

# Ultraschnelle FFT realisiert **im FPGA** für **Radioastronomie** und **Atmosphärenphysik**

Bruno Stuber, FHNW, Institut für Automation

# Inhalt

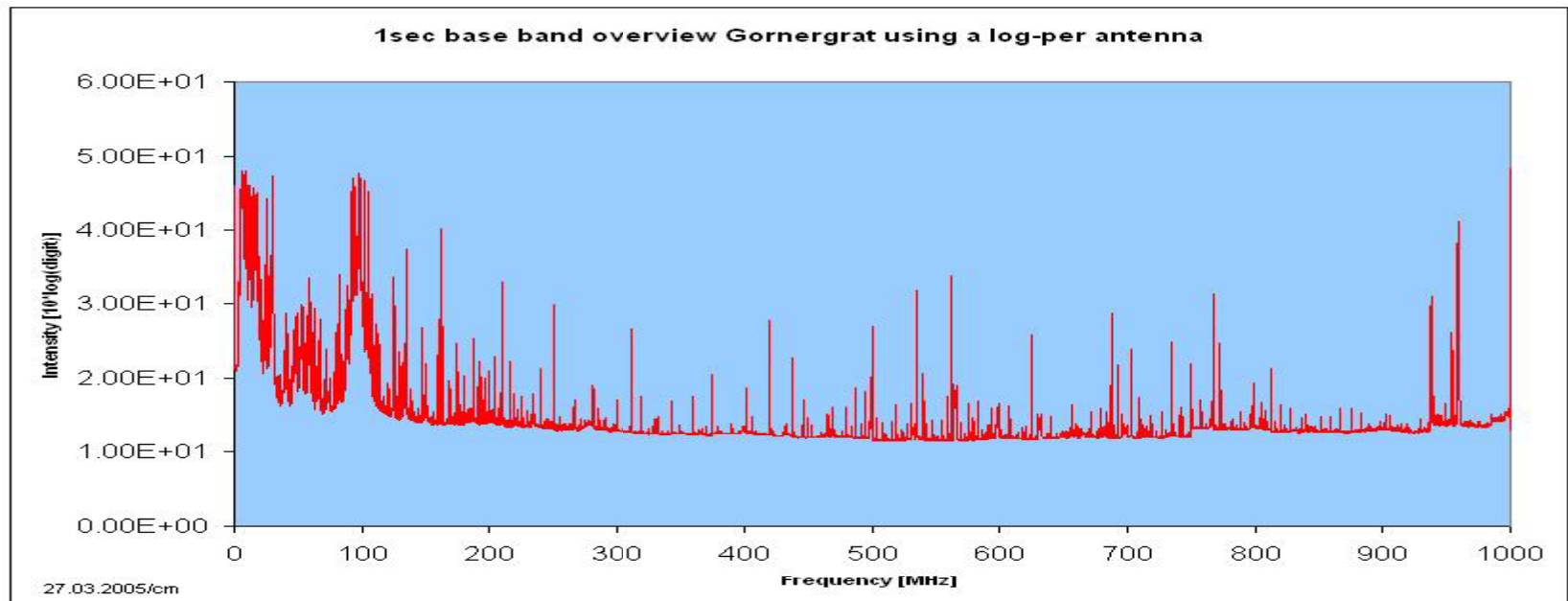
- 1) Zielsetzung
- 2) Projekte und Partner
- 3) Die FFT-Einheit
- 4) Anwendung 1: Radioastronomie
- 5) Anwendung 2: Atmosphärenphysik
- 6) Zusammenfassung, Fragen

## Ziel:

# Kompakte FFT-Einheit zur online Spektralmessung

- Bandbreite: 1 x 1 GHz oder 2 x 500 MHz @ 8 Bit Auflösung
- Spektrale Auflösung (*Bins*): 16'384 Linien
- Spektren  $|X|^2$  akkumulierbar

Beispiel:



## Projekte und Partner:

### FHNW intern:

- Institut für Mikroelektronik
- Institut für Automation

### Externe Partner:

#### 1) Projekt ARGOS (→ mit KTI Förderung)

- ETH Zürich: Institut für Radioastronomie
- Acqiris Genf (heute Agilent)

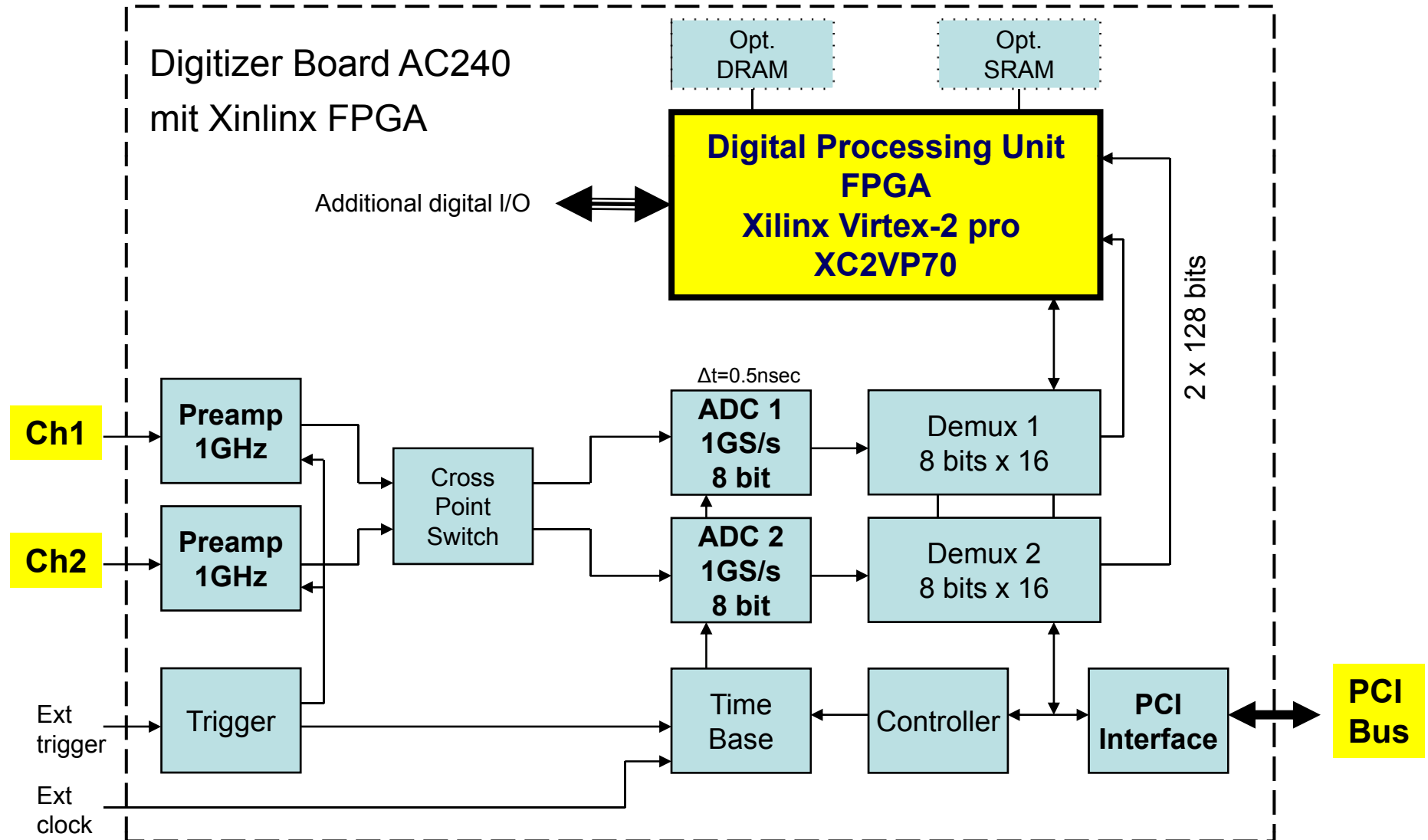
#### 2) Projekt CoSpAn (MIAWARA)

- Uni Bern: Institut für Angewandte Physik
- Agilent Genf (acqiris)

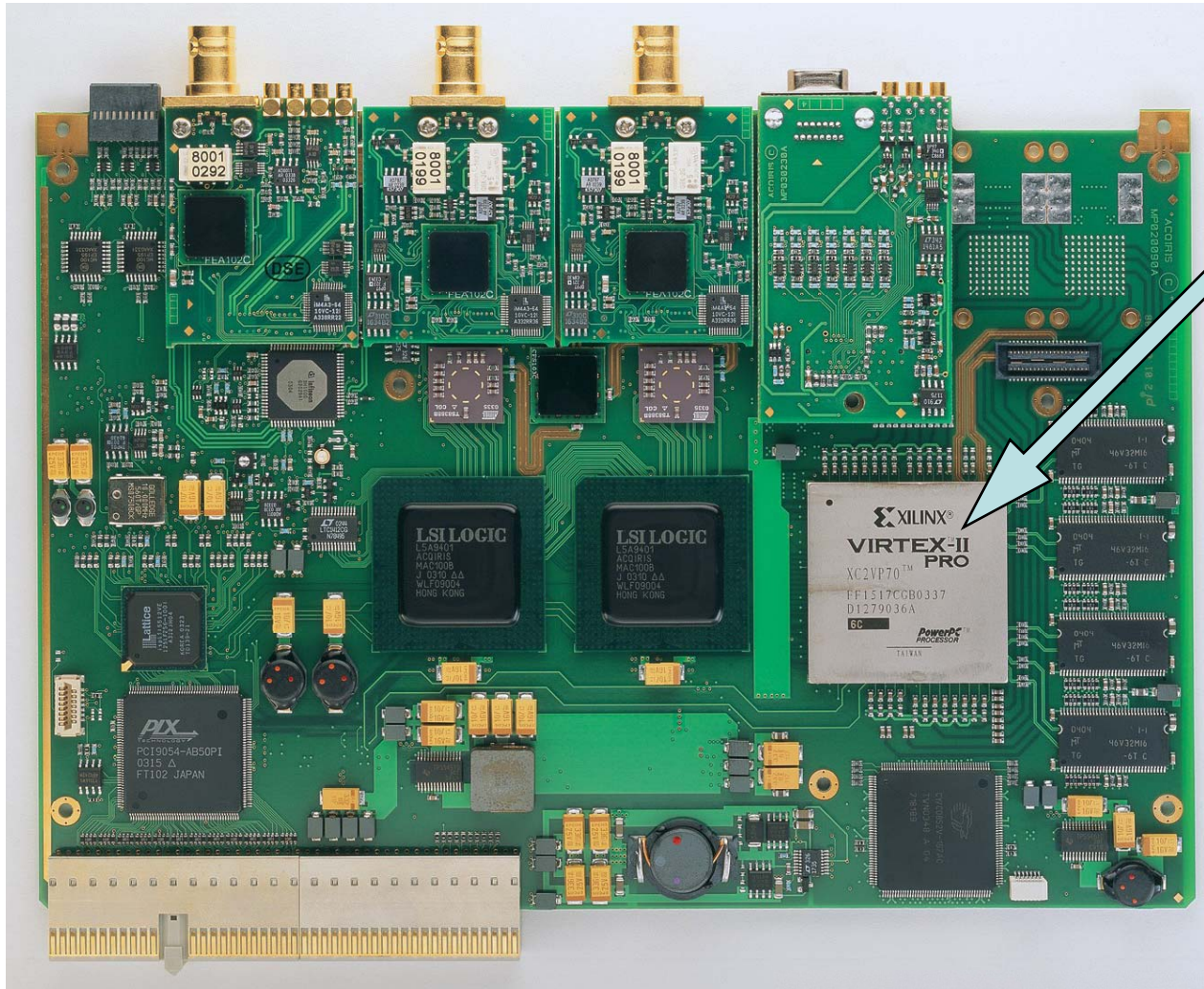
**ETH**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich**u<sup>b</sup>****UNIVERSITÄT  
BERN****acqiris**

DATA CONVERSION INSTRUMENTS

# Die FFT-Einheit:



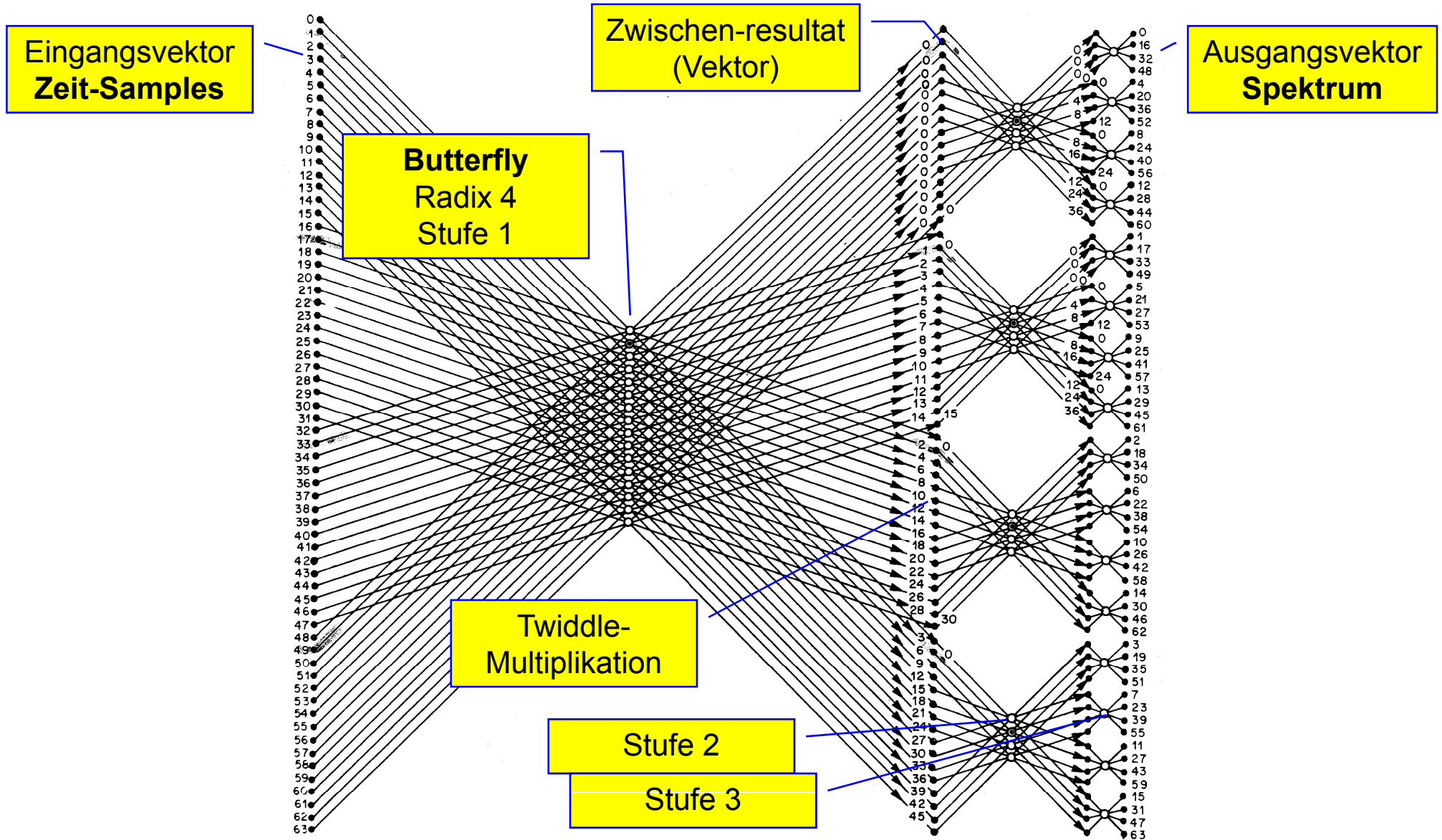
# Die Hardware: Digitizer Board AC240 (Agilent)



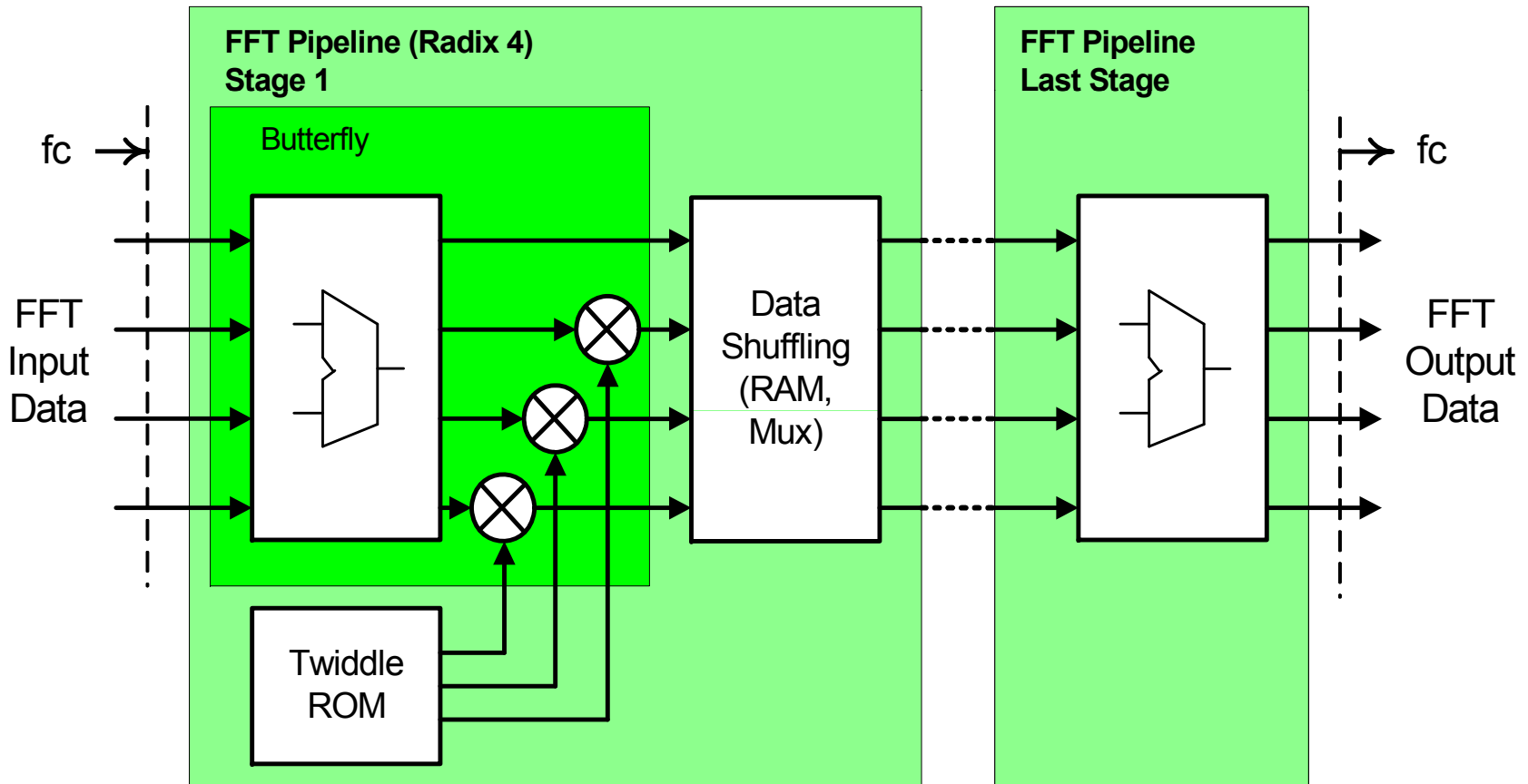
Field Programmable Gate Array (FPGA) mit FFT-Algorithmus ⇒ FHNW



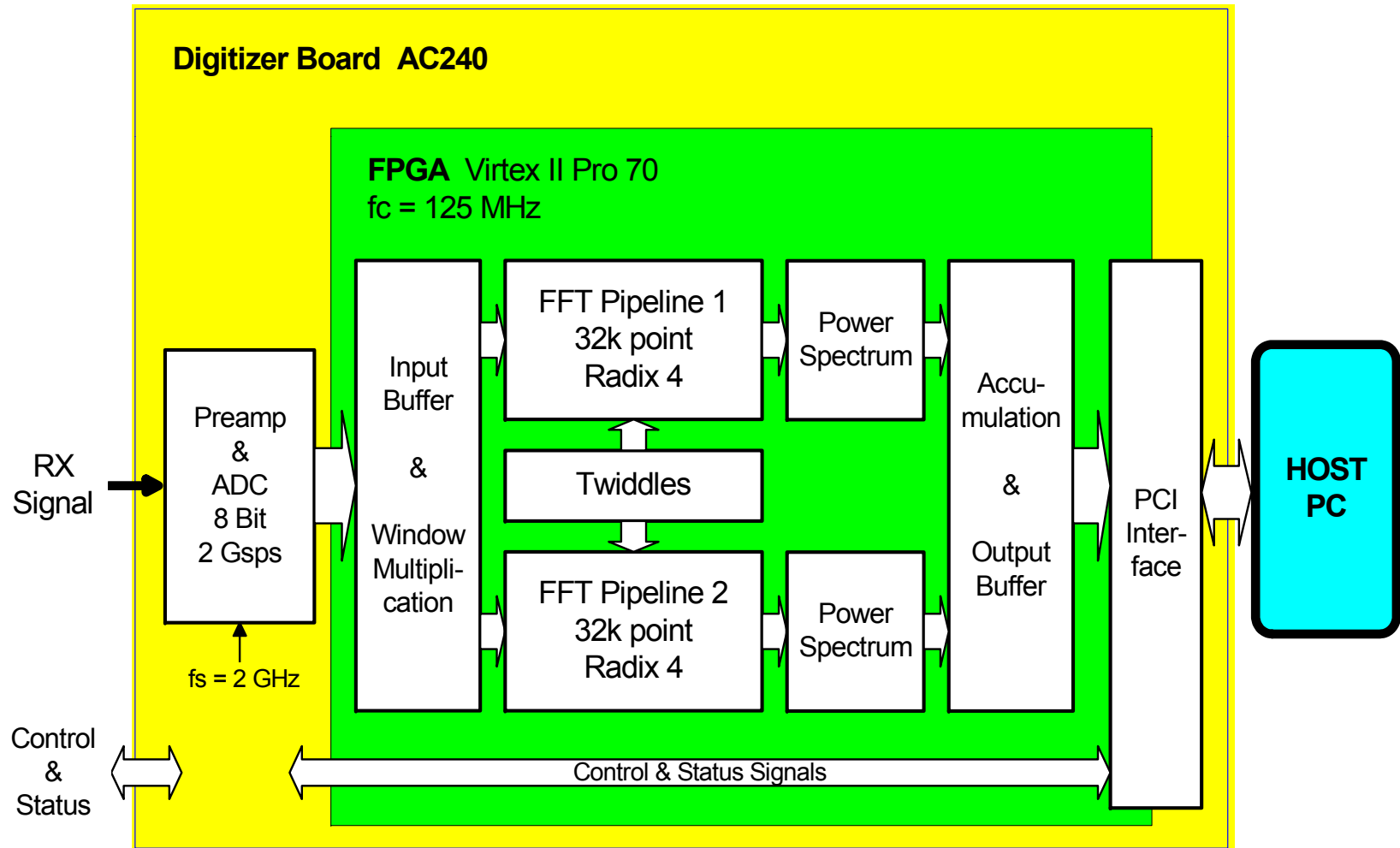
### Beispiel einer Radix 4 FFT (64 Punkt)



# FFT - *Butterfly*:

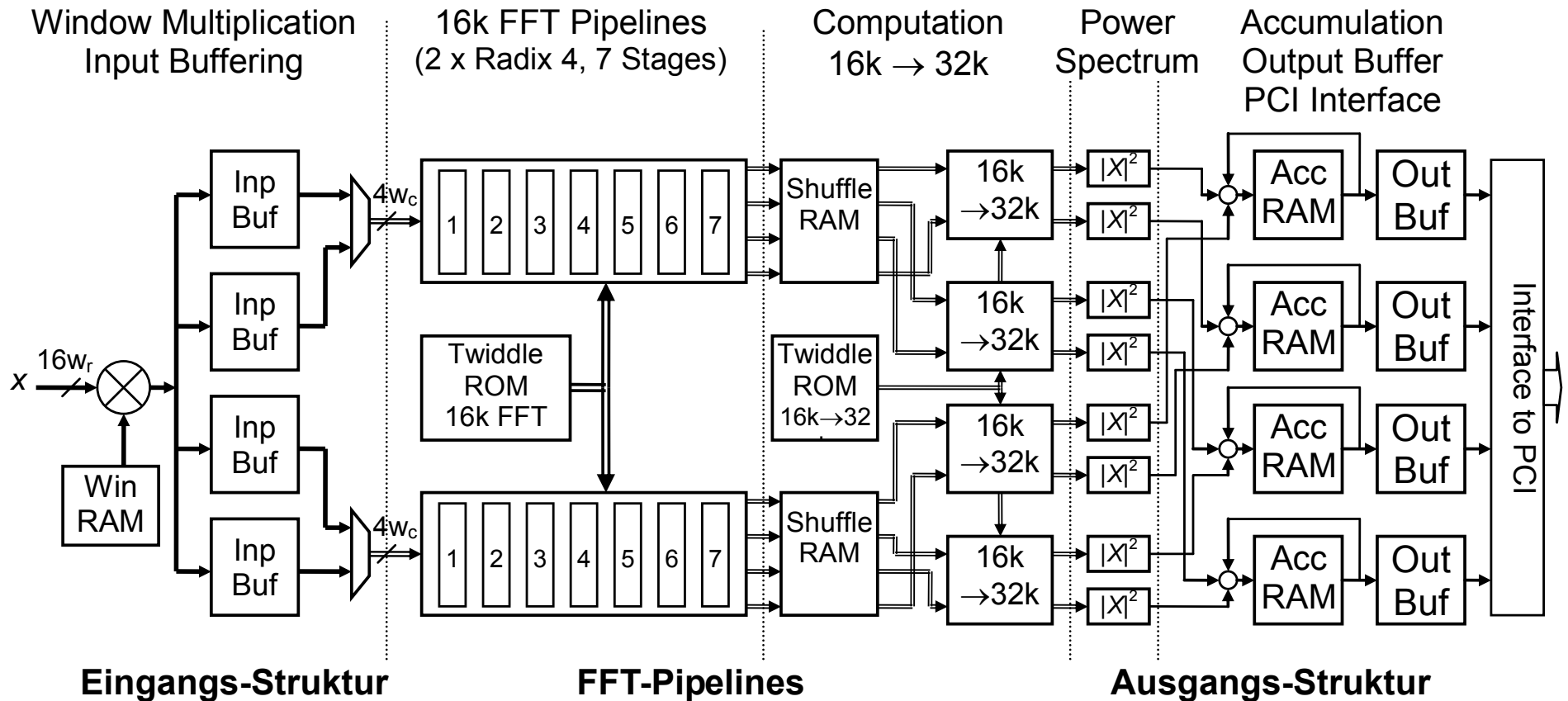


# FFT-Einheit: Übersicht



# FFT: Pipeline-Struktur im FPGA

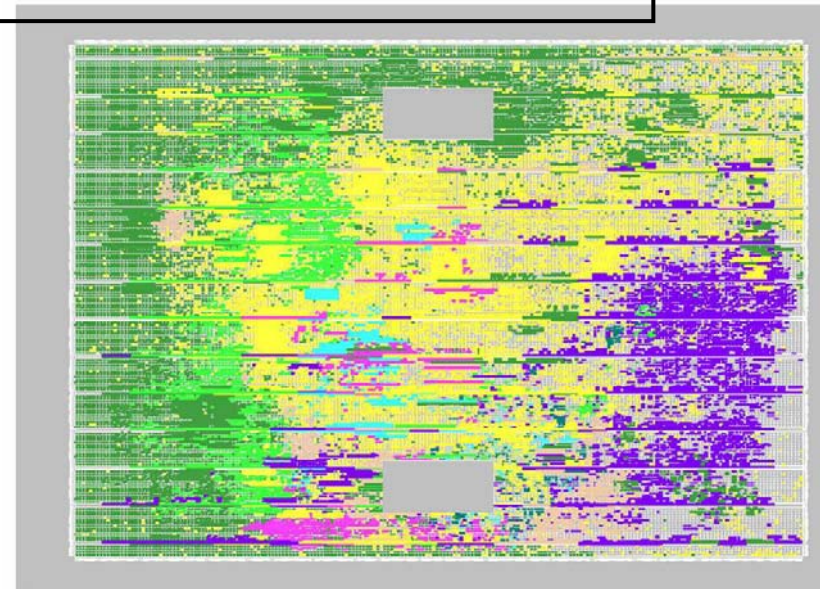
Die Daten fließen kontinuierlich von links nach rechts mit 2 GS/s



## FPGA: Logik-Ressourcen

Logic Slices occupied	32`379	98 %
Flip Flops	41`549	63 %
Block-RAM	309	94 %
HW Multiplier	196	59 %
Clock fc	125 MHz (fmax: 133 MHz)	
⇒ 24.5 · 10 <sup>9</sup> Multiplications per Second		

FPGA Layout:



# Anwendung 1: Radioastronomie

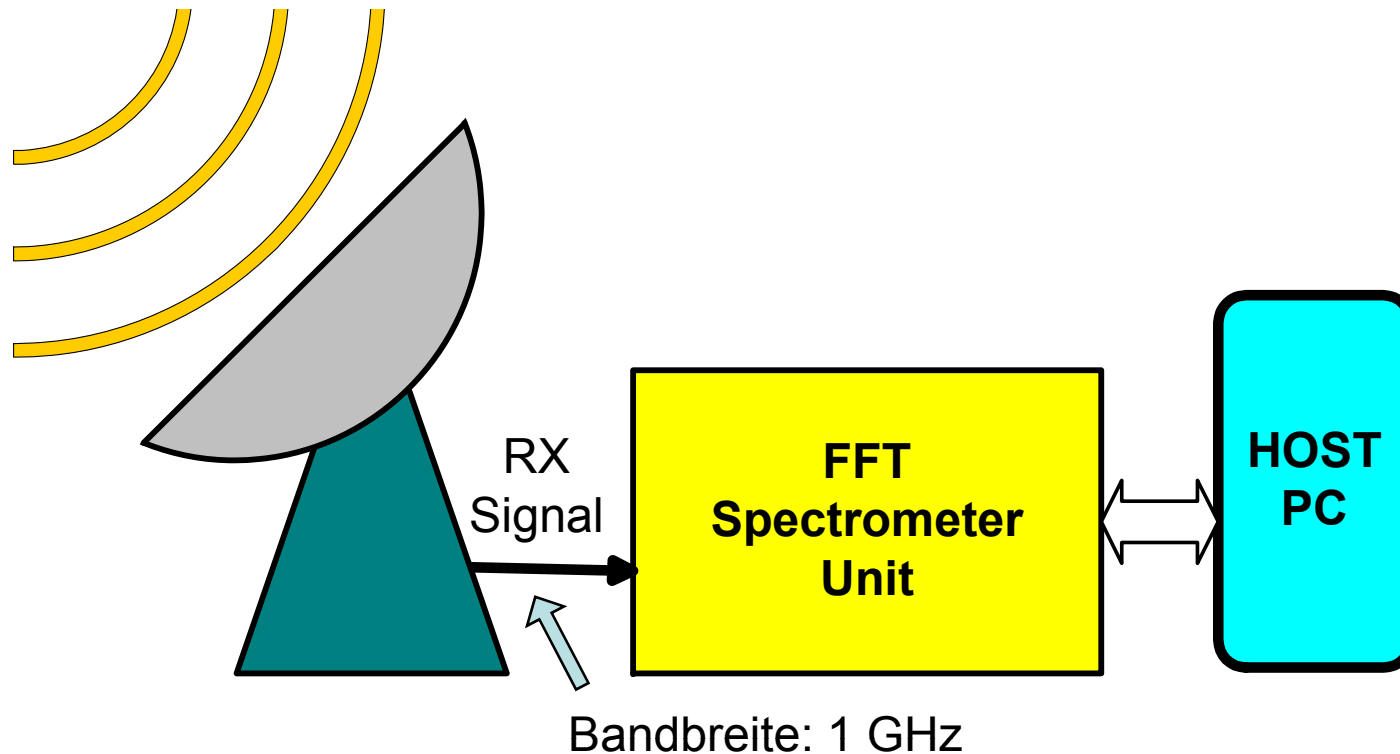
Projekt **ARGOS**: Astronomical Receiver Gathers Outer Space

- Mess-Prinzip: Messung alternierend On Source / Off Source  
→ Rechne Differenzspektrum



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**Institute of Astronomy**  
Prof. A. Benz



# Gornergrat Messstation:

KOSMA = Kölner Observatorium für SubMillimeter Astronomie



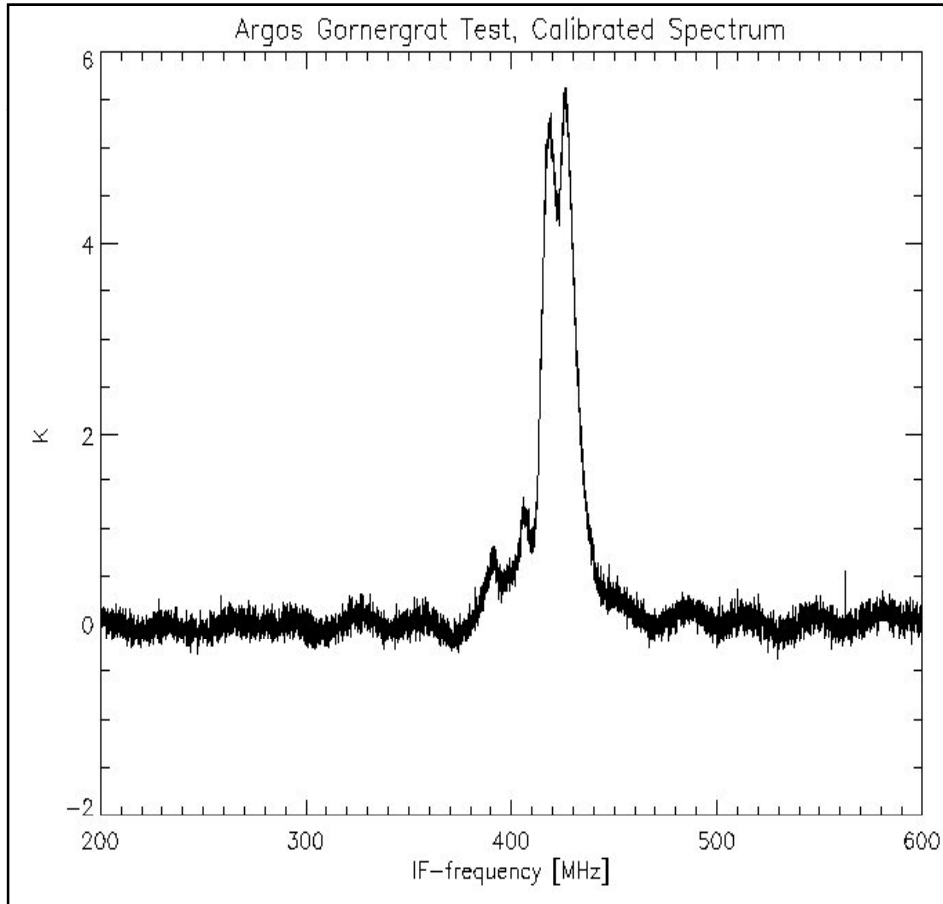
Kontrollraum



3m Cassegrain 210GHz - 820GHz

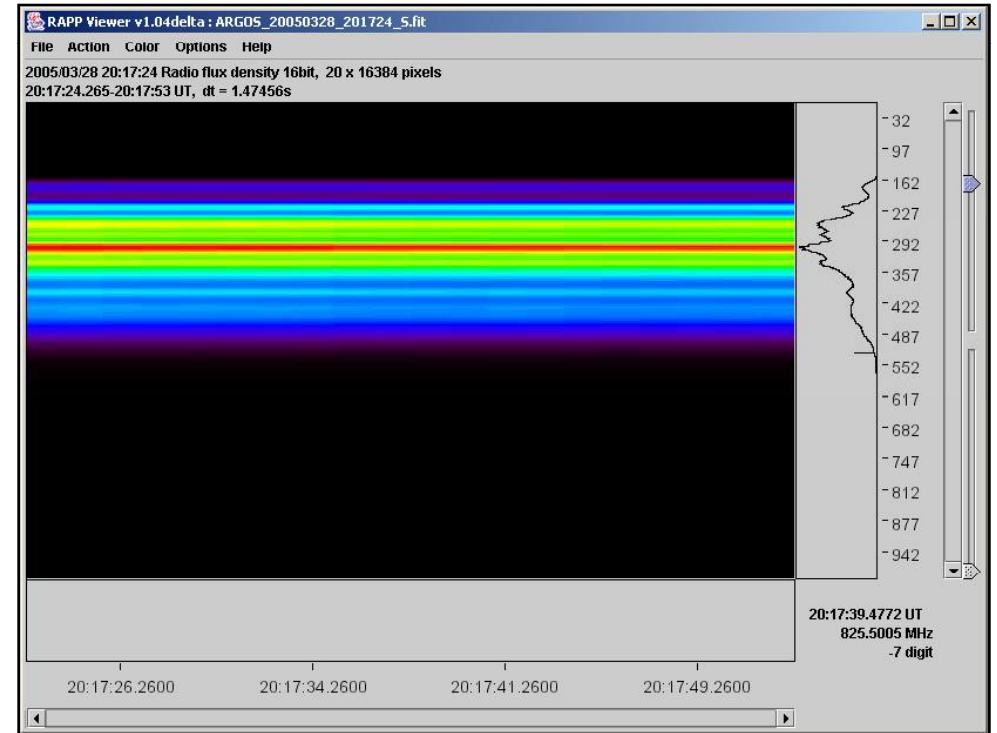
# Carbon Star IRC 10216

## $^{12}\text{CO } 3 \rightarrow 2$ @ 345.8 GHz



Channel width 60KHz  
Ti = 200sec

# Zeitverlauf des Spektrums



## Spezifikationen FFT-Einheit:

Parameter	Value	Comment
AD-Conversion	2 GS/sec	2 x 1 GS/s interleaved
Analog input bandwidth	1 GHz	
ADC resolution	8 bit	48.1 dB dynamic range
Number of FFT bins/ channels	16'384	fixed
Channel spacing	61.035 kHz	At full sampling rate
FFT computation time	16.384 $\mu$ sec	For 1 frame
Internal data width	9 ... 18 bit	Data and twiddle factors
Minimum accumulation time	1 ms (64 integrations)	
Maximum accumulation time	70'000 sec ( $\approx$ 1 day)	
FFT window	Programmable	Kaiser, Hanning, etc.
Output data	PCI interface 32 bit x 33 MHz	Internally 36 bit registers

## Anwendung 2: Atmosphären-Messungen

Projekt **CoSpAn**: Correlation and Spectrum Analysis for Applied  
Physics and Astronomy (A. Murk)

**MIAWARA**: Middle Atmospheric Water Vapor Radiometer



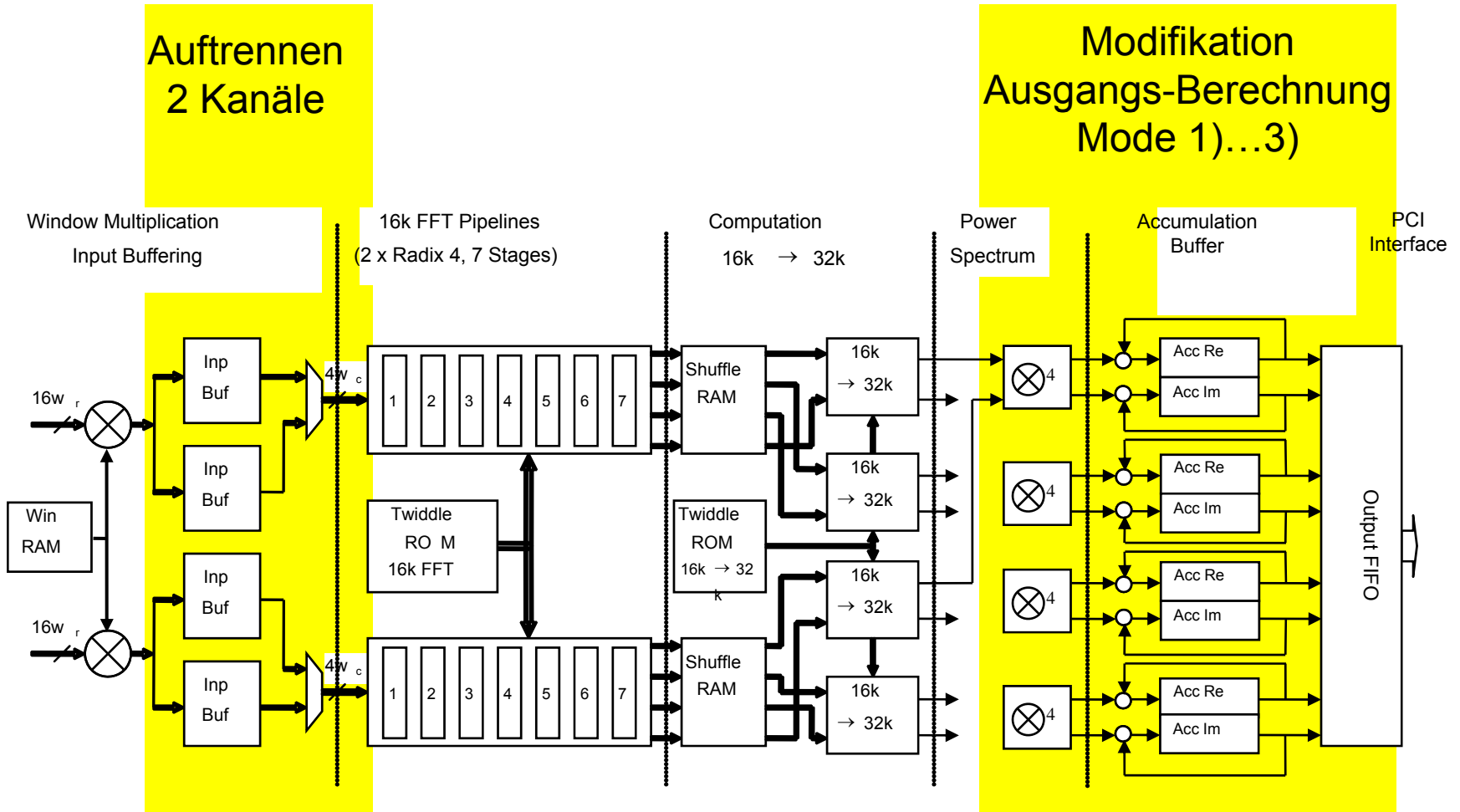
<sup>b</sup>  
UNIVERSITÄT  
BERN

Institut für angewandte Physik

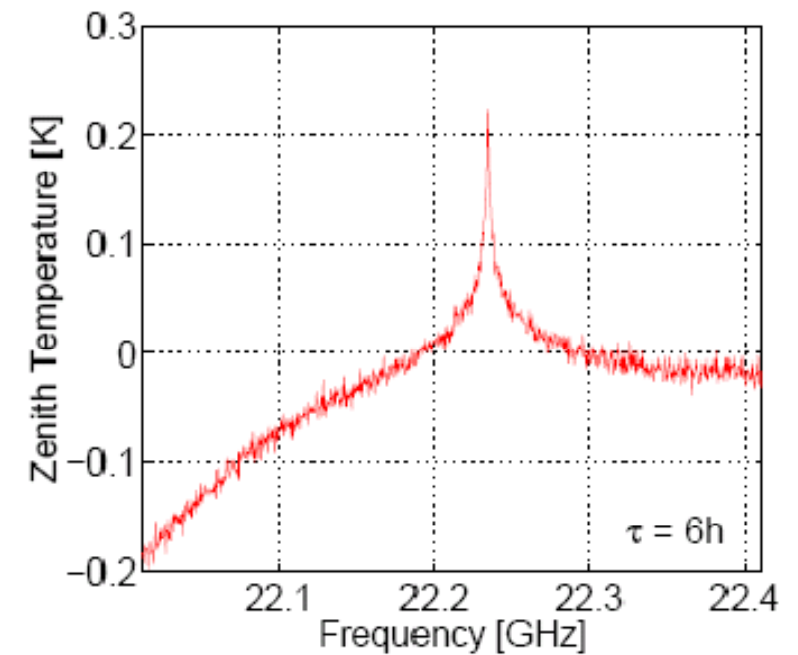
### Erweiterung der FFT-Modi/ -Algorithmen:

- 1) Leistungsspektren:  $P_{xx}$  und  $P_{yy}$
- 2) Kreuz-Leistungsspektrum:  $\text{Re}[P_{xy}]$ ,  $\text{Im}[P_{xy}]$
- 3) Summen- und Differenzspektrum:  $|\underline{X} \pm j\underline{Y}|^2$   
(Seitenband-Separation mit IQ-Mischer)
- 4) Bypass-Mode: ADC-Signal (Scope)

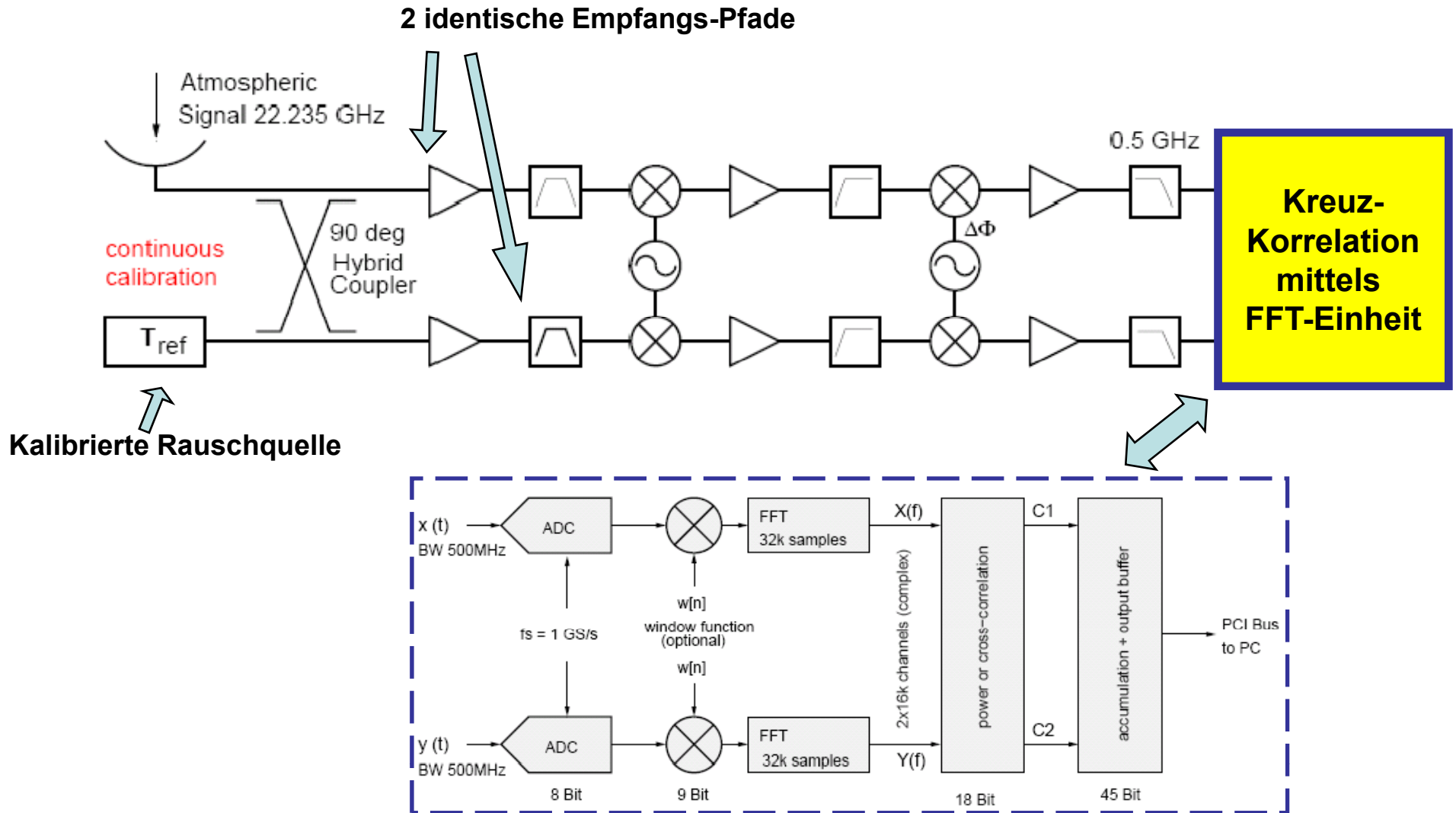
# Anpassungen im FPGA für CoSpAn:



# MIAWARA: Wasserdampf-Messung in der Stratosphäre



# MIAWARA: Korrelationsempfängers mit der FFT-Einheit



## Zusammenfassung:

- Mit der FFT-Einheit wurde ein neuer Leistungs-Standard etabliert
- Entscheidende Vorteile gegenüber den bisherigen Akusto-Optischen Analyzern
- Anpassungsfähig dank FPGA-Technologie

## Fragen ?