



Radar mit Synthetischer Apertur

3. Ergänzungs-Anhang

RADCOM 2008, 2. – 3. April, Universität der Bundeswehr Hamburg

- **Auflösungsvermögen**
- **Antennendiagramm**
- **Sinc-Funktion**
- **Radargleichung**
- **Dopplerfrequenz**
- **Kohärenz**
- **Nullwertbreite**
- **Radargleichung**



Auflösung: Schlüssel zur Fernerkundung

Zwei Objekte mit gleichen Eigenschaften unterscheiden

Geometrie → Winkel, Entfernung

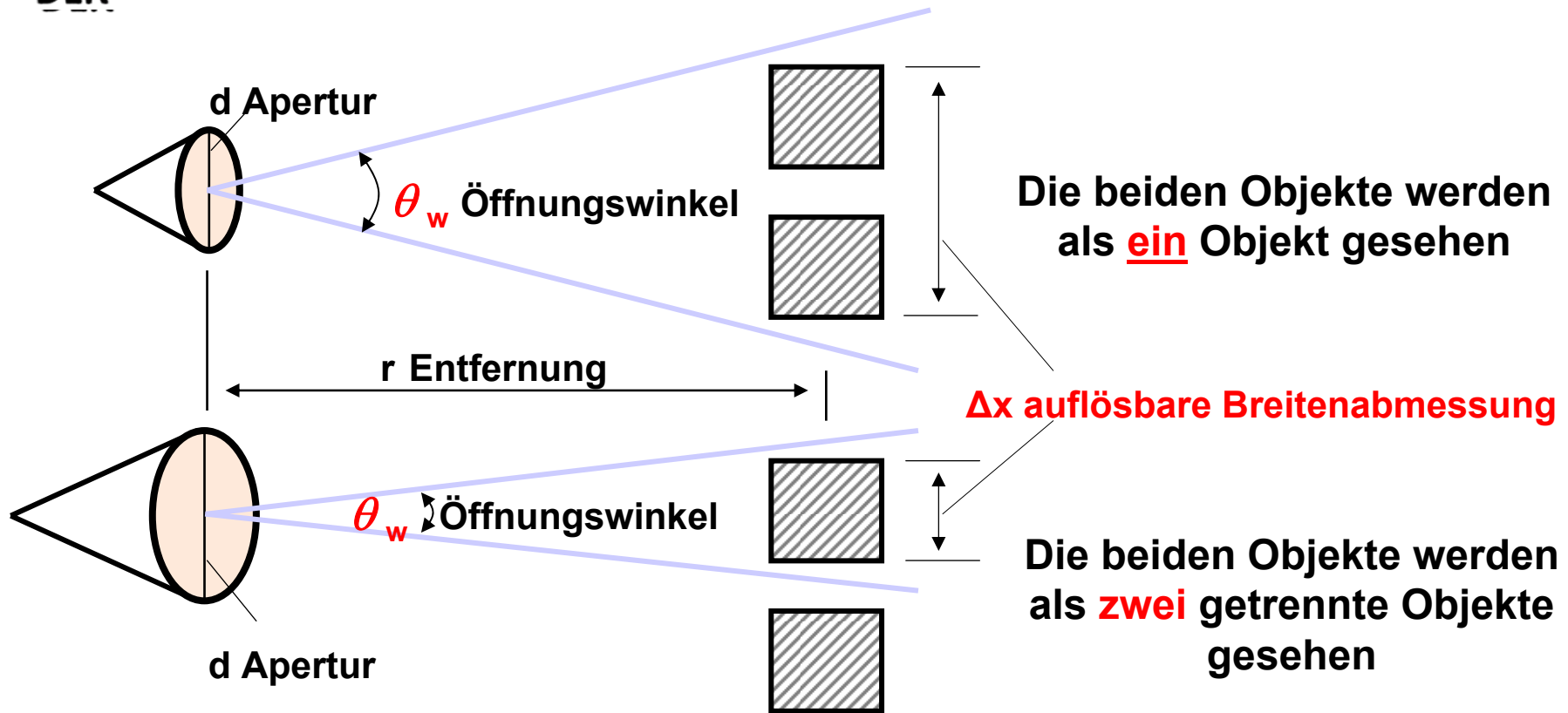
Radiometrie → Amplitude

Spectrometrie → Frequenz

SAR

**Winkelauflösung dominanter Vorteil gegenüber
RAR**

Auflösungsvermögen

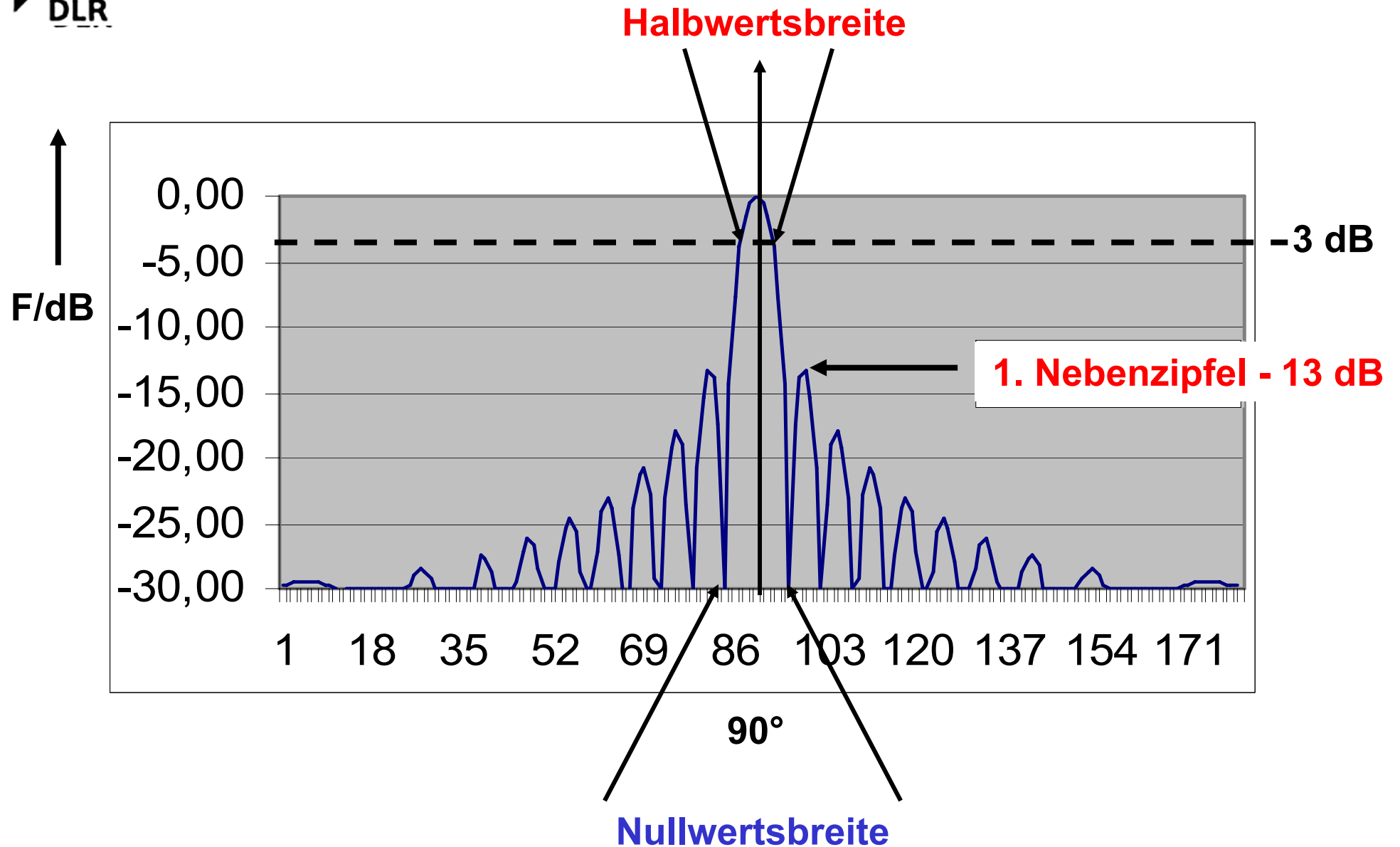


$$\theta_w \approx \lambda / d$$

$$\Delta x = r * \lambda / d$$



Sinc-Funktion: $F = \text{Sinc}(60\sin\theta)$





Antennen-Charakteristika

Halbwertsbreite:

$$\gamma = 2 \mathcal{G}_H = 0,88 \frac{\lambda}{d} \approx 50^\circ \frac{\lambda}{d}$$

$$50^\circ \frac{\lambda}{d} \leq \gamma = 2 \mathcal{G}_H \leq 70^\circ \frac{\lambda}{d}$$

„Faustformel“:

$$50^\circ \frac{\lambda}{d} \leq \gamma = 2 \mathcal{G}_H \leq 70^\circ \frac{\lambda}{d}$$

**Erste
Nullstelle:**

$$\mathcal{G}_0 = \frac{\lambda}{d}$$

Dämpfung erster Nebenzipfel:

-13,2dB

Gewinn:

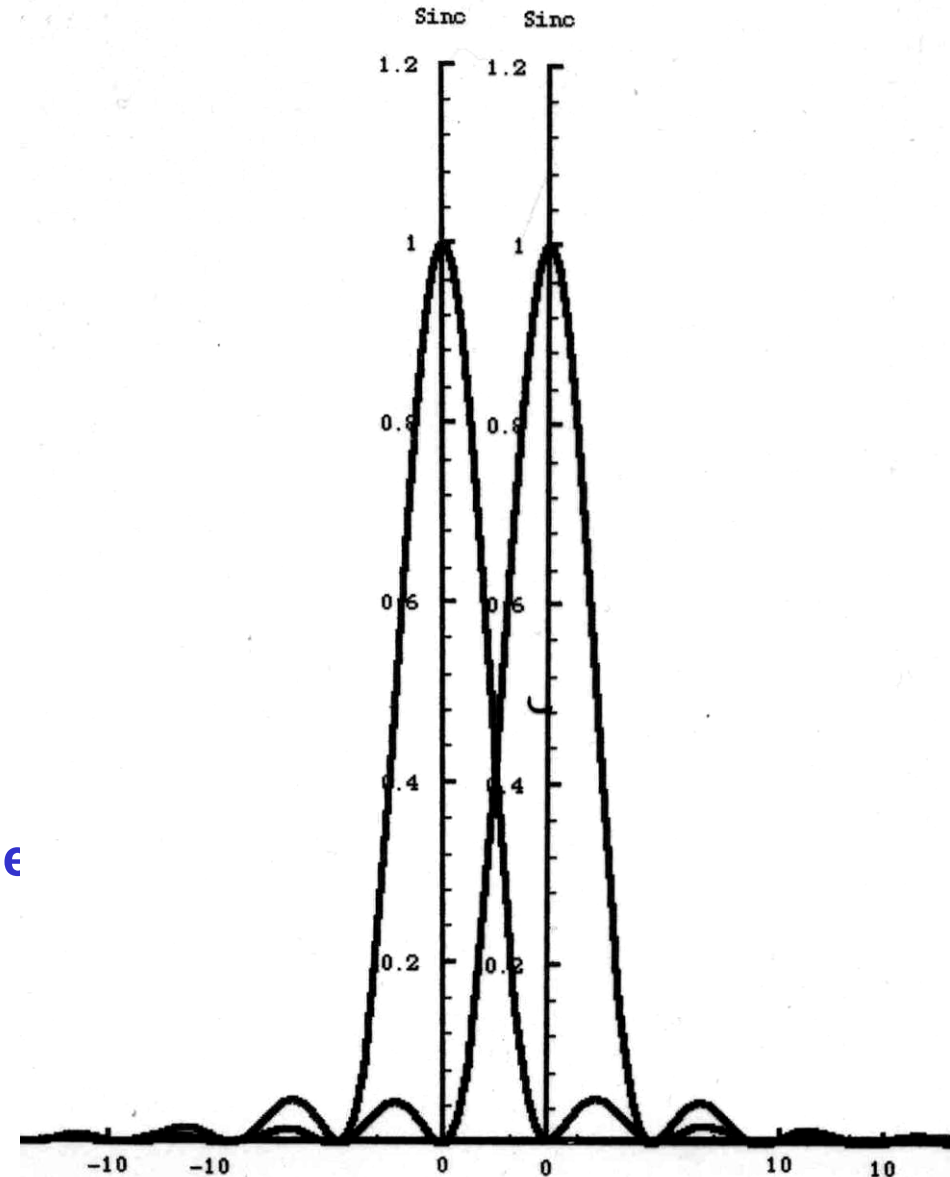
$$G = \frac{4 \pi F}{\lambda^2} = \frac{4 \pi}{\mathcal{G}_{az} \mathcal{G}_{el}}$$

Rayleighs Definition: Auflösungsvermögen

2 gleiche, punktförmige Objekte
gelten als „aufgelöst“ wenn

das **Signatur-Maximum**
des einen Objektes in das
erste Signatur-Minimum
des anderen fällt.

Maßgeblich bei Sinc-Signaturen die
Stelle des ersten Nullwertes



Auflösungsvermögen

- Winkel in Richtung d : $\delta_d = \frac{\lambda}{d}$
- Geometrisch in Richtung d : $\Delta_d = \frac{\lambda}{d} r$
- Entfernung für $B\tau_p=1$: $\Delta_r = \frac{1}{2} c\tau_p$
- Entfernung für $B\tau_p \gg 1$: $\Delta_r = \frac{1}{2} c\tau_p = \frac{c}{2B\tau_p}$

$$S_R = \left| \sqrt{B\tau_p} \operatorname{sinc} B\tau_p \right|$$



Bandbreite: B ; Pulslänge: τ_P ; Entfernungsauflösung: δ_{rg}

$$B = \frac{1}{\tau_P}, \quad \delta_{rg} = \frac{c\tau_P}{2} = \frac{c}{2B}$$

τ_P	100 nsec	20 nsec	10 nsec	3,3 nsec	2 nsec	1nsec	333 psec
B	10 MHz	50 MHz	100 MHz	300MHz	500MHz	1GHz	3GHZ
δ_{rg}	15 m	3,0 m	1,5 m	0,5 m	30 cm	15 cm	5 cm



Auflösungsvermögen des Auges

Im sichtbaren Bereich: $\lambda \approx 10^{-4}\text{cm}$; $d \approx 1\text{mm} \dots 8\text{mm}$

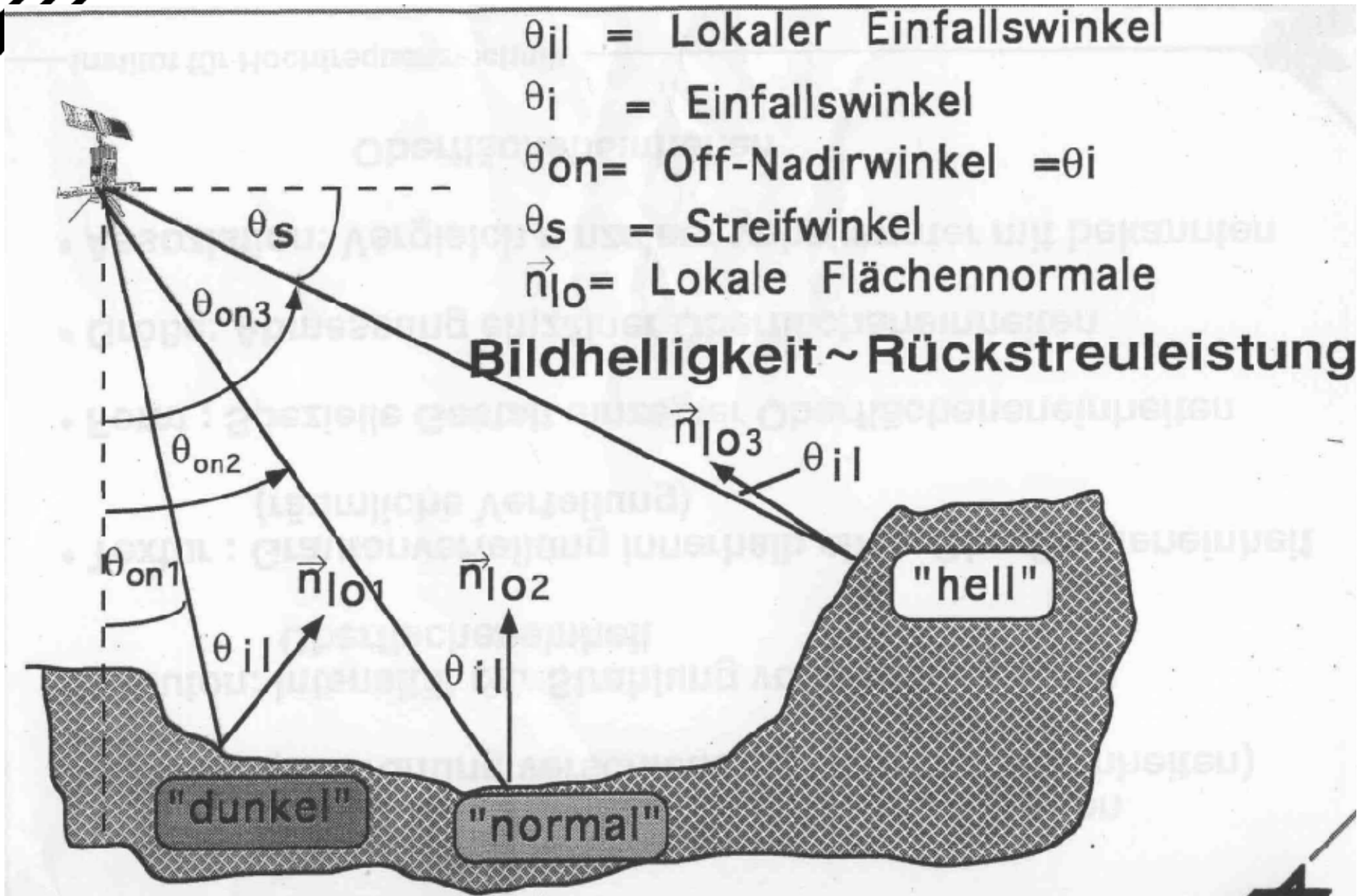
$$\delta_{\text{ang}} \approx 10'' \dots 2'$$

$$\delta_{\text{ang}} = 1' \leftrightarrow 3\text{m}/10\text{km}$$

Gleiche Auflösung im Mirowellenbereich bedingt extrem lange Antennen

$$\lambda = 20 \text{ cm} \leftrightarrow f = 1,5 \text{ GHz} \rightarrow d = 700 \text{ m}$$

$$\lambda = 3 \text{ cm} \leftrightarrow f = 10 \text{ GHz} \rightarrow d = 100 \text{ m}$$





Geschwindigkeit & Dopplerfrequenz

$$\varphi = 2 \pi \frac{2R}{\lambda}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \pm \frac{4\pi dR}{\lambda dt} = \pm \frac{4\pi}{\lambda} V_R = \pm 2 \frac{V_R}{c} 2\pi f = \omega_D$$

Doppler Frequenz: $f_D = \pm 2 \frac{V_R}{c} f$

„Faustformel“: $f_D / \text{Hz} = 55,5 \frac{V_R / \text{kmh}^{-1}}{\lambda / \text{cm}}$

V_R / kmh^{-1}	30	50	80	100	150	
f_D / Hz	555	925	1480	1850	2775	$\lambda = 3 \text{cm}$
f_D / Hz	1665	2775	4440	5550	8325	$\lambda = 1 \text{cm}$

Kohärenz bestimmt durch Phasenrelationen zwischen EMW

DLR

Inkohärenz wenn Phasen φ der Wellen statistisch verteilt, d.h.

$0 \leq \varphi \leq 2\pi \rightarrow$ Inkohärenz

Kohärenz bei konstanten Phasenrelationen zwischen Wellen, d.h.

$\Delta\varphi$ konstant \rightarrow Kohärenz

Korrelation:
$$C = \frac{\langle (E_1(t)E_2^*(t)) \rangle}{\sqrt{\langle E_1(t)E_1^*(t) \rangle \langle E_2(t)E_2^*(t) \rangle}} \quad -1 \leq C \leq +1$$

Konforme Variation von E1 & E2 $\rightarrow C=1$,
Oppositionelle Variation von E1 & E2 $\rightarrow C=-1$

Kohärenz
$$\gamma = |C| = \left| \frac{\langle (E_1(t)E_2^*(t)) \rangle}{\sqrt{\langle E_1(t)E_1^*(t) \rangle \langle E_2(t)E_2^*(t) \rangle}} \right| \quad 0 \leq \gamma \leq 1$$

$\gamma = 0 \rightarrow$ Totale Inkohärenz, $\gamma = 1 \rightarrow$ Totale Kohärenz

Übergang von reiner Kohärenz zu reiner Inkohärenz: kontinuierlich

SAR Radargleichung

Normale Radargleichung
(Hall)

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{ave} G^2 \lambda^2 \sigma T_D}{4\pi^3 r^4 (kT_0 F) L_{tot}}$$

$$T_D = \frac{\lambda r}{2\delta_{az} v}$$

SAR Radargleichung
Punktziel

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{ave} G^2 \lambda^3 \sigma}{4\pi^3 r^3 (kT_0 F) 2v \delta_{az} L_{tot}}$$

$$\sigma = \sigma_0 \delta_{az} \delta_{rge}$$

SAR Radargleichung
Flächenziel

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{ave} G^2 \lambda^3 \sigma_0 \delta_{rge}}{(4\pi)^3 r^3 (kT_0 F) 2v L_{tot}}$$



Backscattering Coefficient σ_0

<i>Levels of Radar backscatter</i>	<i>Typical scenario</i>
• Very high backscatter (above -5 dB)	Man-Made objects (urban) Terrain Slopes towards radar very rough surface radar looking very steep
• High backscatter (-10 dB to 0 dB)	rough surface dense vegetation (forest)
• Moderate backscatter (-20 to -10 dB)	medium level of vegetation agricultural crops moderately rough surfaces
• Low backscatter (below -20 dB)	smooth surface calm water, road very dry terrain (sand)