmodell

# Planung der Sensordislozierung



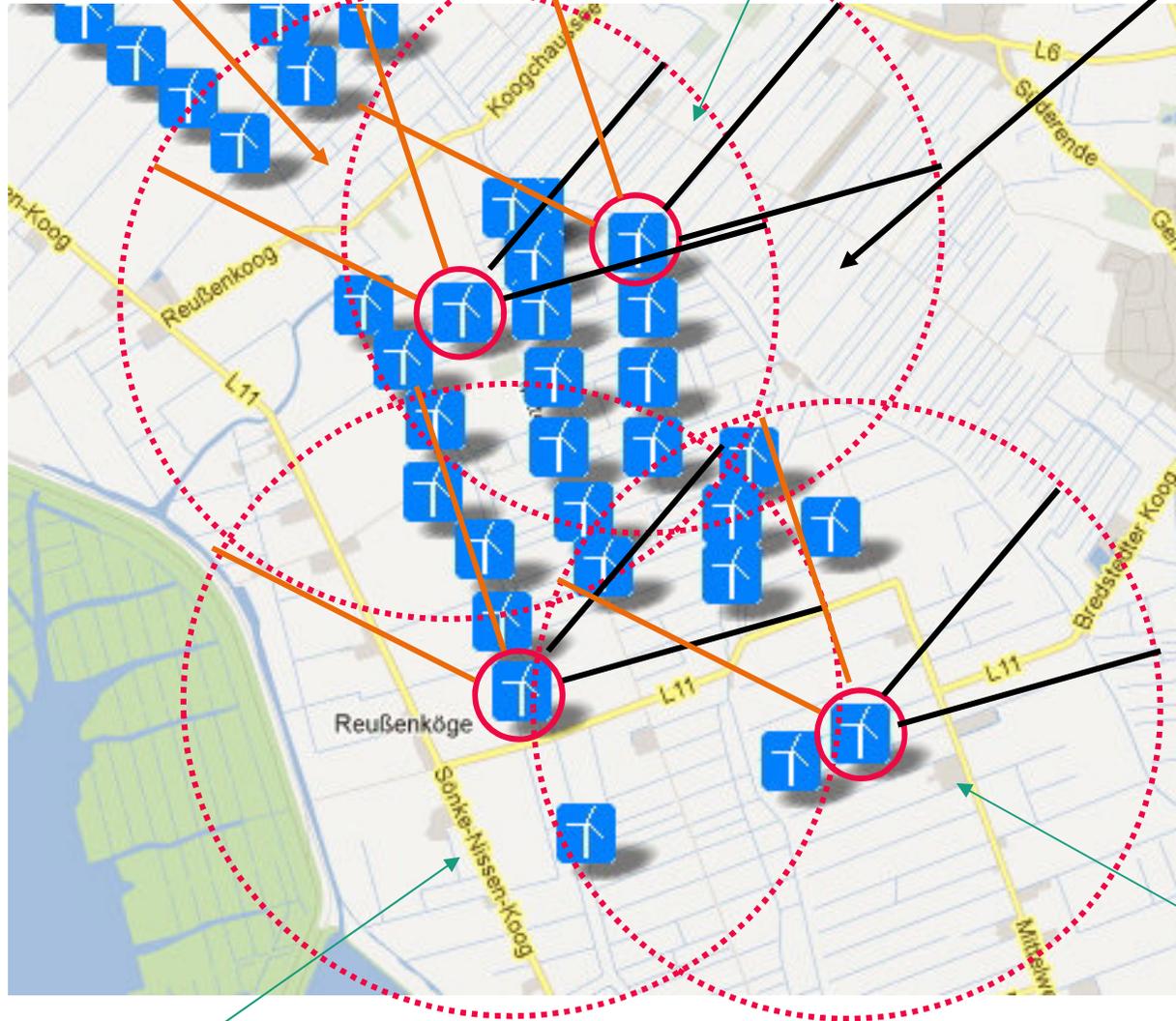


Westerland

Aabenraa

Bredstedt

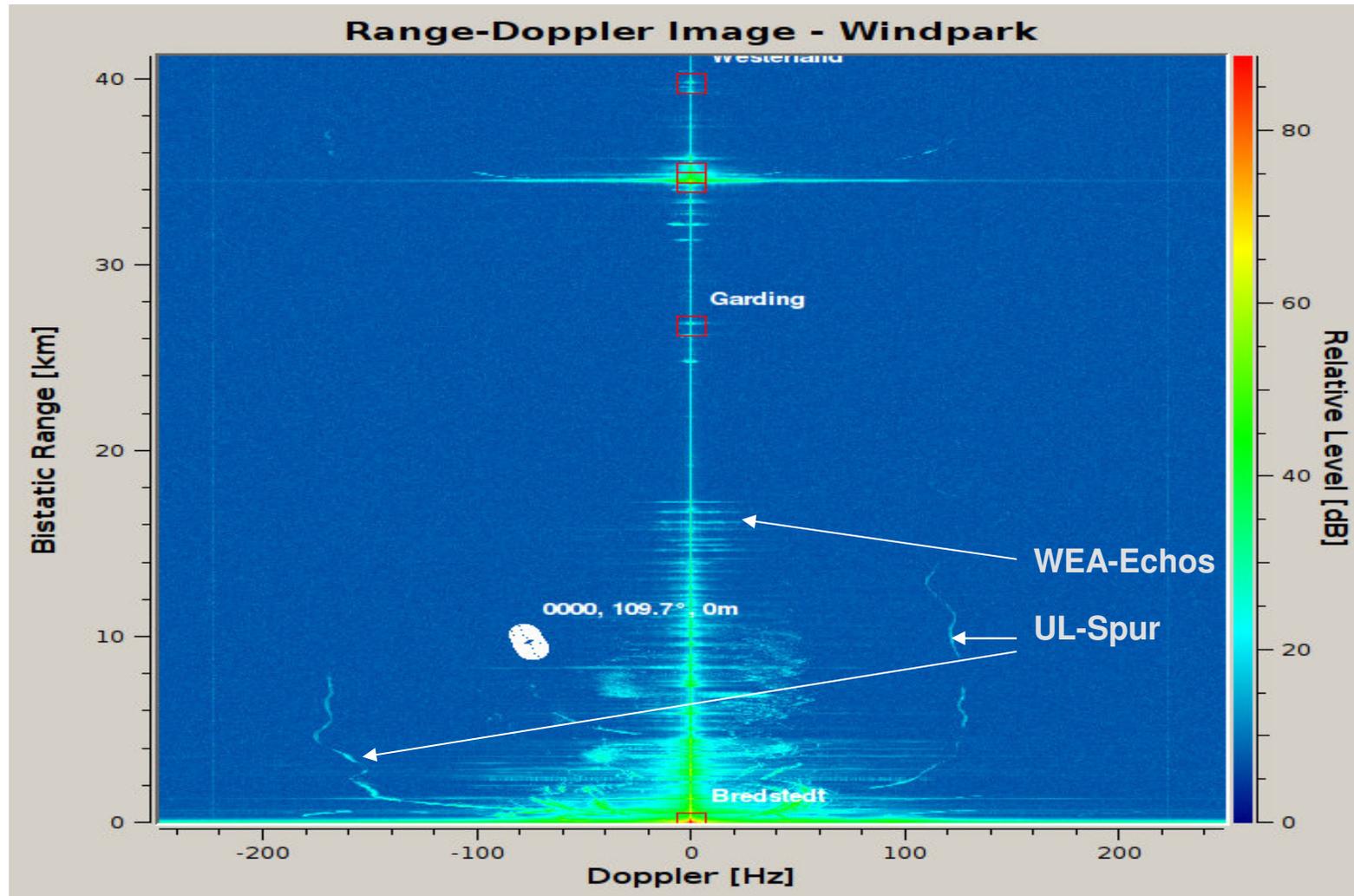
Flensburg



- Bedeckungskreise nicht maßstäblich
- Sensor-Reichweite ca. 10 km
- Totzonen in Richtung der Sender
- Überdeckung durch Nutzung mehrerer Sender
- System erweiterbar

Schleswig

# Spur eines UL und WEA-Echos



# Testsensor zum experimentellen Nachweis

## 8-Kanaliges Experimentalradar

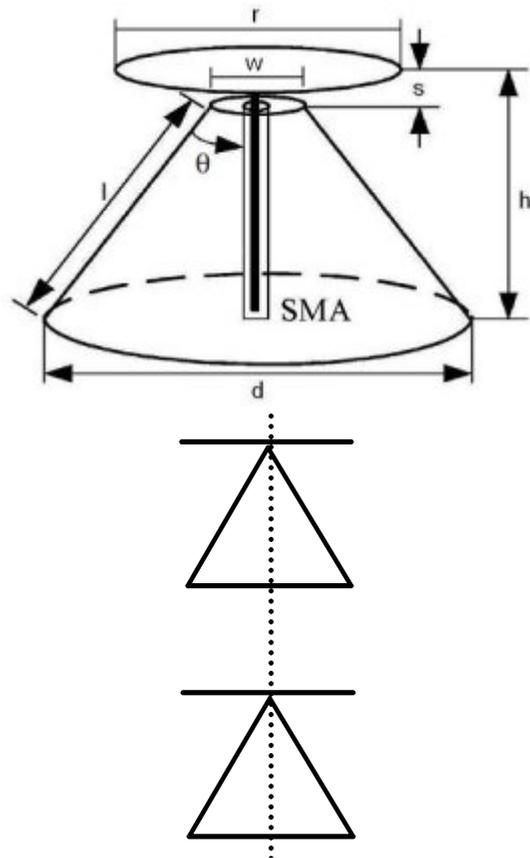
COTS-Rechner

HF-Einheit

elevierbare Antenneneinheit



# Antennenkonzept Discone-Antennen



Interferometrische Höhenmessung



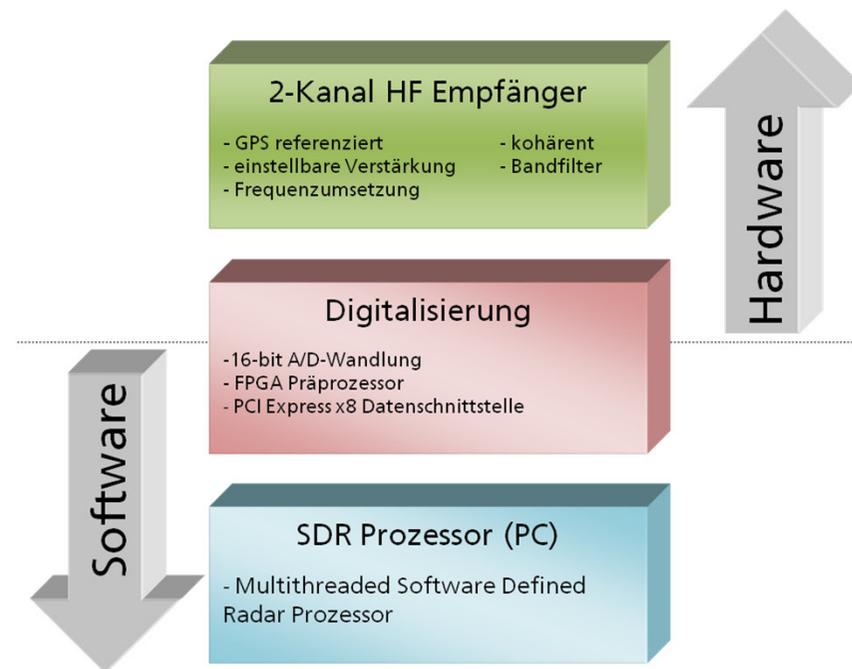
Montagemöglichkeit an WEA-Turm  
Ausblendung des Direktsignals

# Sensorkonzept

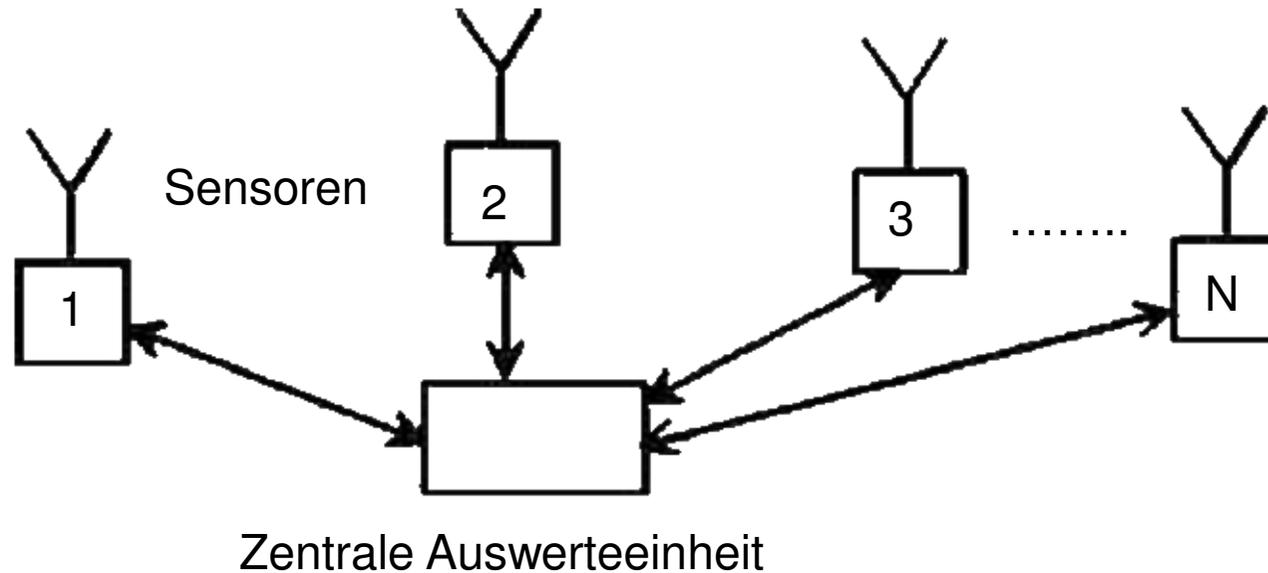
## Kernpunkte

- Parallelisierte Signalverarbeitungssoftware als Herzstück des Systems
- „Wenig Hardware, viel Software“ reduziert Herstellungs- und Wartungskosten
- Verwendung kostengünstiger COTS-Bauteile (Commercial off-the-shelf)
- Hochdynamische Digitalisierung zur Detektion kleinster Ziele
- Rollenbasiertes MMI (Man-machine-interface) zur einfachen Kontrolle des Systems über Netzwerk

## Schematische Darstellung



# Systemkonzept: Sensornetz, Verteilung auf WE-Park



- Vorverarbeitung im Sensor (Laufzeitellipse(n))
- Vernetzung über WEA-Steuer- und Kontrollnetzwerk
- Fusion in zentraler Auswerteeinheit
- Generierung der Warnauslösung

# Mögliches Realisierungskonzept Sensorantenne



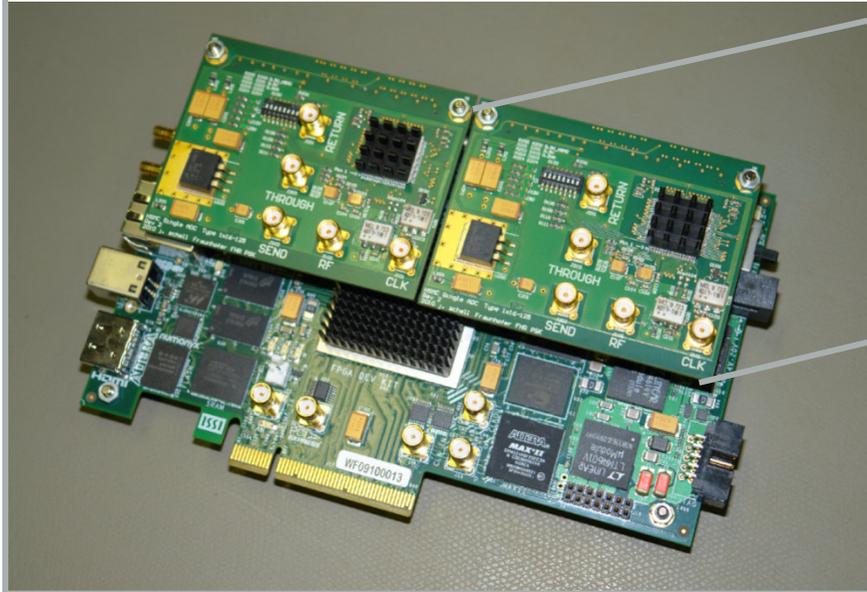
2 Discone-Antennen vor  
Absorbermaterial

unter EM-transparentem Radom  
(Wetterschutz)

*Foto: Jan Oelker / Repower Systems SE*

# Realisierungskonzept Sensorsignalprozessor

AD-Wandler / Signalprozessor - Einheit  
Eigenentwicklung Fraunhofer FHR



AD-Wandlertarten  
als Aufsteckmodule  
für  
FPGA-Board



Sensormodul als 19" Einheit

# Realisierungskonzept - System

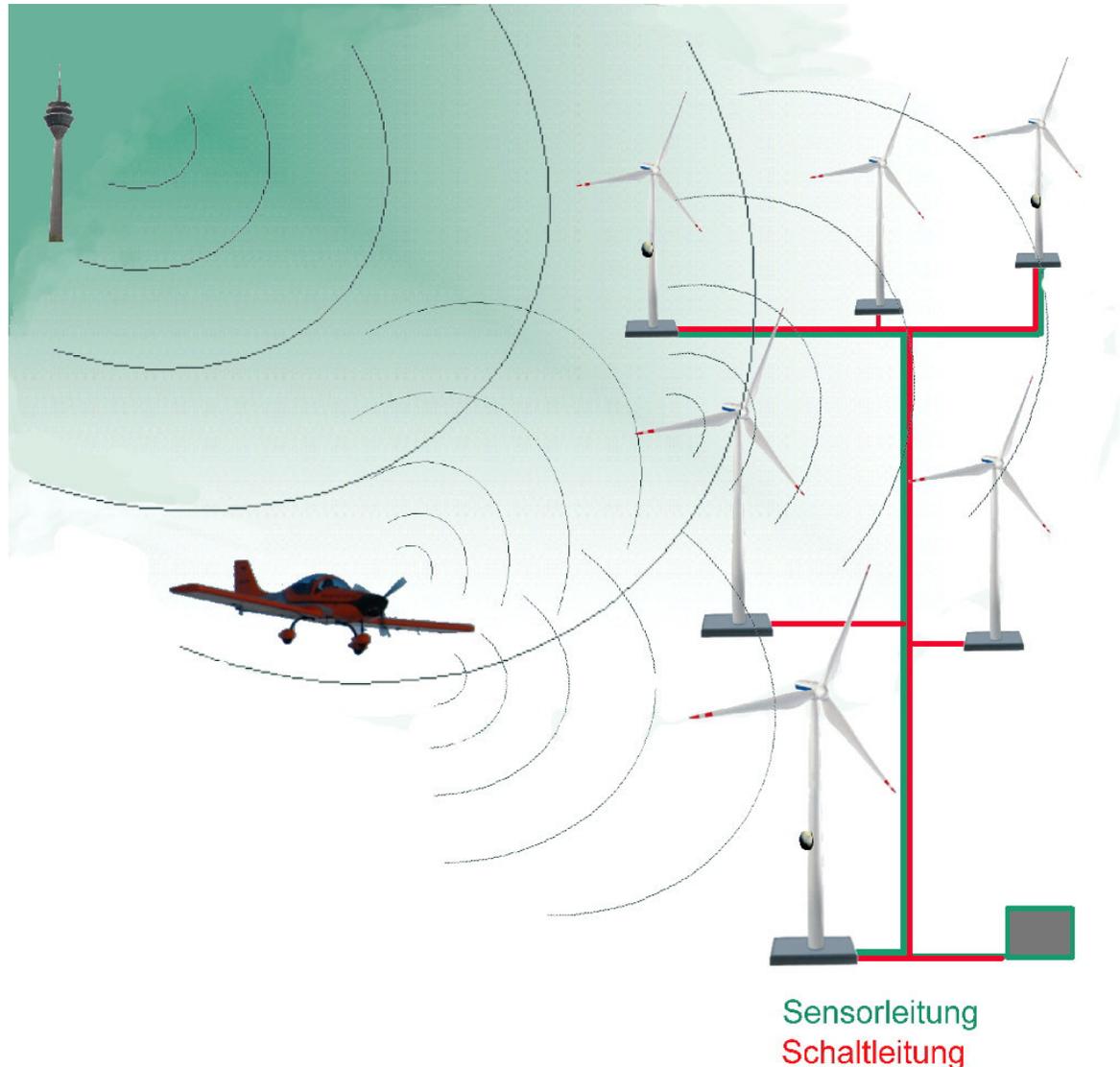
Warnbefeuerung ist deaktiviert, System ist aktiv

3 Sensoren erfassen Echos des Luftfahrzeugs unter Nutzung eines DVB-T Senders

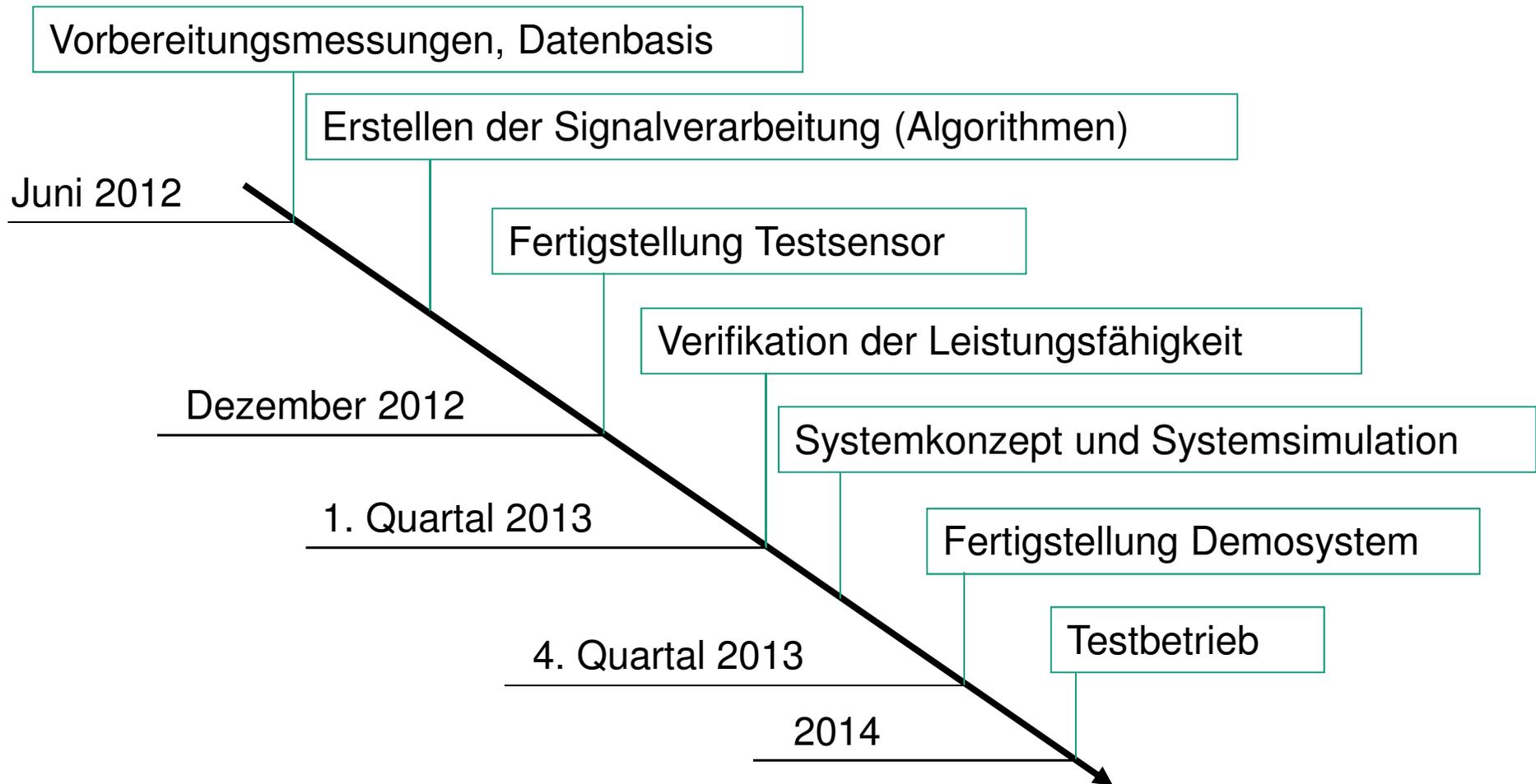
Ortung und Verfolgung in der zentralen Auswerteeinheit

Aktivierung der Warnbefeuerung bei Eindringen in Schutzbereich

Aktivieren der Warnbefeuerung bei Fehlermeldung im System



# Umsetzungsplanung (road map)



# Fragen?