



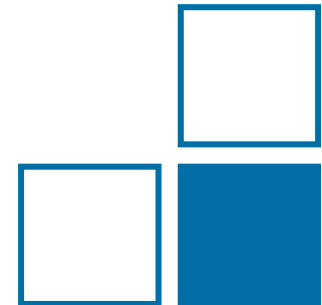
Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin  
Nationales Metrologieinstitut

# Vor-Ort-Antennen- und Feldstärke- Messtechnik: Fortschritte im Projekt WERAN



T. Schrader, J. Bredemeyer, C. Stupperich, H. Garbe  
M. Mihalachi, D. Ulm, S. Sandmann

311. PTB-Seminar am 16. Mai 2018



# Inhalt

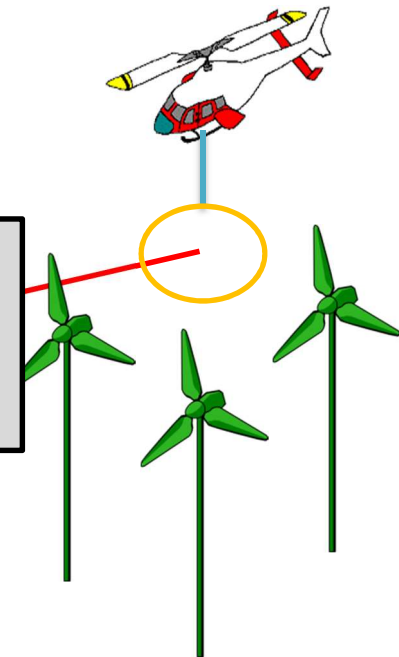


- EMV Problematik und Hintergrund
- Wirtschaftliche Dimension
- Ziele des Projekts WERAN
- Messungen Drehfunkfeuer (VOR, DVOR)
- Radarmessungen (ASR, LVR)
- Messungen am DWD UHF-Windprofiler
- Zusammenfassung

# EMV Problematik und Hintergrund

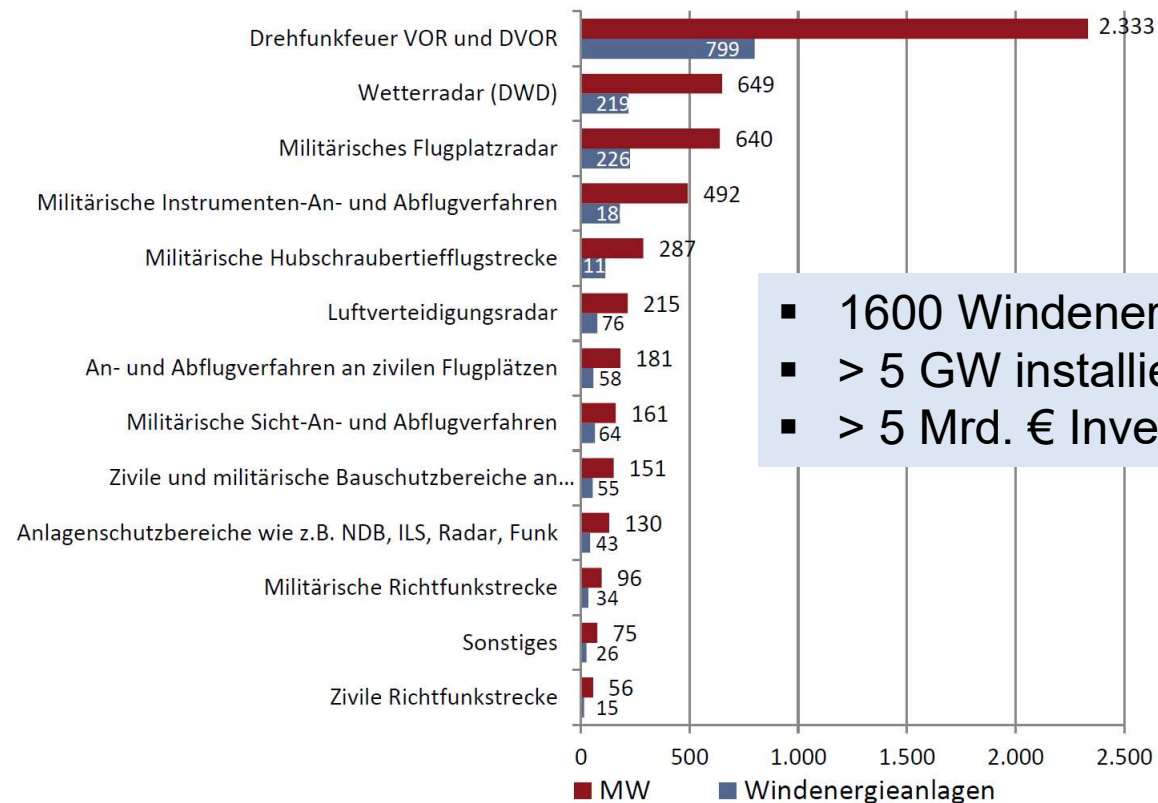


**Need for On-Site measurements  
of signal integrity**



- Verträglichkeit von WEA im Radius von 15km (10 km) um Radar- oder Navigationsanlage zu prüfen gemäß ICAO EUR DOC 015. Luftverkehrsgesetz §18a.
- „Sicherheitsradius“ für DWD Wetterradar / Windprofiler

# Wirtschaftliche Dimension









- 1600 Windenergieanlagen
- > 5 GW installierte Leistung
- > 5 Mrd. € Investitionen

Quelle: Studie Bundesverband WindEnergie e.V., 2015

# In WERAN zu untersuchende Anlagen



	Ungerichtetes Funkfeuer (NDB) und seine Peilung (ADF)	500 kHz
	Gerichtetes Funkfeuer der zivilen Flugsicherung (CVOR, DVOR)	112 MHz
	Flughafenüberwachungsradar (ASR)	2,7 GHz
	Luftverteidigungsradar (LVR)	einige GHz
	DWD Wetterradar (C-Band-Niederschlagsradar)	5,6 GHz
	DWD UHF-Windprofiler	482 MHz

# Ziele des Projekts WERAN



**Identifikation und Quantisierung des zusätzlichen Zielgrößenfehlers  
(z.B. Winkelfehler beim DVOR), verursacht durch Windenergieanlagen (WEA)**

- Entwicklung des Messverfahrens, der drohnenbasierten Messtechnik sowie der Datenauswertung.
- Messung des (geänderten) Signalinhaltes hinter WEA (signal integrity)
- Vergleich von Messdaten mit Ergebnissen der numerischen Simulationen

# Drehfunkfeuer (VOR, DVOR)

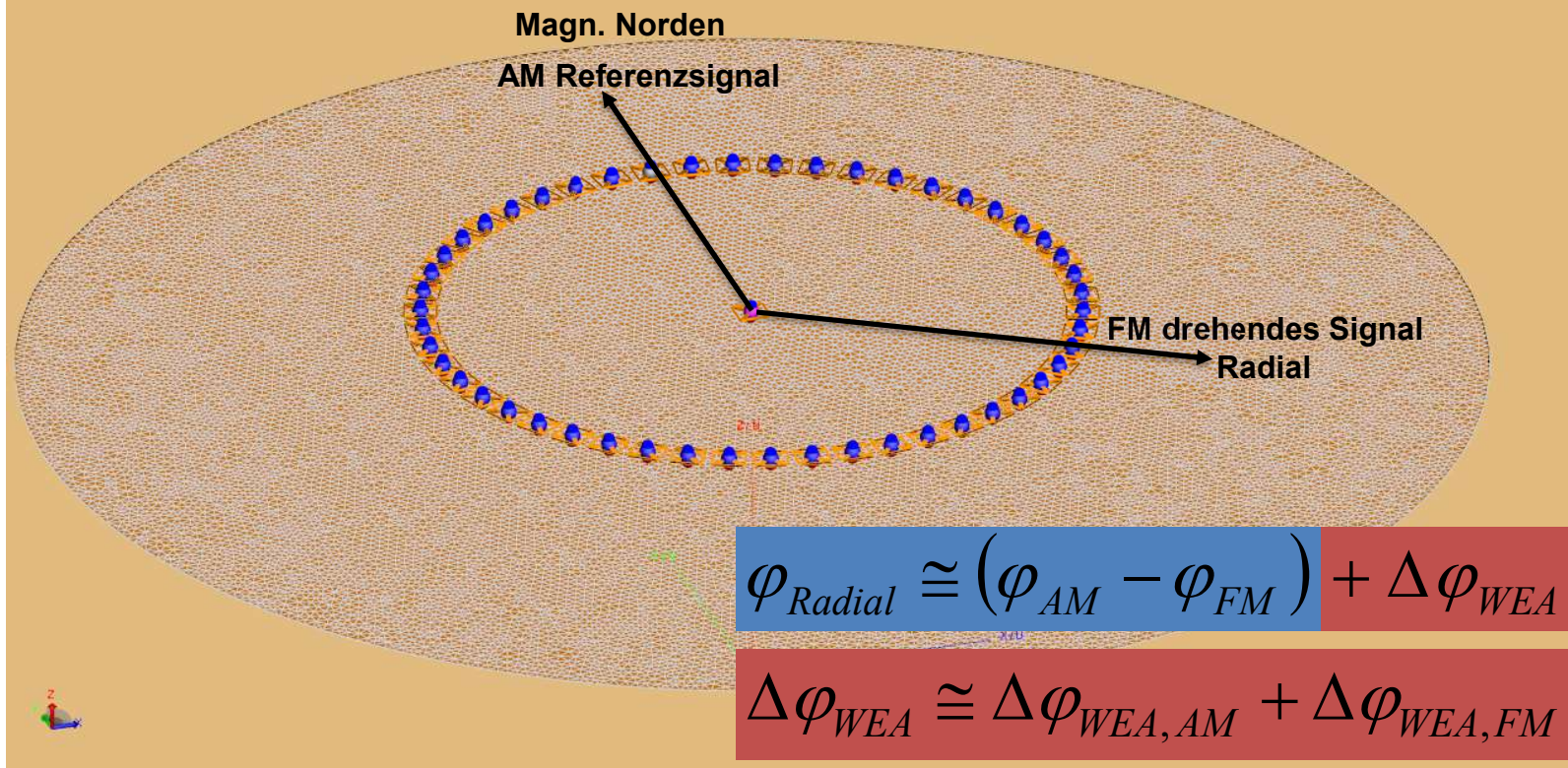




# Modell einer DVOR-Bodenstation

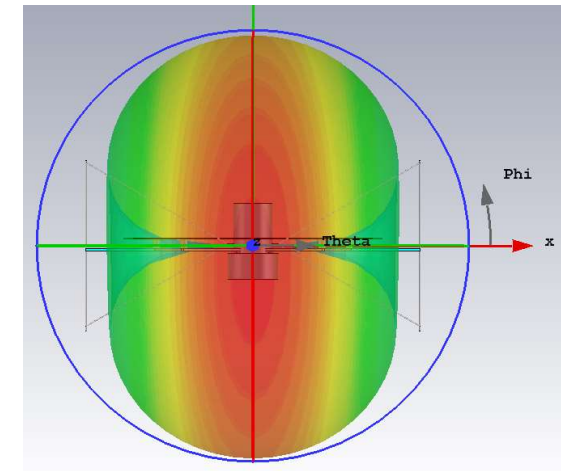
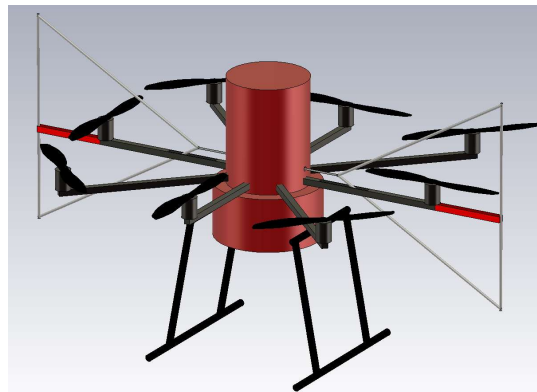
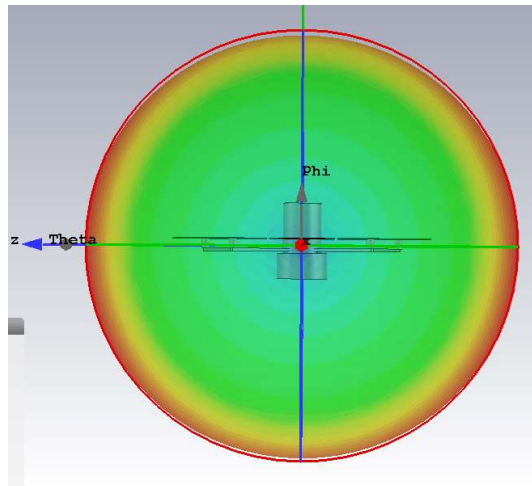
Ca. 1100 Abtastungen / Antenne / Umlauf → quasi-stationäre Simulation

Quelle: LUH





# VHF-Antenne am Oktokopter



Simulation: PTB

Die Antenne zusammen mit dem Kopter verhält sich wie ein hertzscher Dipol mit dem Phasenzentrum im Schwerpunkt des Kopters → **bestmögliche Unsicherheit**

# Messungen DVOR Kladorf

Ausschalten und wieder Hochfahren von 4 WEA



DVOR KLF in 8 km Entfernung

# Messungen DVOR Kladorf

Ausschalten von 4 WEA

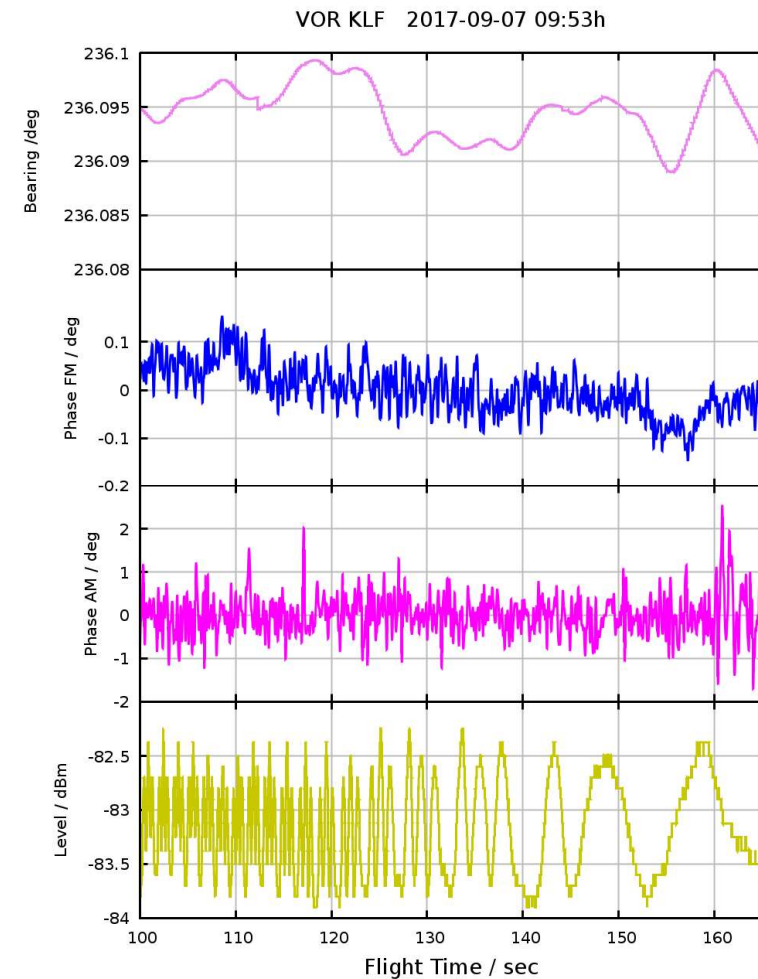


4 WT, in 8 km distance to DVOR  
140 m hub height, 112 m rotor diameter

FM-Phase:  $\pm 0.05$  deg      Shift 0.1 deg

AM-Phase:  $\pm 1$  deg      No Shift

Modulated receiver level depending on rpm of WT



# Messungen DVOR Kladorf

Wieder Hochfahren von 4 WEA

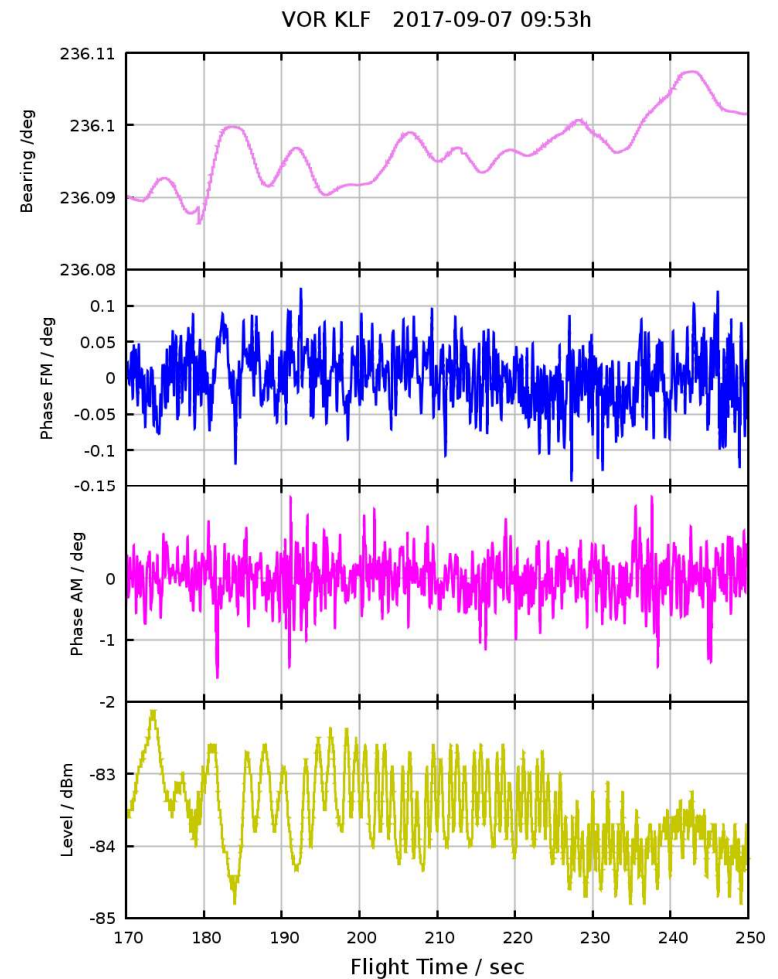


4 WT, in 8 km distance to DVOR  
140 m hub height, 112 m rotor diameter

FM-Phase:  $\pm 0.1$  deg      Shift 0.05 deg

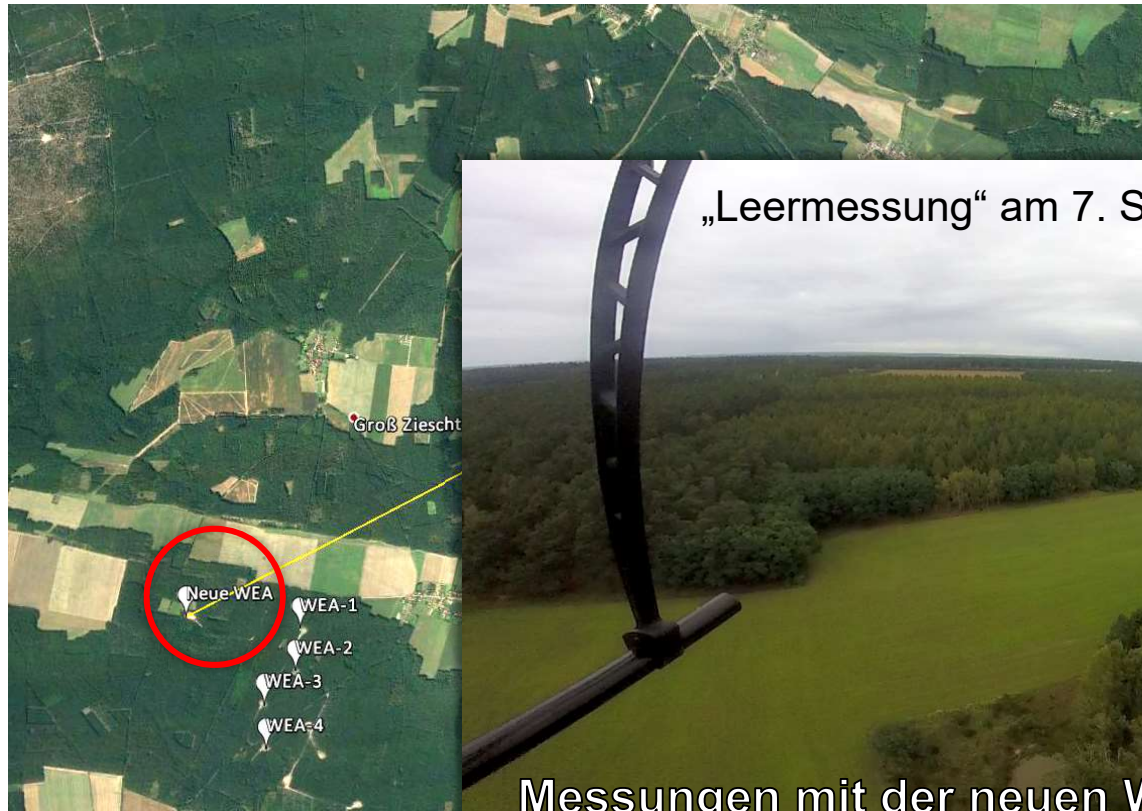
AM-Phase:  $\pm 1$  deg      No Shift

Modulated receiver level depending on rpm of WT





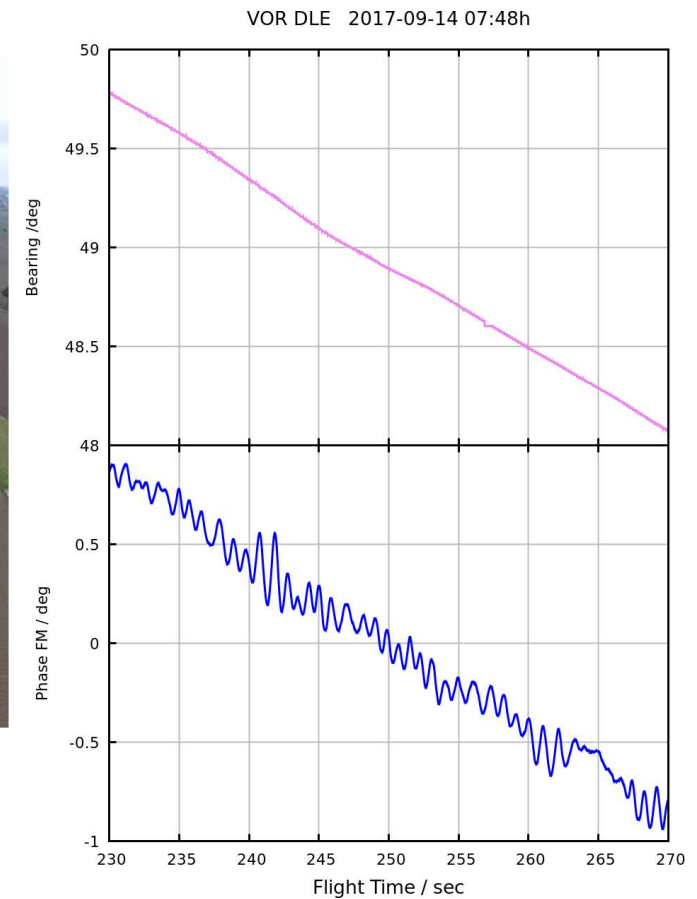
# Messungen DVOR Kladorf



# Messungen DVOR Leine



First quantitative proof of WT affecting the bearing (FM) component of a DVOR



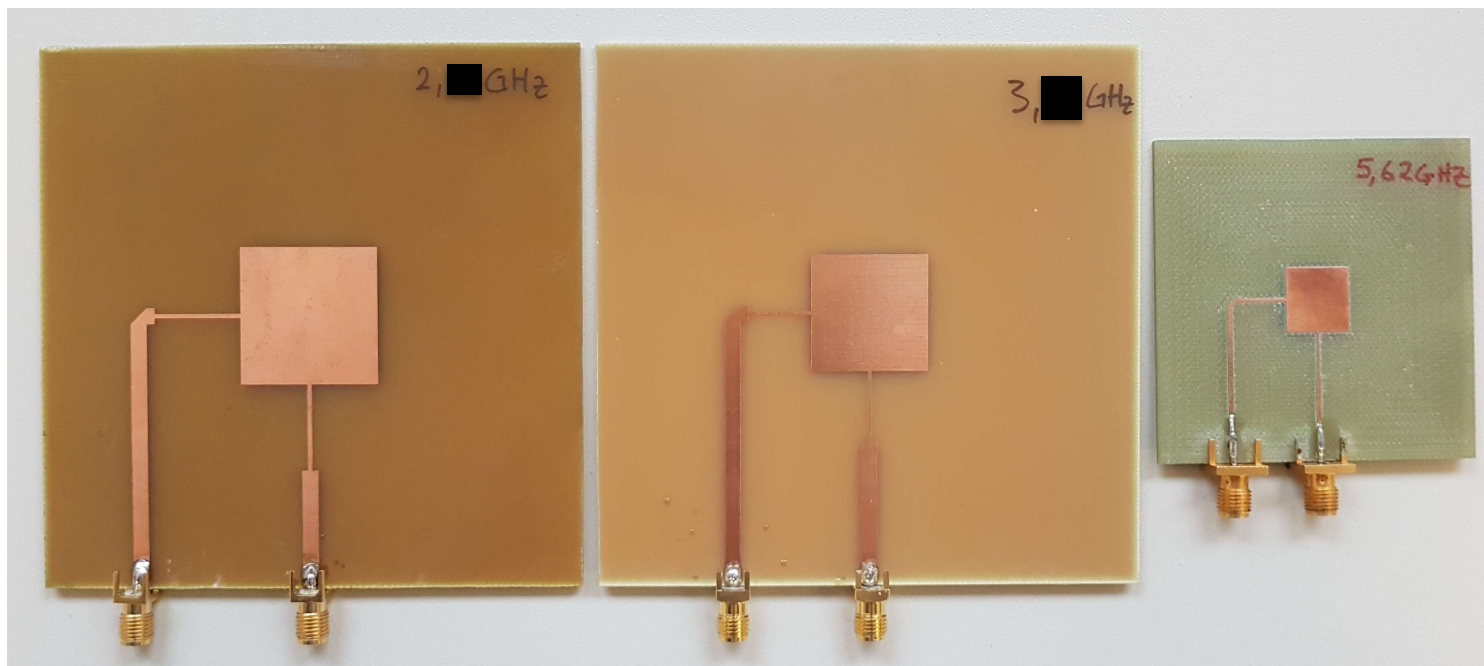


# Radarmessungen (ASR, LVR)



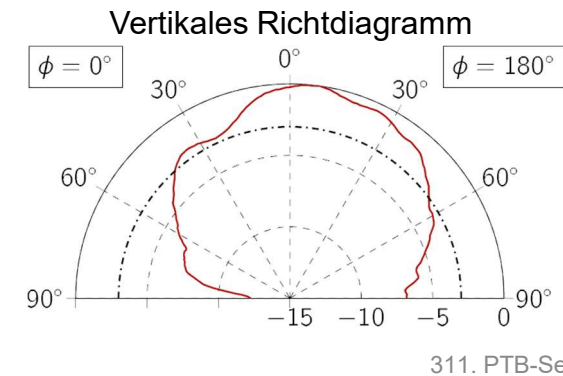
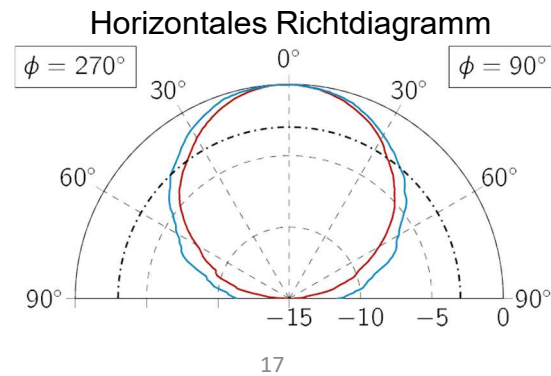
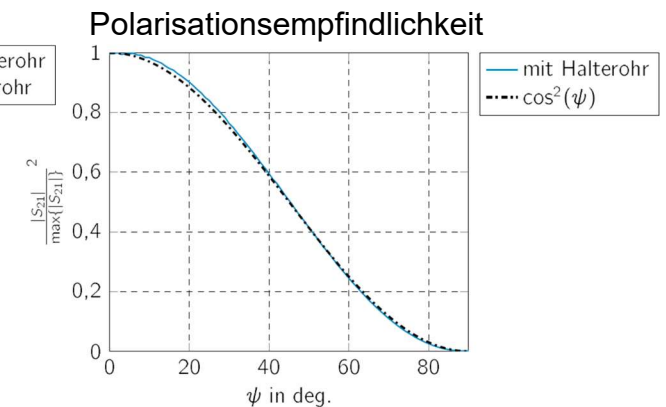
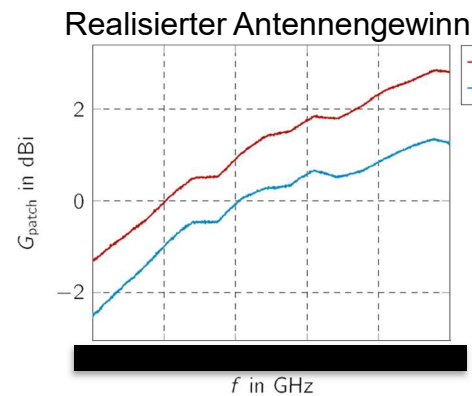
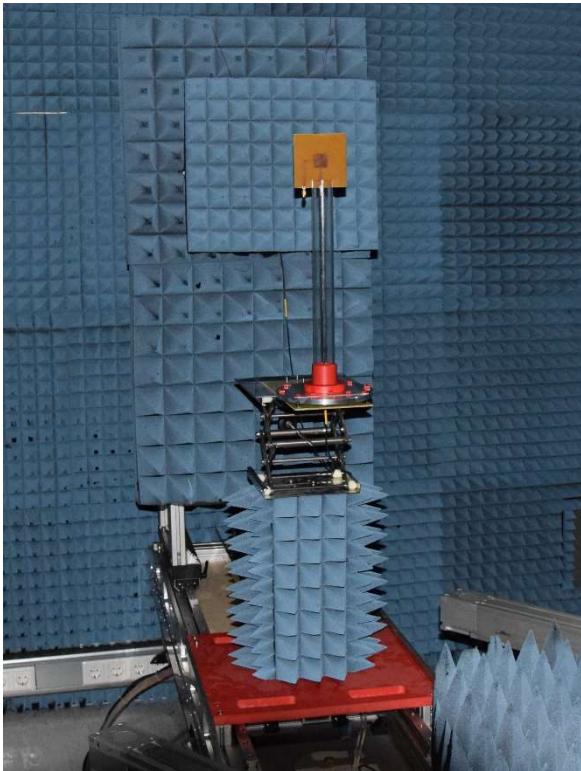
# Radarmessungen (ASR, LVR)

Dual-polarisierte Patchantennen für Radarmessungen



# Radarmessungen (ASR, LVR)

Charakterisierung der Patchantenne bei 2,4 GHz



# Radarmessungen (ASR, LVR)



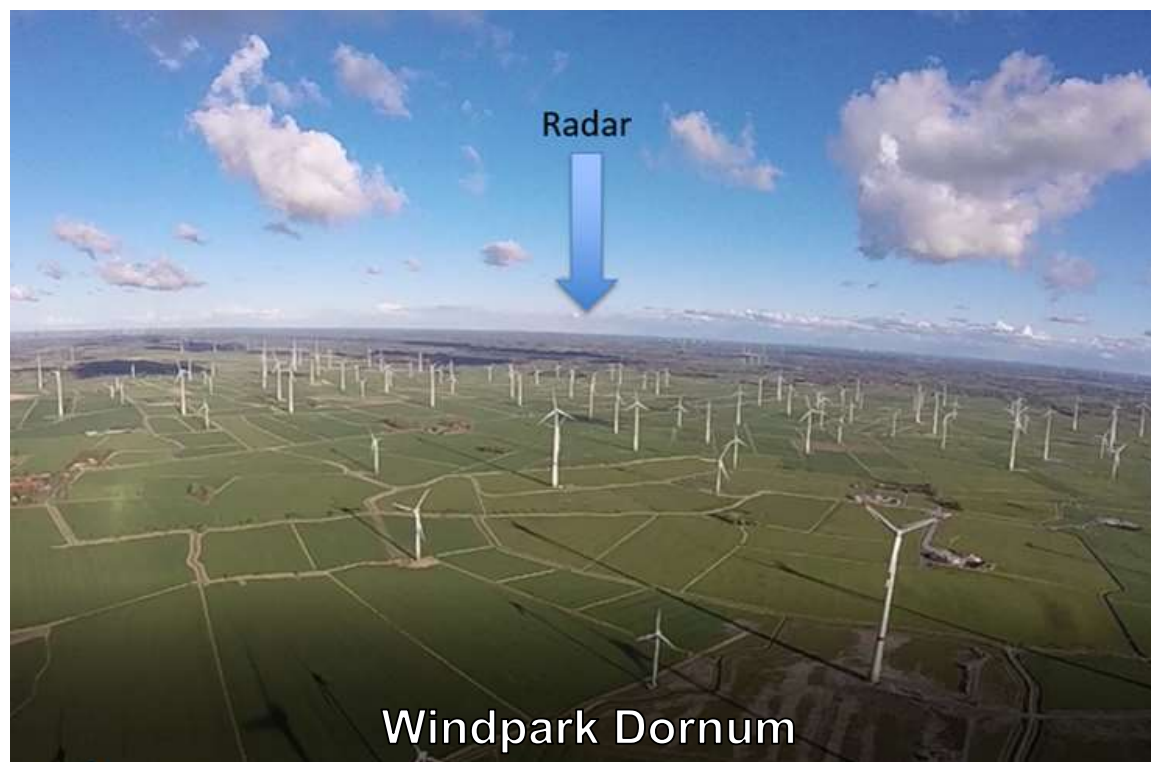
Best-Case Szenario WEA-Einfluss auf Radare





# Radarmessungen (ASR, LVR)

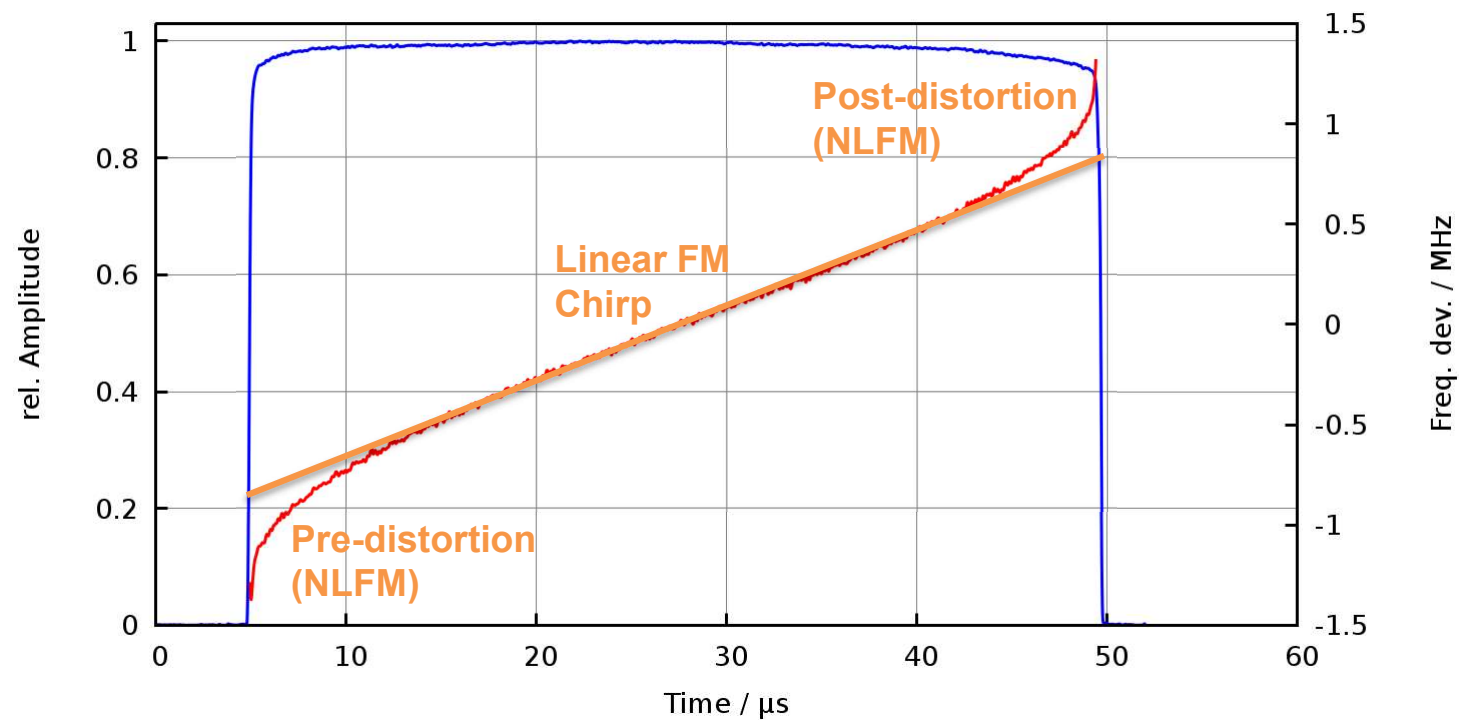
Worst-Case Szenario WEA-Einfluss auf Radare



# Radarmessungen (ASR, LVR)

## Referenzpuls

Pulse on ASR-S channel 2 XXXX MHz Mag: 26037 140.060s



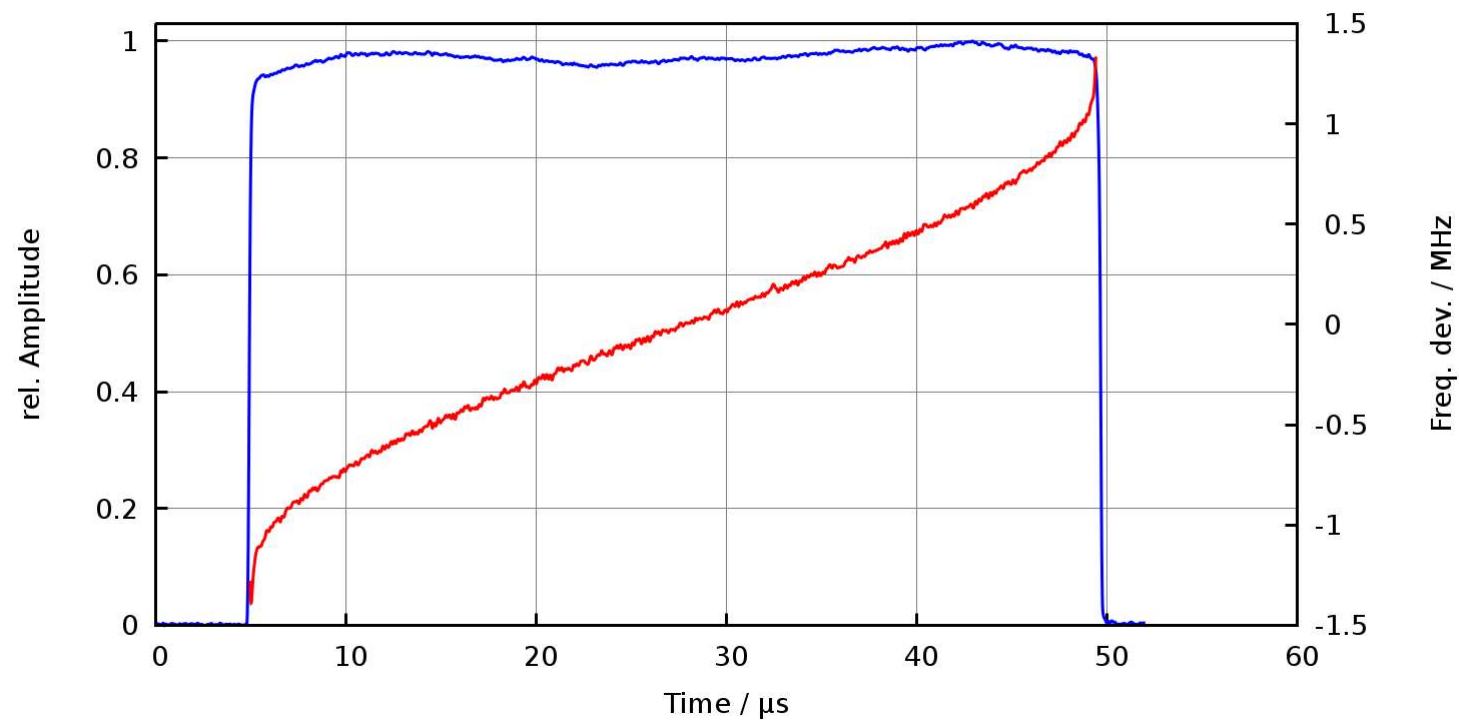


# Radarmessungen (ASR, LVR)



Mehrwegeausbreitungen: leichte Pulsverformung

Pulse on ASR-S channel 2 XXXX MHz Mag: 13928 307.754s

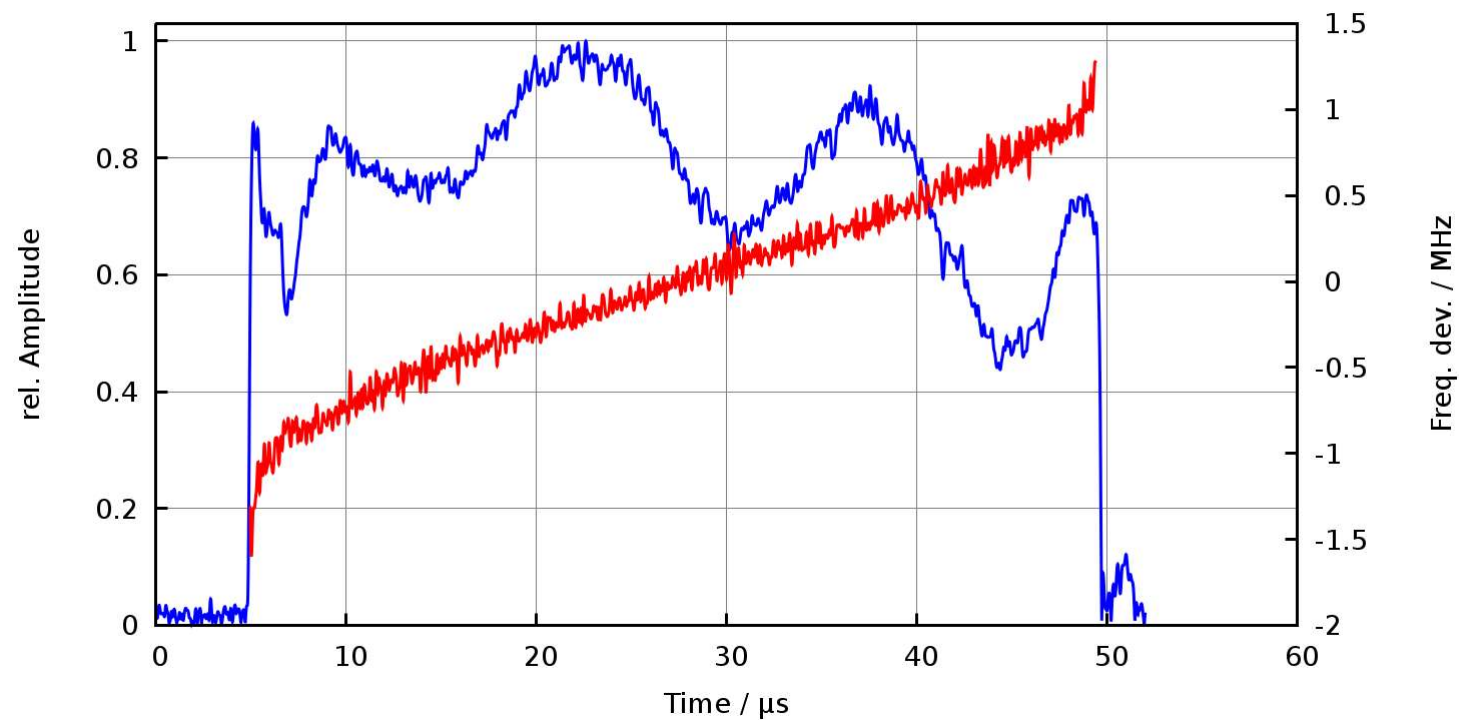


# Radarmessungen (ASR, LVR)



Mehrwegeausbreitungen: starke Pulsverformung

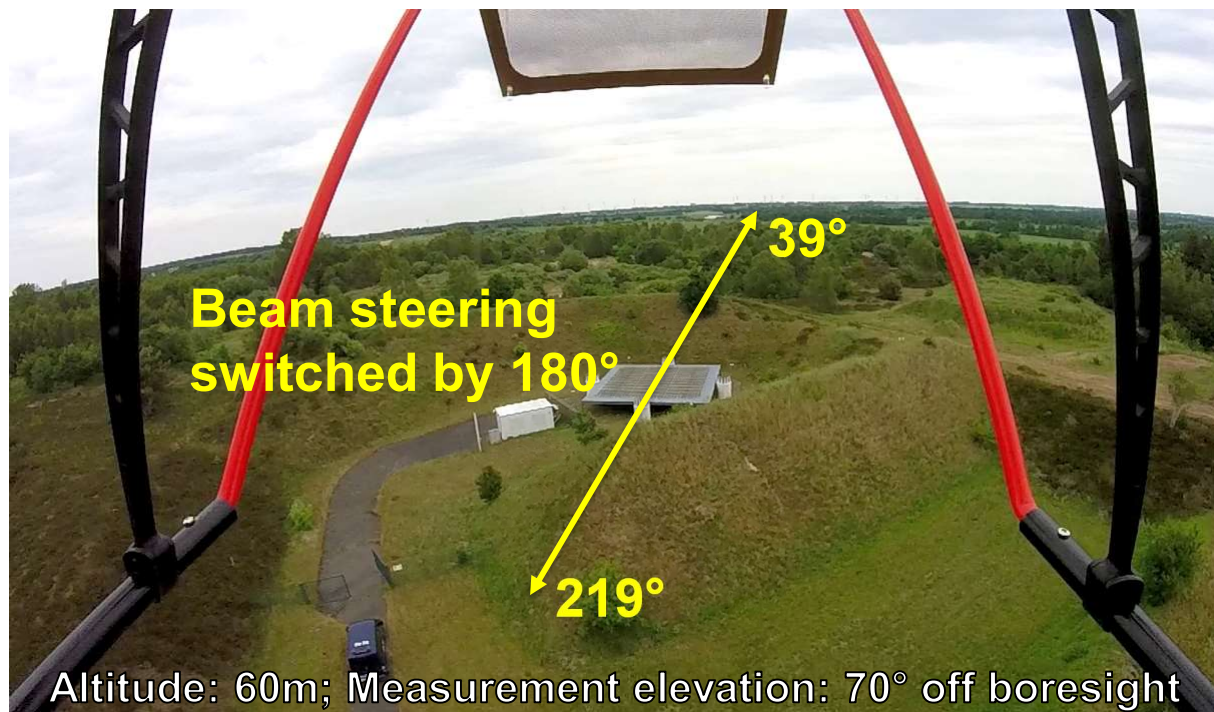
Pulse on ASR-S channel 2 XXXX MHz Mag: 1017 302.716s



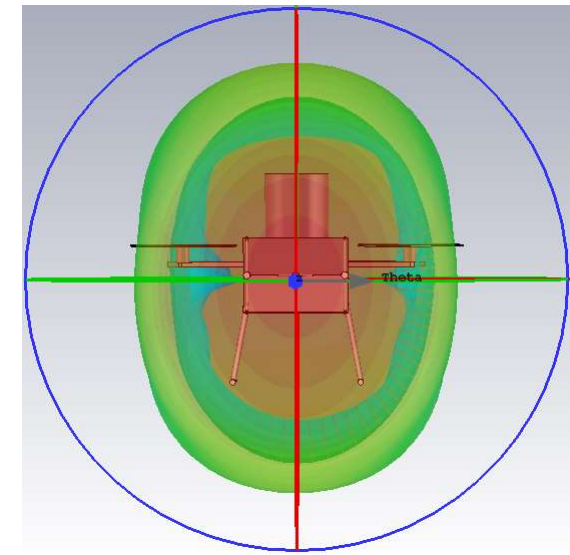
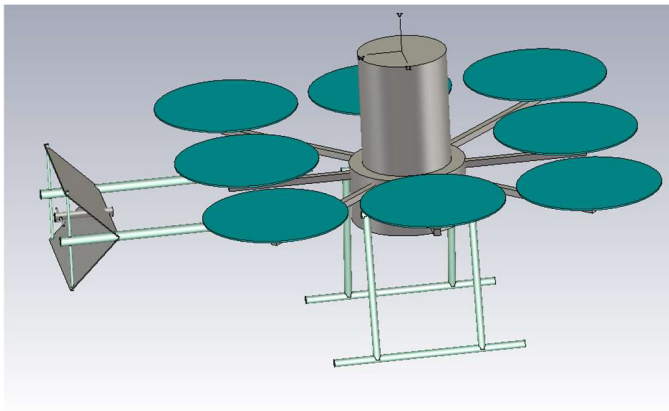
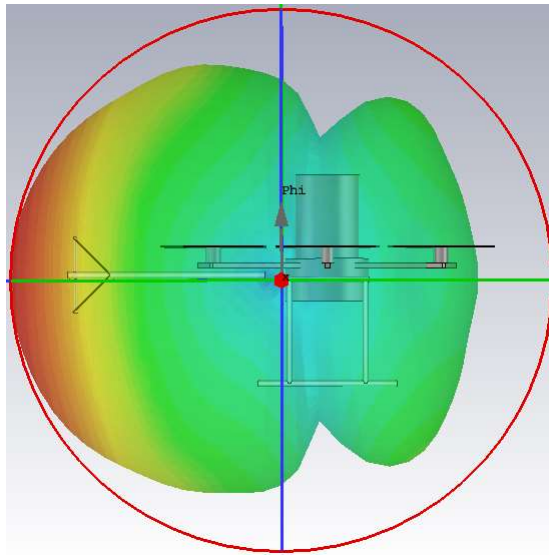
# DWD UHF-Windprofiler



Messung am Luftwaffenstützpunkt Nordholz

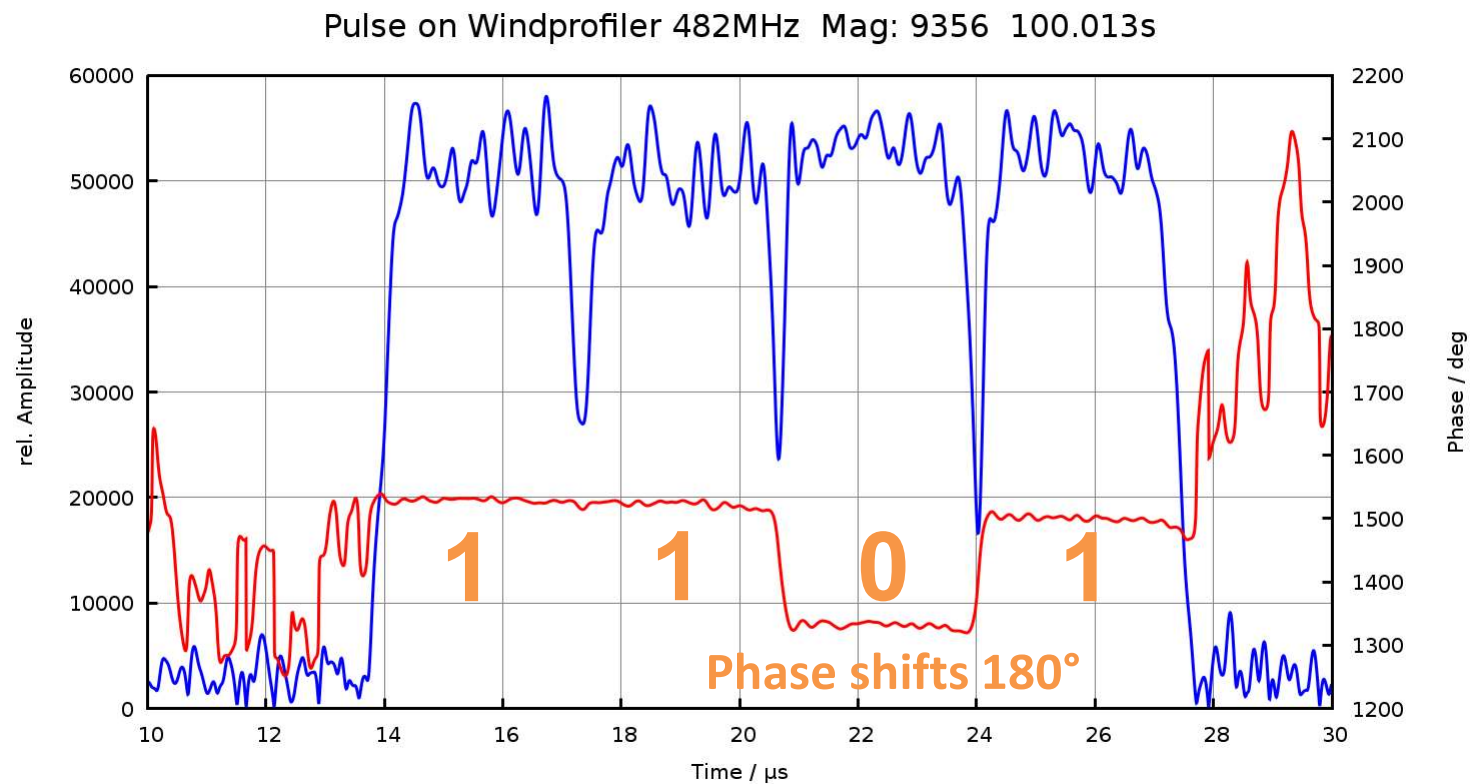


# UHF-Antenne (482 MHz) am Oktokopter



Simulation: PTB

# DWD UHF-Windprofiler



# Zusammenfassung



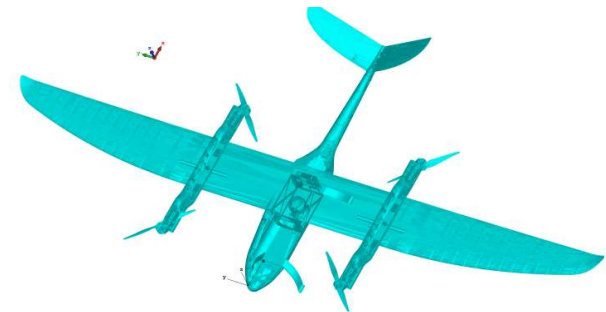
- **Erstmals weltweit: Einfluss von WEA auf DVOR messtechnisch gezeigt**
- State-of-the-art Vor-Ort-Messtechnik und Software für Datenauswertung (mehrere GB an Rohdaten pro Flug)
- Simultane Messung des DVOR AM und - FM Kanals
- Validierung von numerischen Simulationen durch Messungen
- Operator (DFS) / Aufsichtsbehörde (BAF) entscheiden über akzeptablen (zusätzliche) Winkelfehler

## Ausblick: Projekt WERAN plus

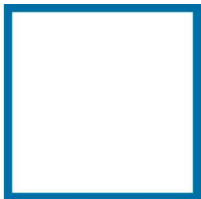
Einsatz der Vor-Ort-Messtechnik an Worst-Case-Szenarien ....

Fehlerfortpflanzung in den freien Raum → Messung und Simulation

Neues Bewertungstool für DFS (für Genehmigung von neuen WEA)







**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Marius Mihalachi

Telefon: 0531 592-2216

E-Mail: [marius.mihalachi@ptb.de](mailto:marius.mihalachi@ptb.de)

[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

Stand: 05/18

