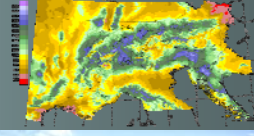


Atmosphärenphysik III



Marc Wüest (& Huw Davies)

Institut für Atmosphäre und Klima
IACETH

ETHZ CHN

www.iac.ethz.ch/people/wueest

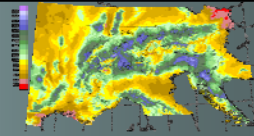
www.iac.ethz.ch/people/davies



Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

Überblick heute



- Grundprinzip Radar
- Elektromagnetische Strahlung
- Distanz- und Geschwindigkeitsmessung
- Von wenigen zu vielen Objekten
- Technischer Aufbau Dopplerradar
- Strahlausbreitung

Atmosphären-
Physik III

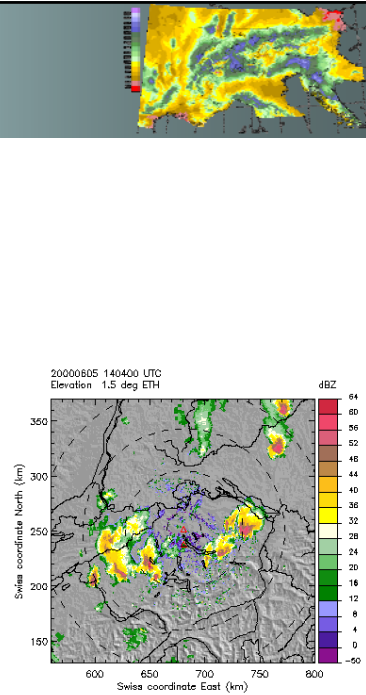
Marc Wüest
IACETH

Grundprinzip

- Radio Detection and Ranging
- Wir senden einen elektromagnetischen Puls aus und beobachten, wieviel davon zurück kommt. Wir sprechen dabei von einem **Echo** und dessen **Reflektivität**.
- Damit ist Radar ein sog. **aktives** Fernerkundungsinstrument
- Ziel ist, Niederschlagsteilchen zu **detektieren**.

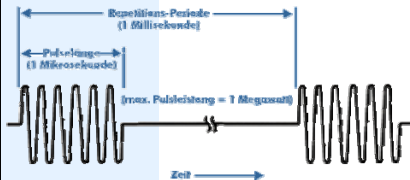
Atmosphären-Physik III

Marc Wüest
IACETH



Ranging

Distanz aus der Laufzeit $r = \frac{c \cdot t}{2}$



Atmosphären-Physik III

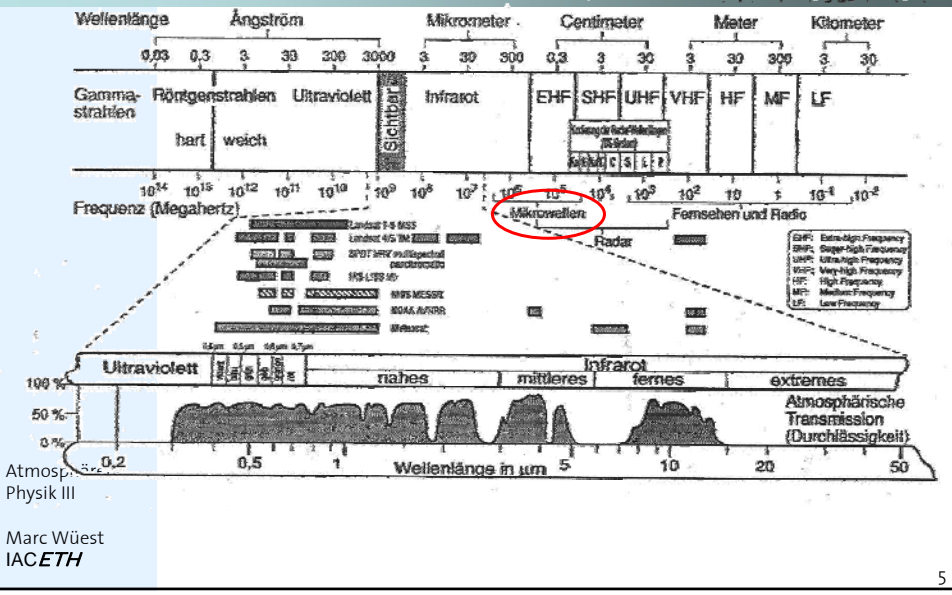
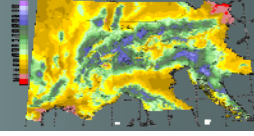
Marc Wüest
IACETH

Maximale Distanz abhängig von Pulsrepetitionsfrequenz (PRF)

$$t_{\max} = 1/\text{PRF}$$

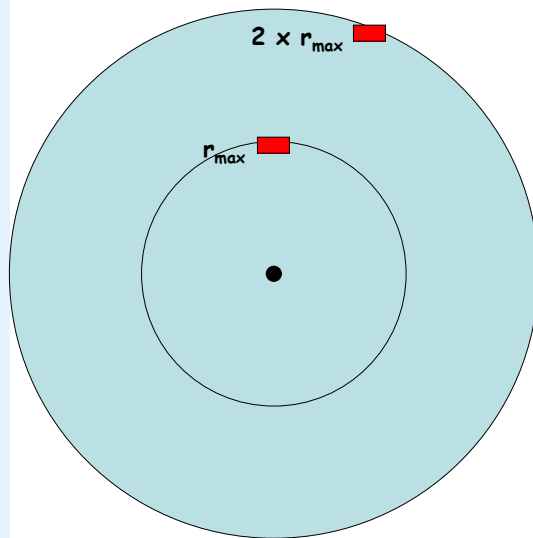
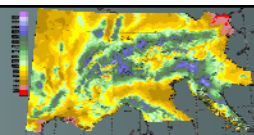
$$r_{\max} = \frac{c}{2 \cdot \text{PRF}}$$

Elektromagnetische Strahlung



Atmosphären-Physik III
 Marc Wüest
 IACETH

Verdeutlichung r_{max} Was passiert, wenn es ein Streuer weiter weg gibt?



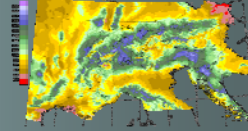
$$r_{\text{max}} = \frac{c}{2 \cdot \text{PRF}}$$

∧
 ∧

Atmosphären-Physik III
 Marc Wüest
 IACETH

Achtung!
 Second trip Echos

Doppler Geschwindigkeit



Wie können wir die Geschwindigkeit bestimmen?

→ Dopplereffekt

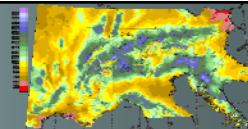
Wir messen aber nicht die technisch schwierige Frequenzverschiebung, sondern die **Phasenverschiebung**. D.h., wir vergleichen die Phasenlage eines Streuers in aufeinander folgenden Pulsen.

Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

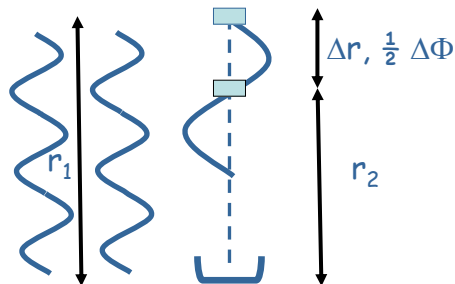
7

Doppler Geschwindigkeit



$$\Phi_1 = \Phi_0 + \frac{2 \cdot r_1 \cdot 2\pi}{\lambda}$$

$$\Phi_2 = \Phi_0 + \frac{2 \cdot r_2 \cdot 2\pi}{\lambda}$$



$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r_2 - r_1}{1/\text{PRF}} = \frac{(\Phi_2 - \Phi_1) \cdot \lambda \cdot \text{PRF}}{4\pi} = \frac{\Delta\Phi \cdot \lambda \cdot \text{PRF}}{4\pi}$$

Woher v_{max} (Nyquist Geschwindigkeit)?

Wenn $\Delta\Phi = \pm \pi$

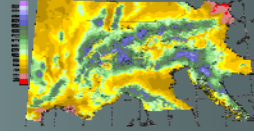
$$v_{\text{max}} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot \text{PRF}}{4\pi} = \frac{\lambda \cdot \text{PRF}}{4}$$

Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

8

Aufgabe



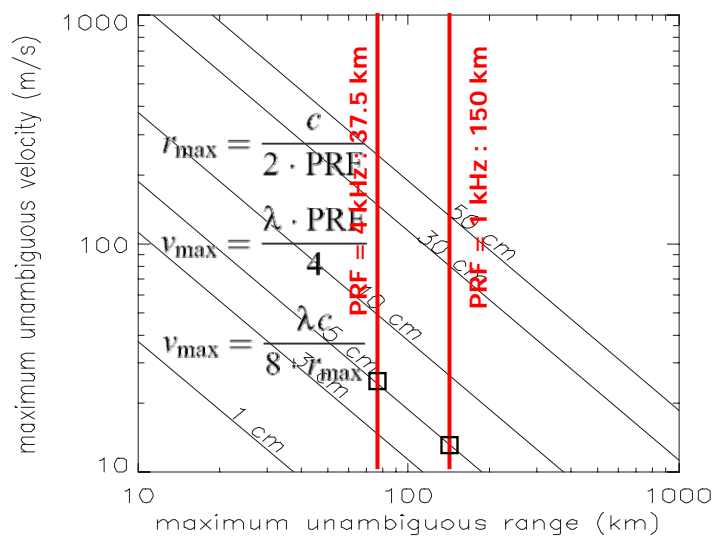
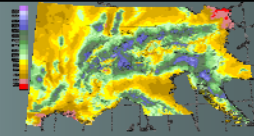
Konzipiere (Wellenlänge, PRF) ein Radar mit gutem v_{\max} , um im Schweizer Mittelland Hagel und assoziierte Sturmböen zu beobachten.

Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

9

Entweder hohes v_{\max}
oder hohes r_{\max}

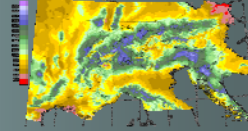


Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

10

Frequenz-Bänder



Je nach Anwendung müssen spezielle Parameter gewählt werden.

Band-bezeichnung	Frequenzbereich (GHz)	Wellenlängenbereich (cm)	Frequenz (GHz)	Wellenlänge (cm)
UHF	0.3 – 1.0	30 – 100	0.422	71
L	1.0 – 2.0	15 – 30	1.3	23
S	2.0 – 4.0	7.5 – 15	2.8	10.7
C	4.0 – 8.0	3.75 – 7.5	5.35	5.6
X	8.0 – 12.5	2.4 – 3.75	9.4	3.2
K _u	12.5 – 18	1.67 – 2.4	–	–
K	18 – 26.5	1.13 – 1.67	24	1.25
K _a	26.5 – 40	0.75 – 1.13	35	0.86
Millimeter	40 – 300	0.1 – 0.75	–	–

Atmosphären-Physik III

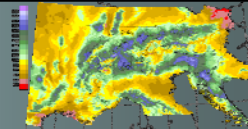
Marc Wüest
IACETH

Streuung auch entscheidend!!

$$\propto \lambda^{-4} \text{ (s. nächstes Mal)}$$

11

Radarantennen



Abmessung Antenne etwa
 $D \sim 10 \text{ bis } 100 \lambda$

Strahlöffnungswinkel [°]
 $\sim \lambda [\text{cm}] / D [\text{m}]$

X-band radar während MAP



Mobiles scannendes C-band radar DOW während MAP



Scannendes C-band radar ETH HPP

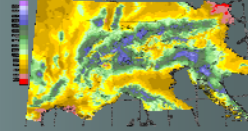


Radarbus IAC (X-band)

Atmosphären-Physik III

Marc Wüest
IACETH

Antenne



Seitenansicht



Grundriss

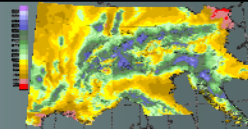


Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

13

Mögliche Parameter eines Wetterradars



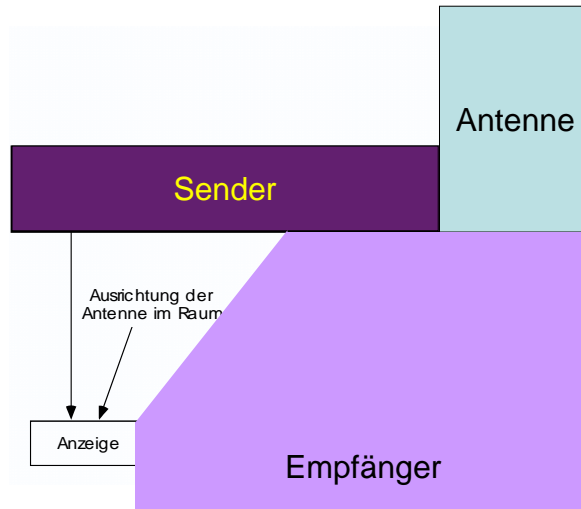
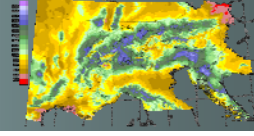
Größe	Symbol	Einheit	Typischer Wert	Bemerkung
Frequenz	f	Hz	3000 MHz	Die Zeit für einen Umlauf (Periode) ist für diese Frequenz nur $3,3 \cdot 10^{-10}$ s
Wellenlänge	λ	m	10 cm (bei 3000 MHz)	$\lambda = c/f$
Pulsdauer	τ	s	1 μ s	Ein 1- μ s-Puls enthält 3000 Sinuswellen bei 3000 MHz
Pulslänge	h	m	300 m (bei $\tau = 1 \mu$ s)	Länge des Pulses in der Atmosphäre; $h = c\tau$
Puls-Repetitions-Frequenz	F	s^{-1}	400 s^{-1}	Wird oft auch PRF abgekürzt
Puls-Repetitions-Periode	\bar{T}_r	s	2,5 μ s (bei $F = 400 s^{-1}$)	$\bar{T}_r = 1/F$
Duty Cycle	-	-	$4 \cdot 10^{-4}$ (bei τ, \bar{T}_r wie oben)	Zeitverhältnis während der das Radar wirklich sendet
Maximale Leistung	P	W	1 MW	1 MW = 90 dBm
Pulsenergie	W	J	1 J (bei P, τ wie oben)	Integral der Leistung über die Pulsdauer; $W = P\tau$
Mittlere Leistung	P_{av}	W	400 W (bei P, τ, F wie oben)	Gemittelte Leistung über eine ganze Pulslänge; $P_{av} = WF = P\tau F$

Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

14

Technik

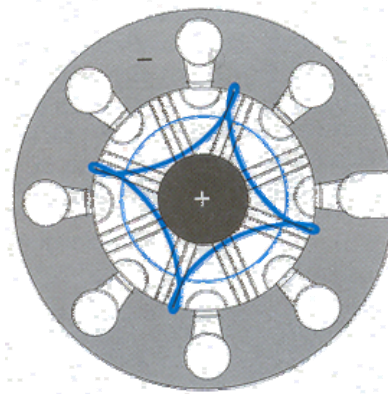
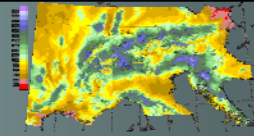


Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

17

Magnetron



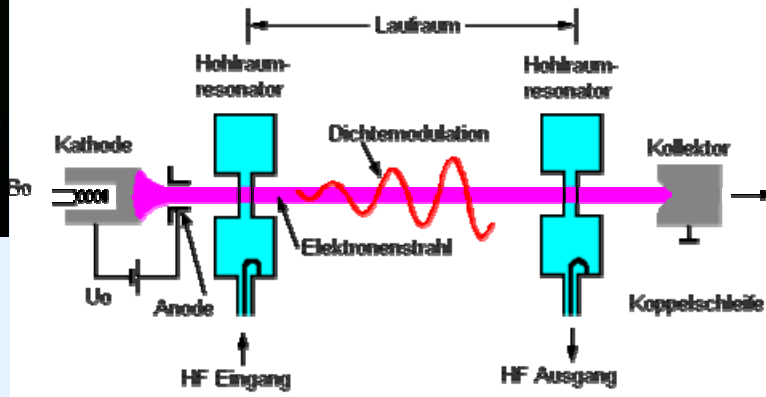
Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

Ist älter und mehr verbreitet,
Phasenbeziehung nicht bekannt
→ muss Referenz speichern

18

Zweikammer-Klystron



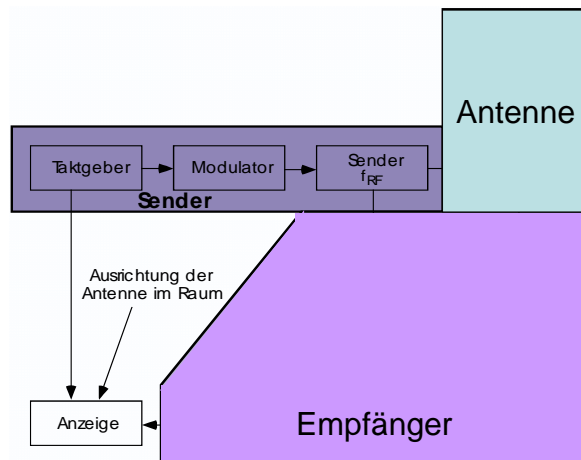
Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

- Vorteil: Phasenlage für jeden Puls gleich

19

Technik

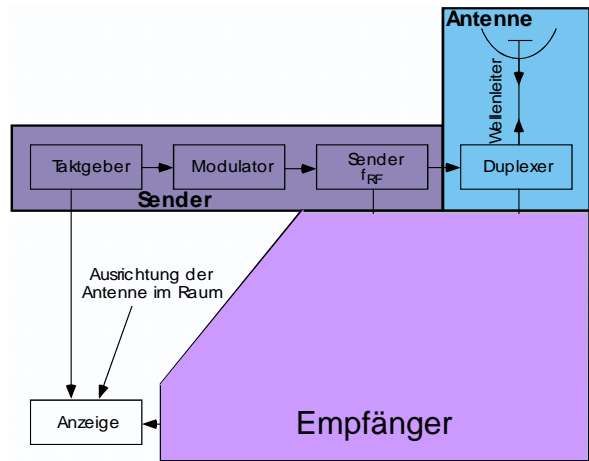
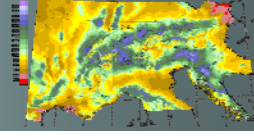


Atmosphären-
Physik III

Marc Wüest
IACETH

20

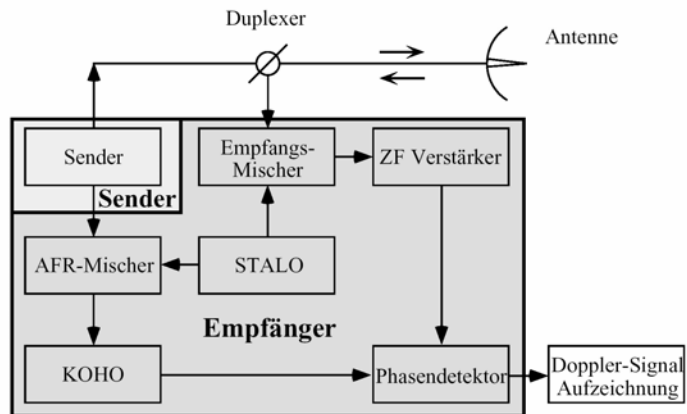
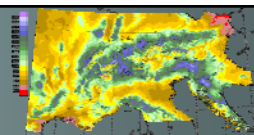
Technik



Atmosphären-Physik III

Marc Wüest
IACETH

Doppler-Radar Phasenvergleich mit kohärentem Oszillator



Atmosphären-Physik III

Marc Wüest
IACETH