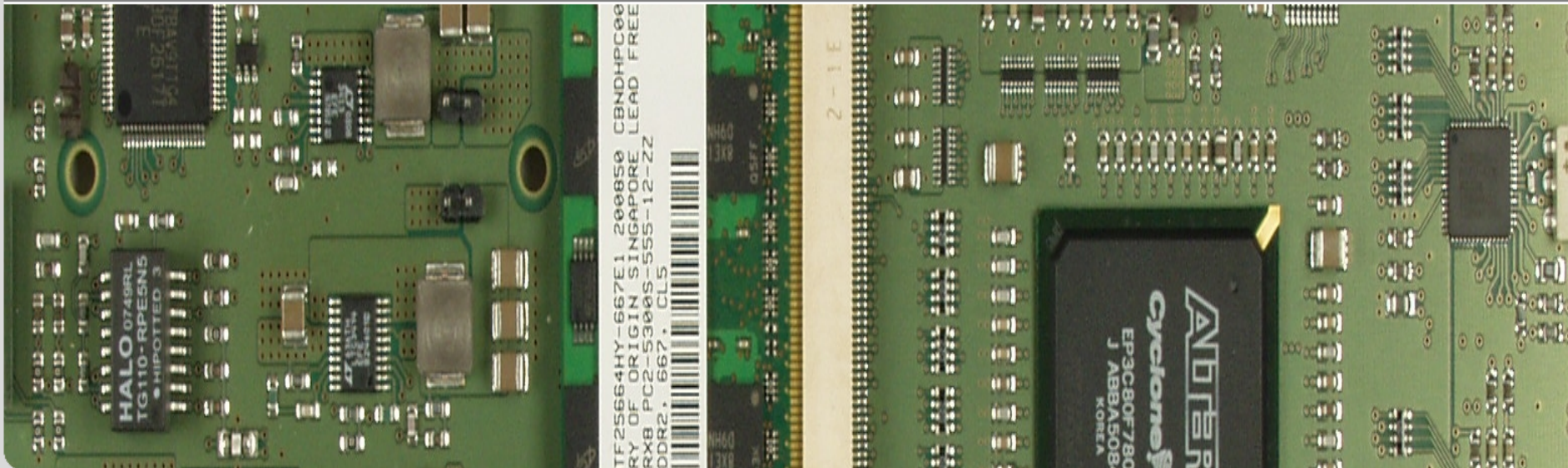


Datenaufnahme- und Triggerelektronik für den Radionachweis kosmischer Strahlung

Christoph Rühle

Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE)



Das AERA Projekt

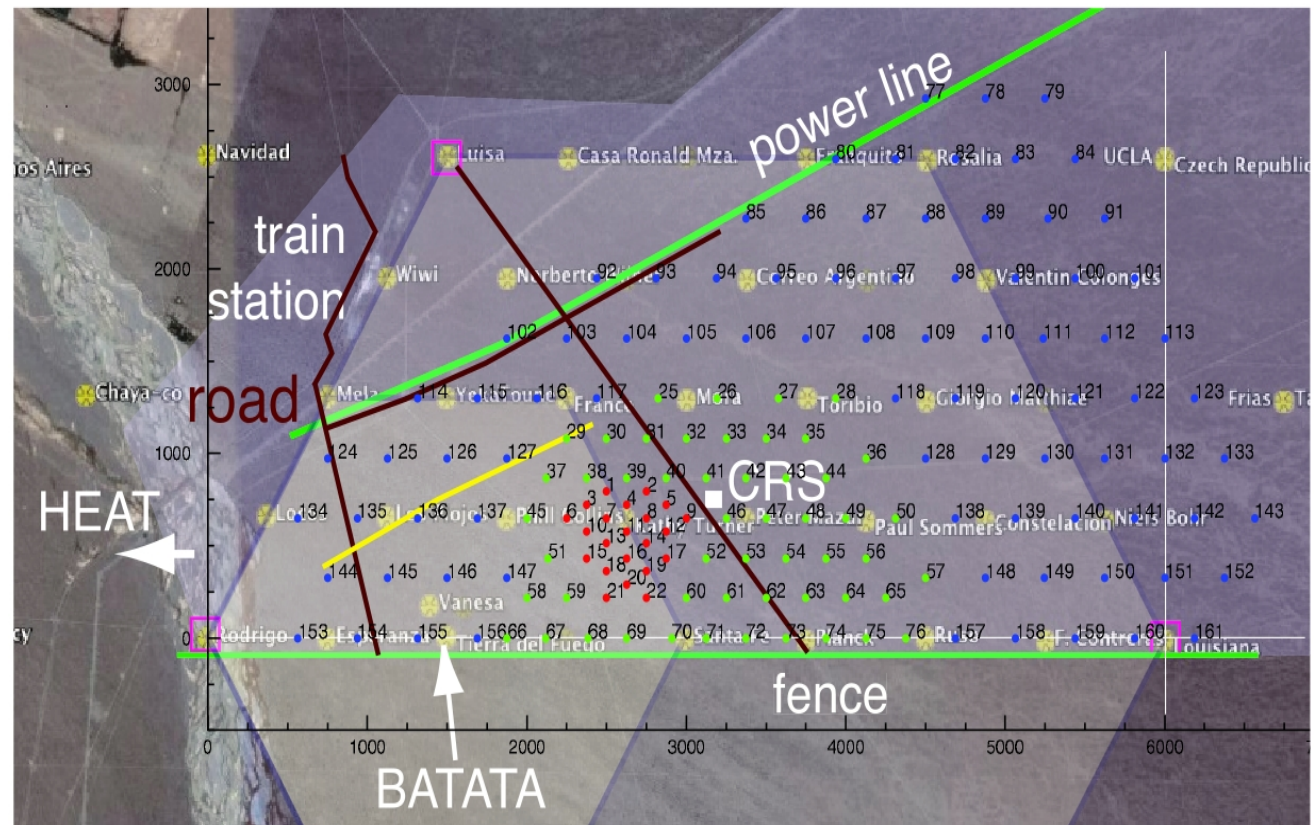
■ Auger Engineering Radio Array

Ausbau in 3 Stufen:

1. 24 Stationen (2010)
2. 76 Stationen
3. 161 Stationen

jede Station mit:

- Solarstromversorgung
- Funkkommunikation



- Ziel: Detektion von Radiosignalen kosmischer Strahlung

Das AERA Projekt

■ Anforderungen an die Elektronik:

- Solarstromversorgung:
 - niedriger Leistungsverbrauch
- Funkkommunikation:
 - Selbsttriggerung
 - Kontinuierliche Pufferung von bis zu 3 Sek. Messdaten
 - zu puffernde Datenrate:
 - ~ 550 MByte/s

AERA Antennenstation

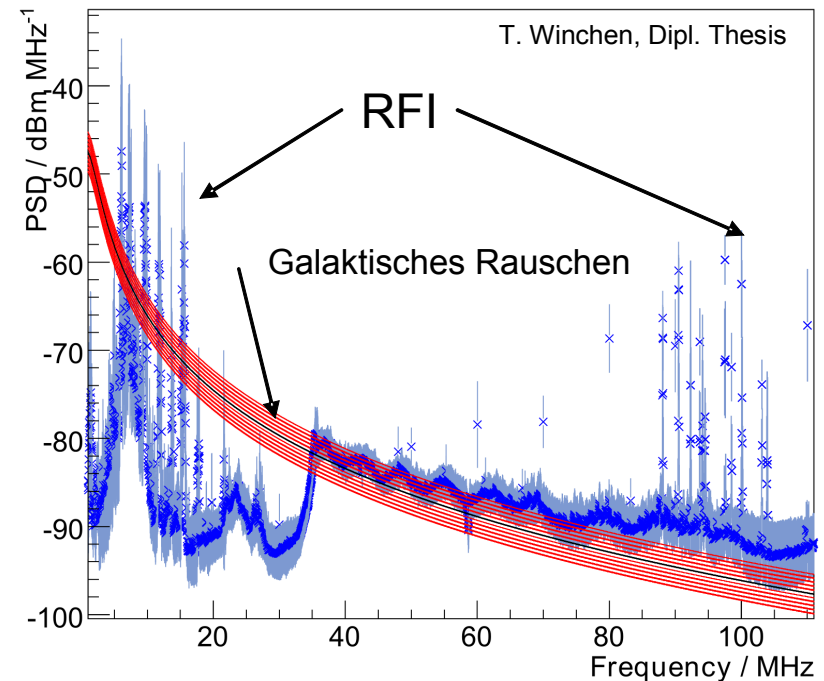
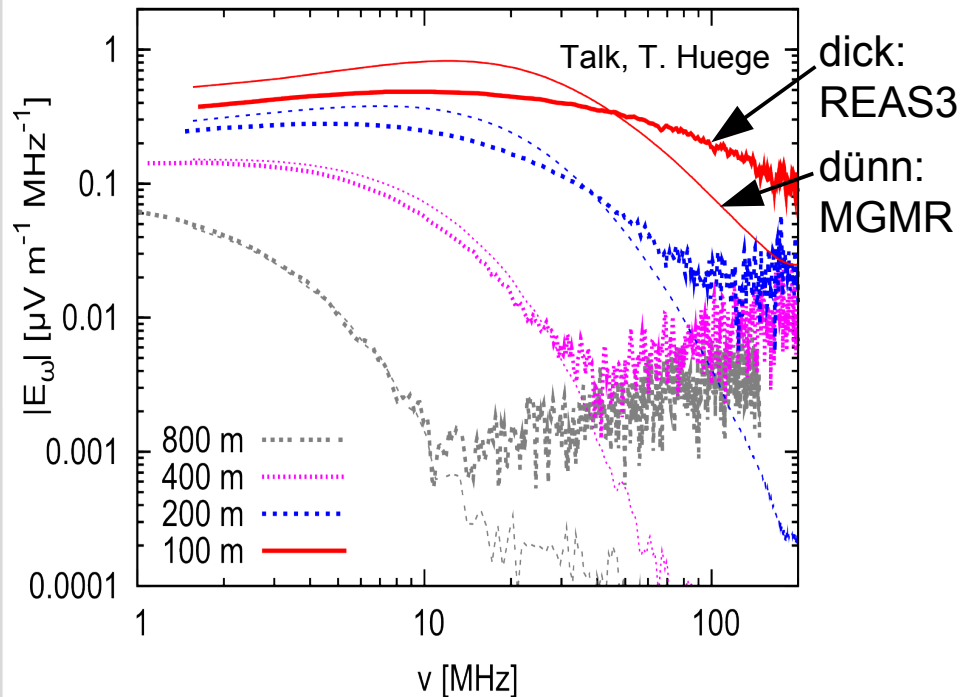
ARENA proc. S.Fliescher



Signale und Untergrund

Spektren von Signalsimulationen und Untergrund:

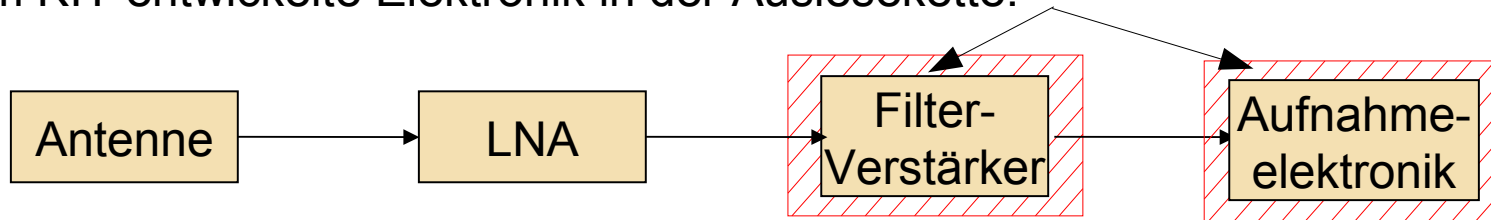
vertical, 10^{17} eV, Argentina B-field, 1400 m a.s.l.



- Radiopulse mit einigen ns Länge erzeugen Spektren von ~ 1 bis 100 MHz
- Aber: Rundfunkträger (RFI) unter 30 MHz und über 80 MHz

AERA Antennenstation

- Am KIT entwickelte Elektronik in der Ausleseketten:

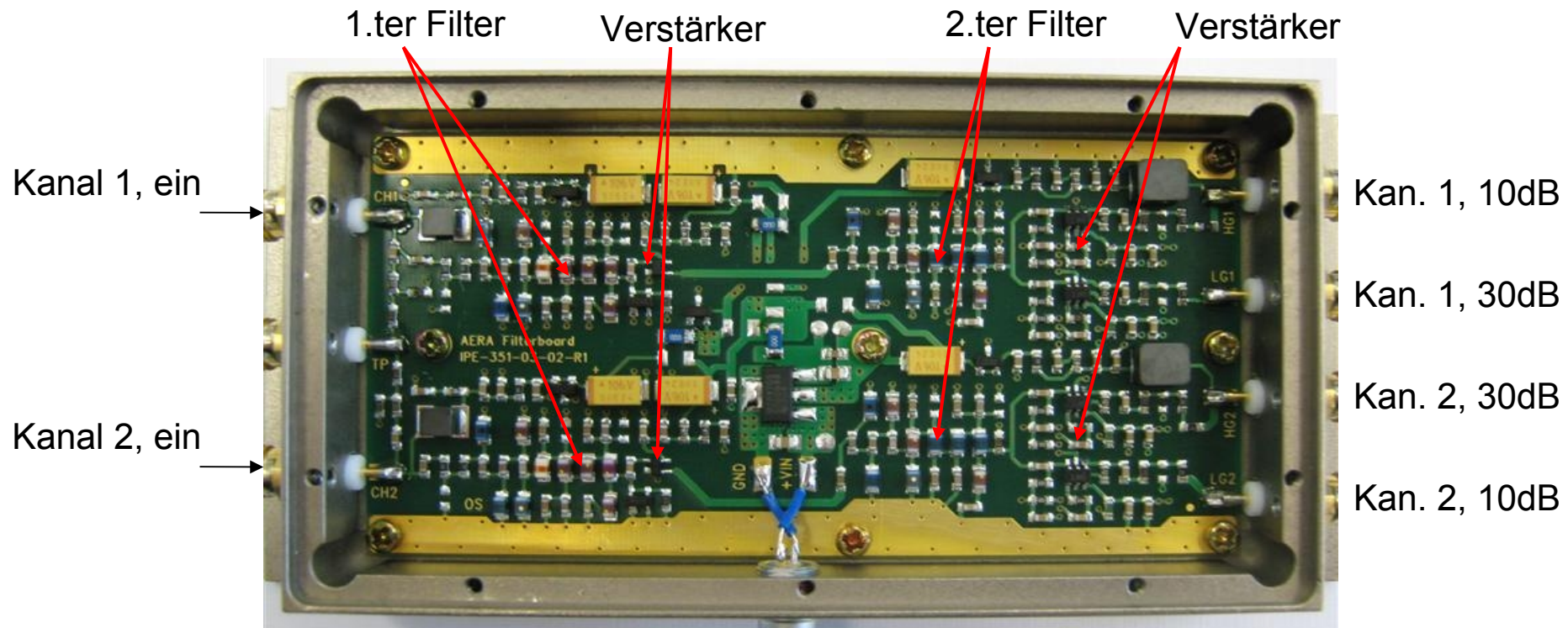


- Low noise amplifier (LNA) für erste Verstärkung
- Filter-Verstärker mit Bandpass von 30 bis 80 MHz zur Unterdrückung des Radiohintergrundes
- Verstärktes Signal wird anschließend von Aufnahmeelektronik erfasst
- Aufnahmeelektronik mit Zwischenspeicher und Selbsttriggeralgorithmus

Filter-Verstärker

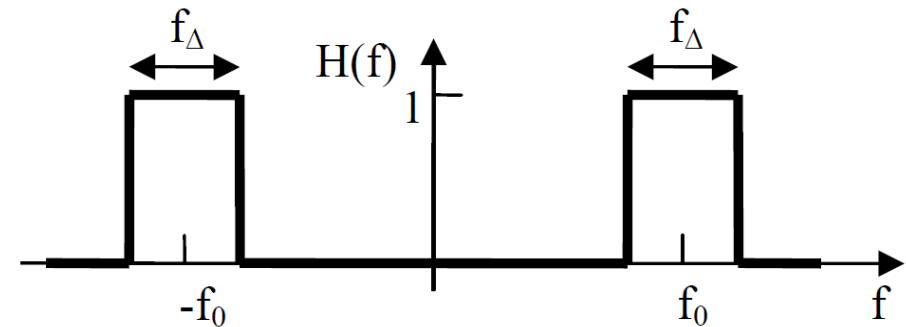
- 2 Eingangskanäle, werden in Ausgänge mit 10 dB bzw. 30 dB Verstärkung aufgeteilt
- 2 passive Filterstufen mit Verstärker

$$\text{Verstärkung [dB]} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{\text{aus}}}{P_{\text{ein}}} \right)$$



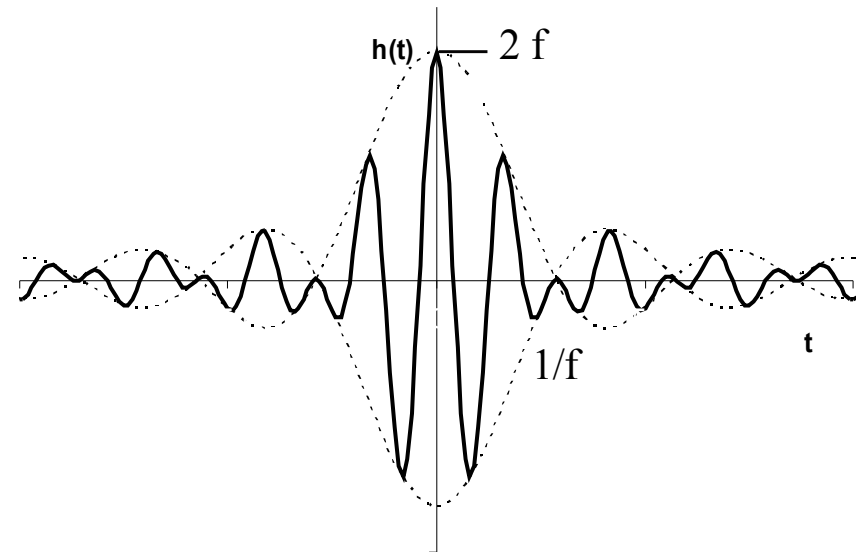
Impulsantwort von Bandpässen

- Annahme: Bandfilter mit
Mittenfrequenz f_0 ,
Bandbreite f_Δ
Transferfunktion $H(f)$



- Inverse Fourier Transformation von $H(f)$ ergibt Pulsantwort $h(t)$:

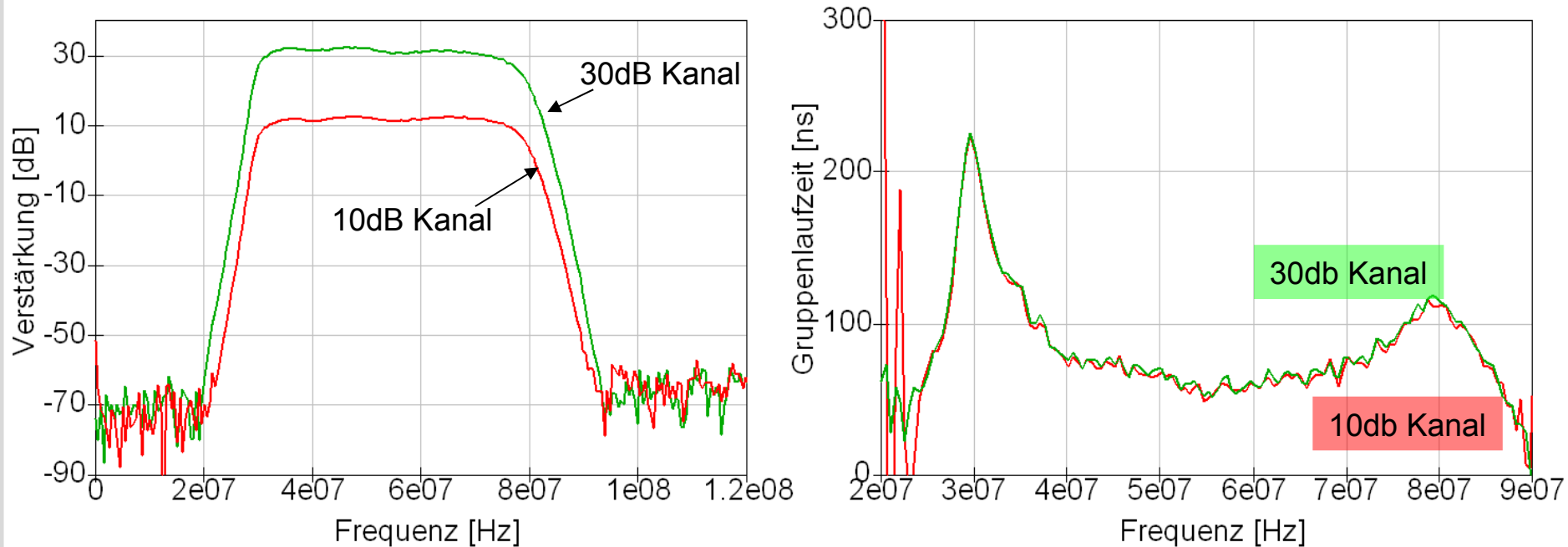
$$\begin{aligned}
 h(t) &= 2 f_\Delta \cdot \frac{\sin \pi f_\Delta t}{\pi f_\Delta t} \cdot \cos 2 \pi f_0 t \\
 &= 2 f_\Delta \cdot \text{sinc}(\pi f_\Delta t) \cdot \cos 2 \pi f_0 t
 \end{aligned}$$



Pulsantwort bereits vor $t=0 \rightarrow$ akausal, Filter kann nicht existieren

Transmission: Frequenzbereich

■ Messung von Verstärkung und Gruppenlaufzeit:



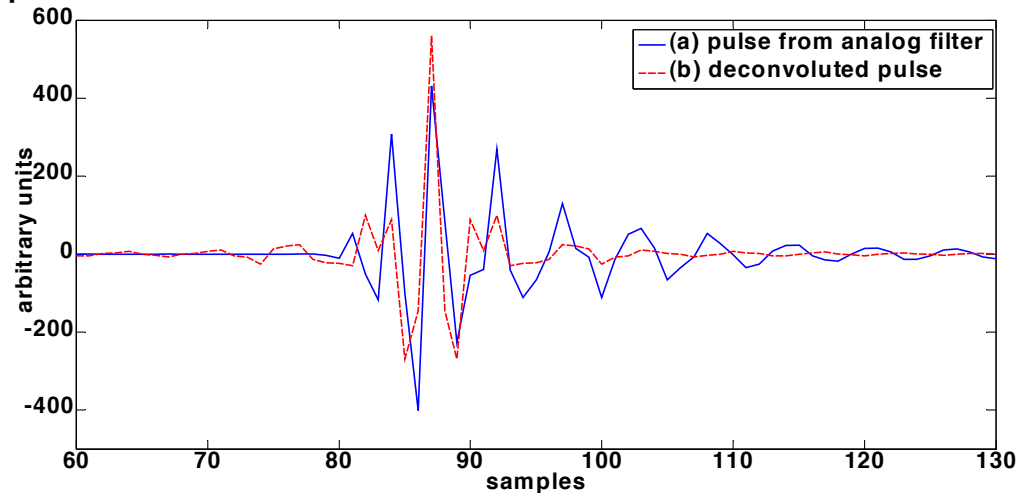
- Welligkeit des Frequenzgangs < $\pm 0.7\text{dB}$
- Sperrdämpfung > 90 dB

Transmission: Zeitbereich

- Zur besseren Veranschaulichung per IFFT errechnete Pulsantworten nach Sampling durch ADC (180 MS/s):

Nicht konstante Gruppenlaufzeit
führt zu Dispersion

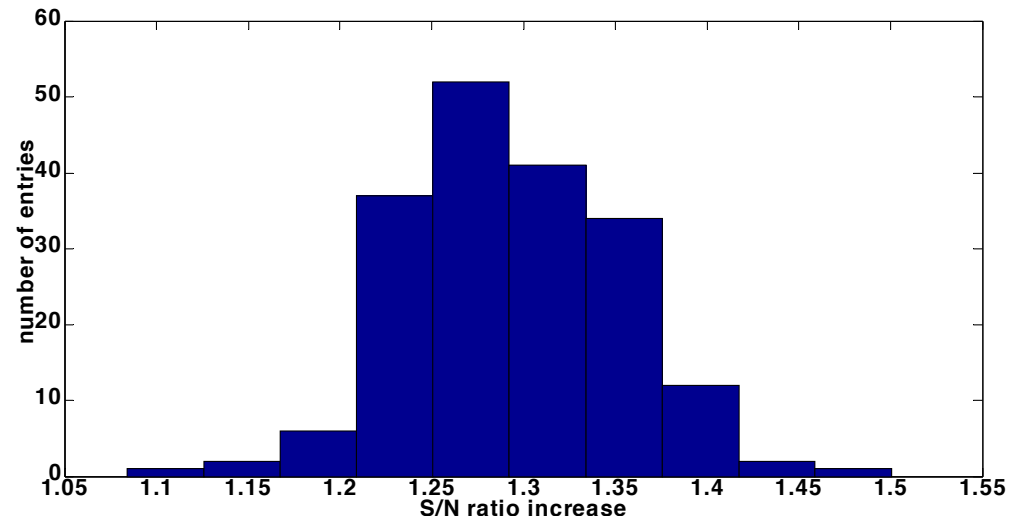
→ Signalamplitude sinkt



Filterübertragungsfunktion bekannt:

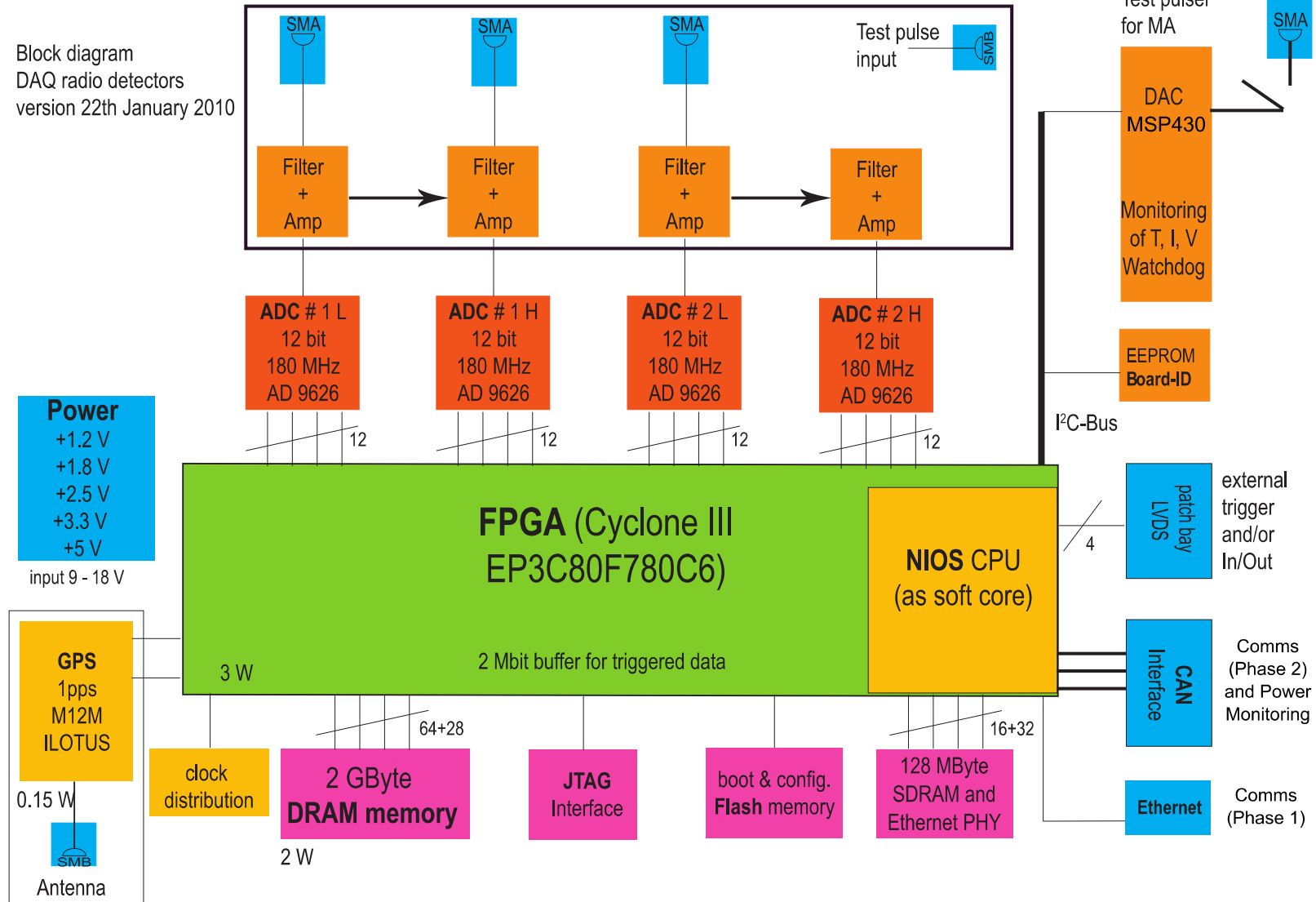
→ Kann durch Entfaltung in der Datenaufnahmelektronik wieder korrigiert werden

→ ~25% verbessertes Signal zu Rauschen Verhältnis (SNR)



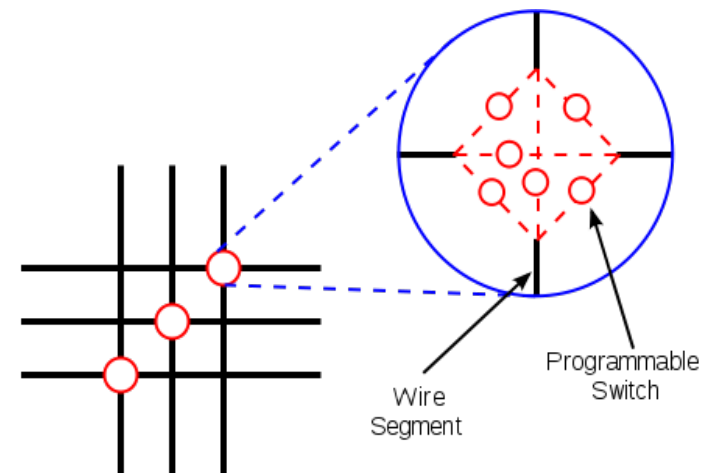
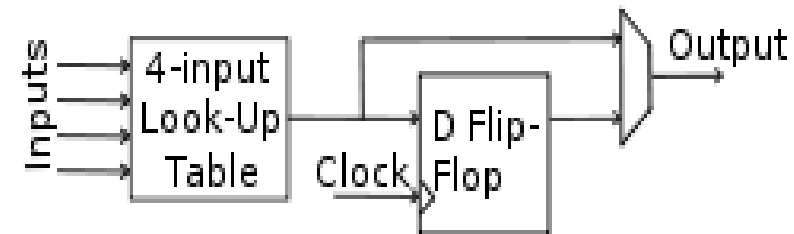
Datenaufnahmeelektronik: Überblick

Block diagram
DAQ radio detectors
version 22th January 2010

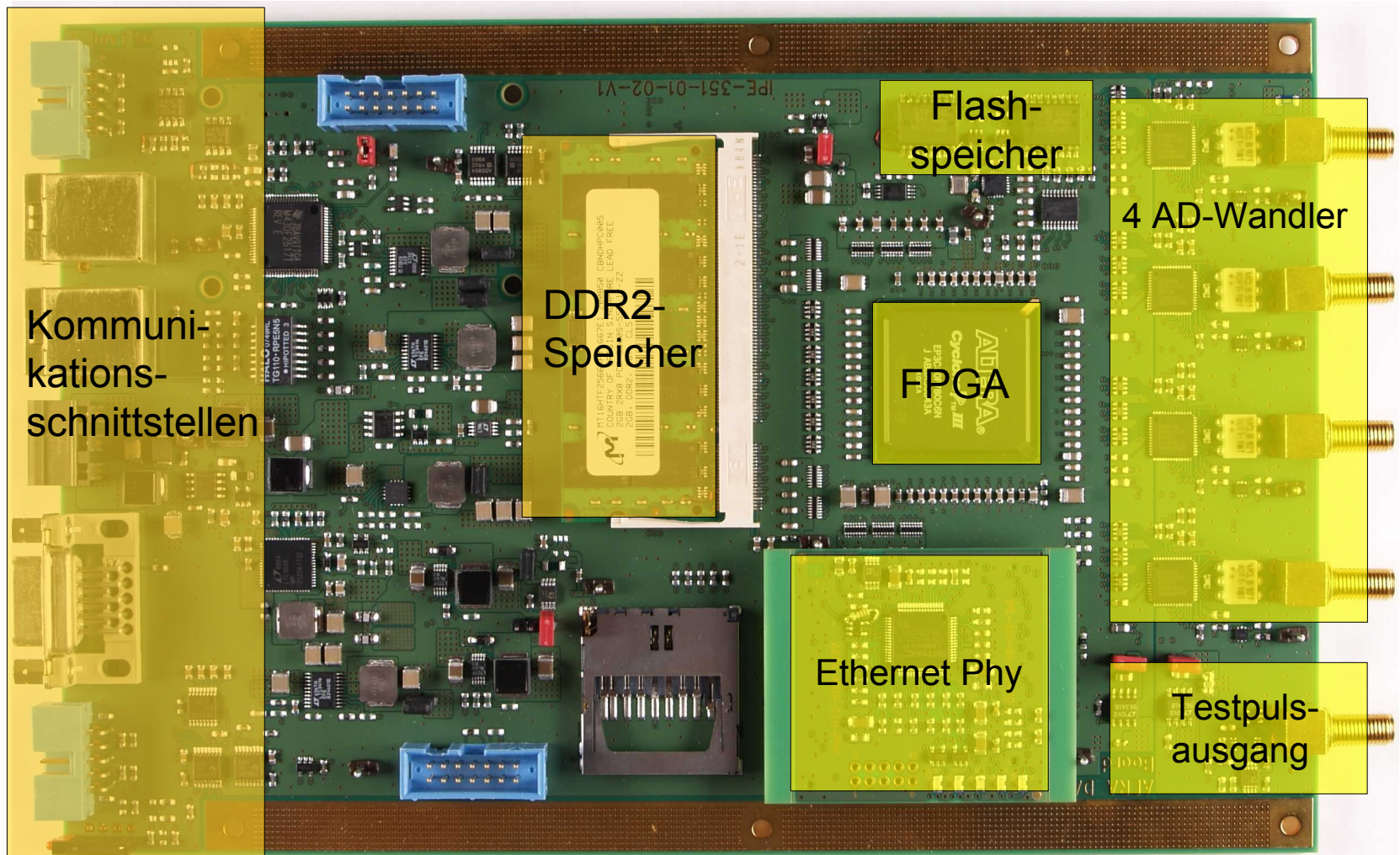


Datenaufnahmeelektronik: FPGA

- FPGA: Field Programmable Gate Array:
Chip mit rekonfigurierbarer Logik
- LUTs implementieren elementare Logik
- LUTs über Bus-Matrix miteinander verbunden
- Zusätzliche Funktionsblöcke in großen FPGAs, z.B.:
 - SRAM (hier: 351 kByte)
 - Multiplizierer (hier: 488, 9x9 bit)
- Standardfunktionen verfügbar als IP-cores:
Speicher-/ Netzwerkschnittstellen, CPUs, etc.

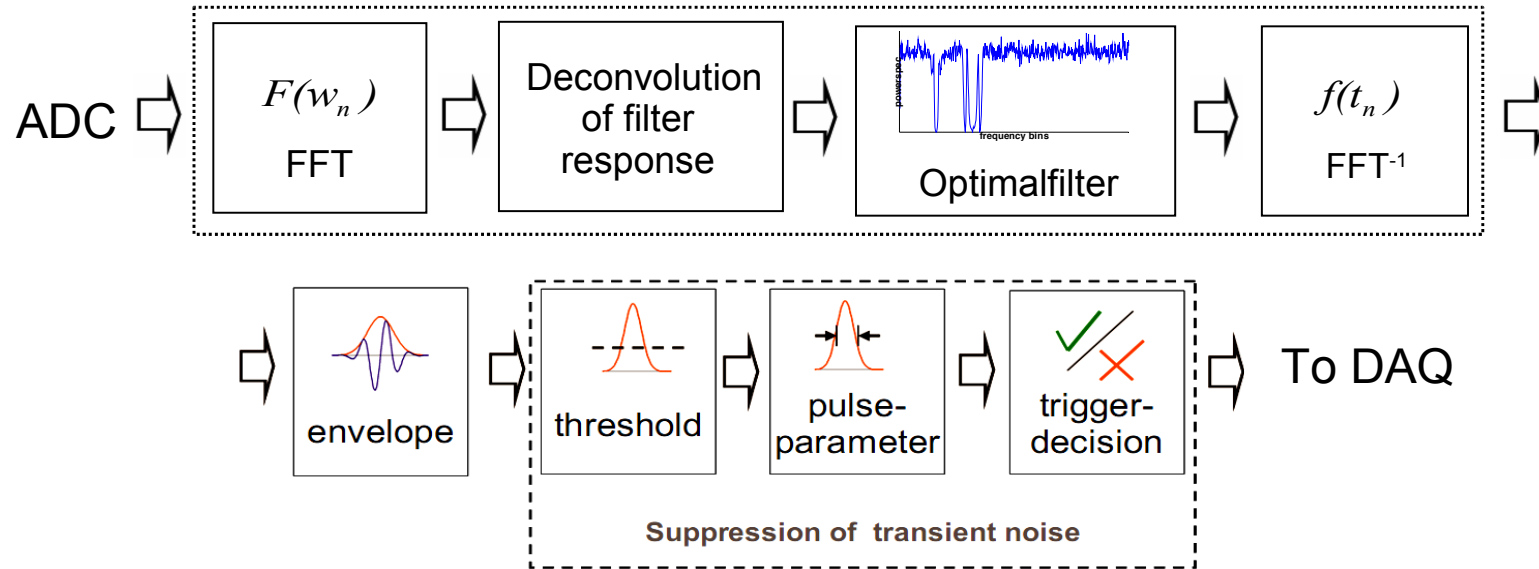


Datenaufnahmeelektronik: Aufbau



GPS-Modul auf Rückseite

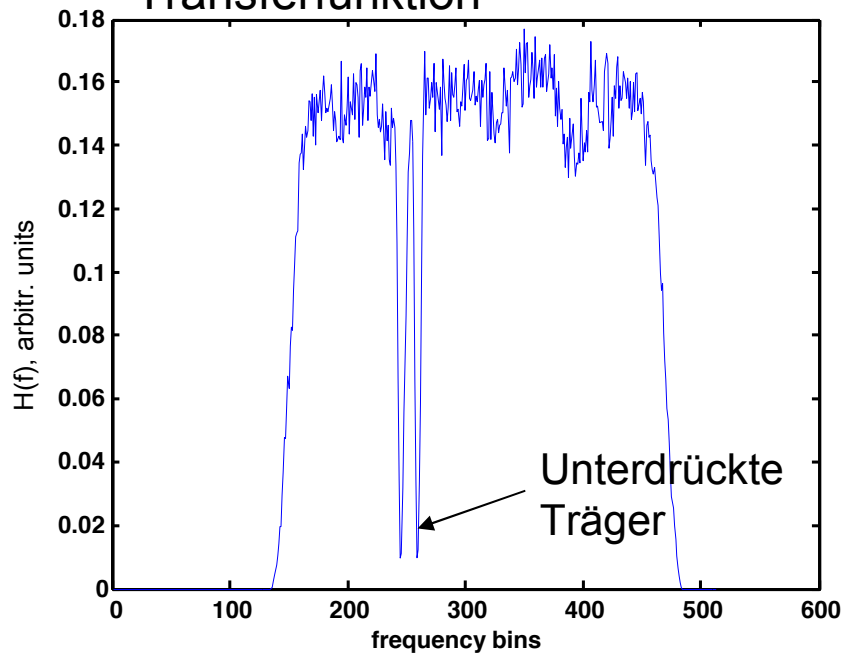
Signalverarbeitung und Trigger im FPGA



- Entfaltung im Frequenzraum
- Optimalfilter unterdrückt Trägerfrequenzen von Radiosendern
- Signal wird in Zeitbereich zurücktransformiert, nun mit besserem SNR
- Einhüllende und deren Pulsparameter werden berechnet, abhängig davon Triggerentscheidung
- Triggereinheit verarbeitet 550 Mbyte/s, 2 W Leistungsaufnahme

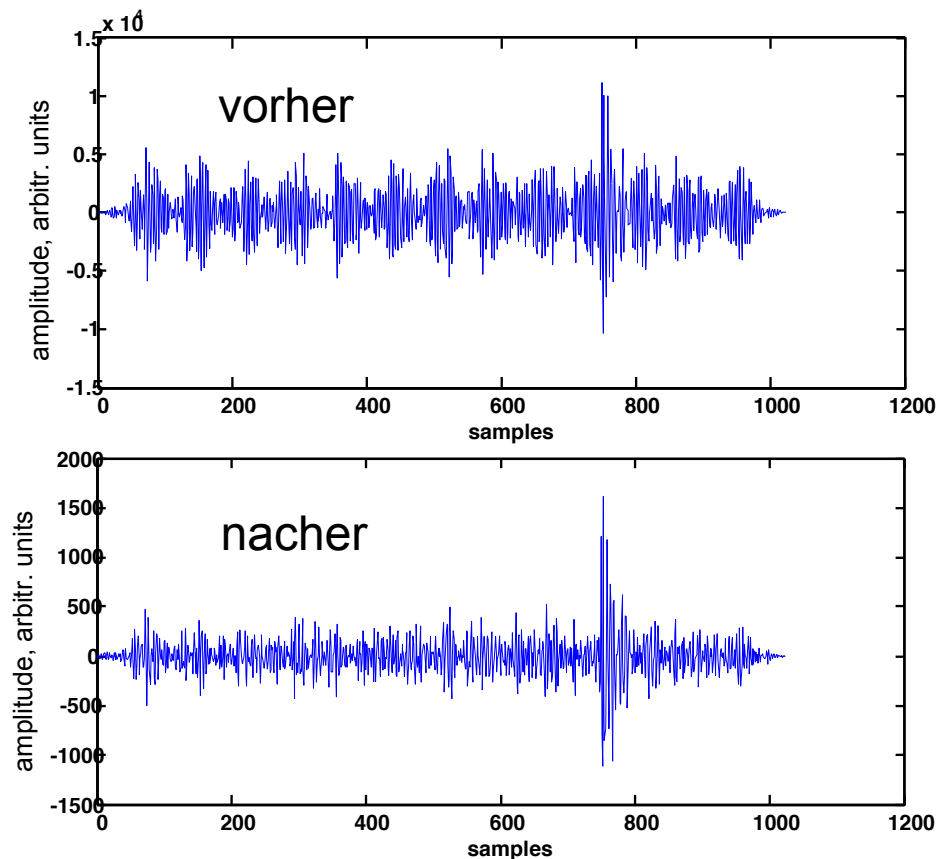
Optimalfilter

Transferfunktion



→ nahezu vollständige
Unterdrückung der Träger

Optimalfilterung von Daten,
gestört von zwei Trägern:



Zusammenfassung

■ Filterverstärker:

- Unterdrückt störende Träger durch Bandpassfilter
- 24 Filterverstärker wurden für AERA erfolgreich getestet und ausgeliefert

■ Datenaufnahmeelektronik:

- FPGA bieten energieeffiziente Möglichkeit zur schnellen Signalverarbeitung
- Entfaltung und Optimalfilter verbessern SNR für Trigger
- Seit zwei Wochen 6 Teststationen in Argentinien in Betrieb