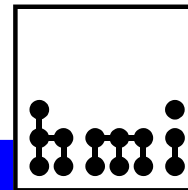


**Bericht der Herbsttagung der
Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung
18. bis 20. September 2006
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**



**Herausgeber: Dr. F. Wulf
HMI-B 613 Berlin, Dezember 2006**

ISSN 0936 – 0891



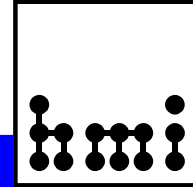
**Bericht der Herbsttagung der
Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung
18. bis 20. September 2006
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**



**Herausgeber: Dr. Friedrich Wulf
HMI-B 613 Berlin, Dezember 2006**

ISSN 0936 – 0891

**Hahn-Meitner-Institut Berlin
Abteilung Experimentalsysteme
Glienicker Str. 100
14109 Berlin**

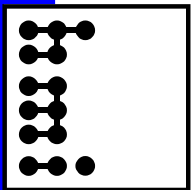


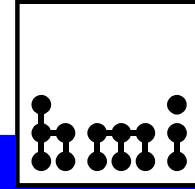
Teilnehmerliste

<u>Name</u>	<u>Institut</u>
Bönisch, Dr. Sven	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Brand, Dr. Holger	Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) Darmstadt
Brandt, Bernd-August	privat
Drochner, Dr. Matthias	Forschungszentrum Jülich GmbH, ZEL
Dube, Sascha	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Ehret, Dr. Günter	Forschungszentrum Karlsruhe, IFP
Feldt, Dr. Markus	Max-Planck-Institut für Astronomie
Föhr, Christian	Max-Planck-Institut für Kernphysik
Gabriel, Dr. Frank	Forschungszentrum Rossendorf e.V.
Herbst, Dr. Tom	Max-Planck-Institut für Astronomie
Hildebrandt, Carsten	Farnell In One GmbH
Hürttlen, Dipl.Ing. Werner	Forschungszentrum Jülich GmbH, Abt. ISG-3
Kämmerling, Peter	Forschungszentrum Jülich GmbH, ZEL
Kleifges, Dr. Matthias	Forschungszentrum Karlsruhe IPE
Klein, Dr. Martin	Universität Heidelberg, Physikalisches Institut
Klein, Ralf	Max-Planck-Institut für Astronomie
Klockmann, Kay	powerBridge Computer Vertriebs GmbH
Mair, Dr. Alois	Universität Heidelberg, Physikalisches Institut
Mall, Dipl.-Ing. Ulrich	Max-Planck-Institut für Astronomie
Martin, Jan	Max-Planck-Institut für Kernphysik
Meyer, Dr. Ullrich	DESY - Zeuthen
Namaschk, Dr. Bernhard	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Notz, Dr. Dieter	DESY - Hamburg, F1
Nowack, Dr.-Ing. Gerd	Ruhr-Universität Bochum
Oechsler, Rolf	National Instruments Germany GmbH
Ramos, José	Max-Planck-Institut für Astronomie
Rausch, Dipl. -Ing. Rainer	Forschungszentrum Jülich GmbH, Abt. ISG 3/4
Rüschmann, Gustav	privat
Schmitz, Andreas	Tameq GmbH
Spelthann, Hans-Dieter	Acqiris Data Conversion Instruments
Stolper, Dipl. -Ing. Matthias	DESY – Hamburg, MKS 4
Storck, Raimund	powerBridge Computer Vertriebs GmbH
von Walter, Dipl.-Ing. Peter	Universität Heidelberg, Physikalisches Institut
Wagner, Dipl.-Ing. Karl	Max-Planck-Institut für Astronomie
Wulf, Dr. -Ing. Friedrich	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Wüstner, Dr. Peter	Forschungszentrum Jülich GmbH, ZEL
Zillikens, Hans-Peter	Forschungszentrum Jülich GmbH, Abt. IWV - 2

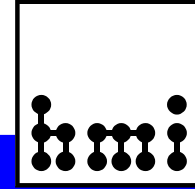


Teilnehmer der SEI-Herbsttagung 2006, Universität Heidelberg





Vorträge	Seite
Zusammenfassung Dr. Friedrich Wulf, Hahn-Meitner-Institut Berlin	- V -
Adaptive Optik – der scharfe Blick ins All und ins Auge Dr. Markus Feldt, Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg	- 1 -
Instrumentierungselektronik für Mechanismen im James Webb Space Telescope José Ricardo Ramos, Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg	- 7 -
LogicBox: Ein kompaktes, modulares und schnelles Experimentsystem für das Labor Peter von Walter, Universität Heidelberg, Physikalisches Institut	- 19 -
Photonen, QuBits & Teleportation Dr. Alois Mair, Universität Heidelberg, Physikalisches Institut	- 34 -
NeXus-Datenformat: Status und Anwendung Dr. Matthias Drochner, Forschungszentrum Jülich GmbH, ZEL	- 66 -
System on a Chip - Entwicklung mit Xilinx FPGAs Peter Kämmerling, Forschungszentrum Jülich GmbH	- 73 -
Probleme von Power-Endstufen auf Satelliten Dr. Gerd Nowack, Ruhr-Universität Bochum	- 84 -
Zukunftsweisende Busse in der Mess- und Prüftechnik Rolf Oechsler, National Instruments Germany GmbH	- 91 -
Computersysteme auf Basis von ATCA, uTCA u. cPCI - Stand der Standardisierung und Ausblick Kay Klockmann, powerBridge Computer Vertriebs GmbH	- 113 -
Optimierung von Pulsformern Dr. Bernhard Namaschk, Hahn-Meitner-Institut Berlin	- 131 -
Messungen am 2. Prototyp des ortsauflösenden Neutronendetektors für EXED Dr. Sven Bönisch, Hahn-Meitner-Institut Berlin	- 144 -
AJAX - Ein nützliches Web-Werkzeug Dr. Dieter Notz, DESY Hamburg	- 158 -
Large Telescopes and their Instruments Dr. Tom Herbst, Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg	- 162 -
DAQ der 2. Generation für die Projekte Auger, KATRIN und USCT Dr. Matthias Kleifges, Forschungszentrum Karlsruhe	- 190 -
Der CASCADE Neutronendetektor - moderne Gasdetektortechnik kombiniert mit hochintegrierter ASIC-FPGA Auslese-Elektronik Dr. Martin Klein, Universität Heidelberg, Physikalisches Institut	- 202 -



Zusammenfassung

Dr. F. Wulf, HMI Berlin

Der Bericht der SEI-Herbsttagung 2006, die vom 18. bis 20. September 2006 an der Ruprecht-Karls-Universität, Physikalisches Institut in Heidelberg stattfand, enthält 15 Beiträge. Ich danke allen Vortragenden und Autoren für die sehr interessanten Beiträge. Mein besonderer Dank gilt Herrn Peter von Walter für die sehr gute Organisation und informative Gestaltung des Rahmenprogramms. Insbesondere die Besichtigung des EMBL ermöglichte einen Einblick in zukunftsweisende Forschungsaktivitäten der Molekularbiologie. Die Beteiligung mit 37 Personen aus 17 Forschungseinrichtungen, Universitäten und der Industrie führte wieder zu einer intensiven Diskussion über Fragen aus den unterschiedlichen Fachgebieten.

Drei Vorträge vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg gaben einen sehr guten Überblick über die moderne Technik und die großen und langfristigen Projekte der Astronomie. Die Entwicklung einer modularen und sehr kompakten LogikBox, die für einen schnellen Aufbau kleiner Experimente über den USB-Bus an jeden Rechner angeschlossen werden kann, fand großes Interesse. Für die Experimente ergibt sich immer wieder die Frage nach dem optimalen Bussystem für die jeweilige Anwendung. In einem Vortrag wurden die derzeit verfügbaren Systeme verglichen und durch einem weiteren Vortrag, der sich mit der zukünftigen Lösung (TCA) zur Übertragung hoher Datenraten mit geringen Latenzzeiten beschäftigt, ergänzt. Insgesamt wird das Ethernet mit seinen echtzeitfähigen Protokollen (PowerLink und EtherCAT) die Feldbusse in weiten Bereichen ablösen.

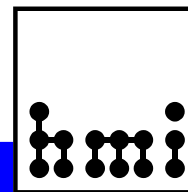
Die gestiegenen Anforderungen an die Datenerfassung für die unterschiedlichen Experimente können durch den Einsatz von immer leistungsfähigeren FPGAs und der Entwicklung von ASICs aufgefangen werden. Voraussetzung ist jedoch immer wieder die sorgfältige Aufbereitung der analogen Signale für die weitere Bearbeitung.

Auch zeigt sich immer wieder, dass es sich lohnt, bekannte Realisierungen zu hinterfragen und nach neuen Lösungskonzepten zu suchen, die sich heute durch die Verwendung neuer Bauteile in Verbindung mit dem Einsatz moderner Simulationsverfahren und deren verbesserten Modelle ergeben.

Acht Firmen aus den verschiedenen Bereichen der elektronischen Instrumentierung und IT-Branche präsentierten ihre neuen Produkte und standen für eine intensive Diskussion und Beratung zur Verfügung.

Die SEI-Frühjahrstagung 2007 ist vom 26. bis 28. März 2007 am Forschungszentrum Rossendorf e.V. geplant. Die SEI Herbsttagung 2007 findet voraussichtlich vom 24. bis 26. September 2007 an der Ruhruniversität Bochum, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik statt.

Berlin, Dezember 2006



Dr. Friedrich Wulf



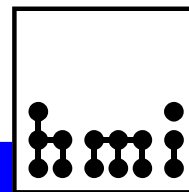
Dr. Markus Feldt



José Ricardo Ramos



Peter von Walter, F. Wulf



Dr. Alois Mair



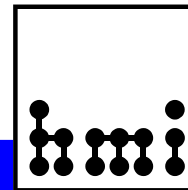
Dr. Matthias Drochner



Peter Kämmerling



Rolf Oechsler



Kay Klockmann



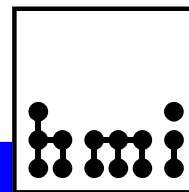
Dr. Bernhard Namaschk



Dr. Sven Bönisch



Dr. Dieter Notz



Dr. Tom Herbst



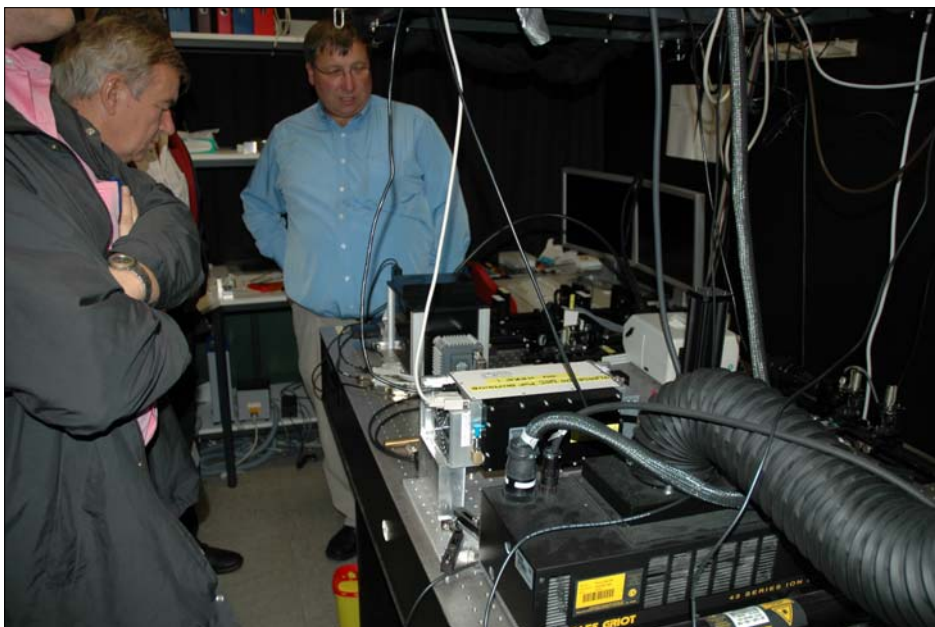
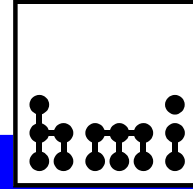
Dr. Matthias Kleifges



Dr. Martin Klein



Peter von Walter



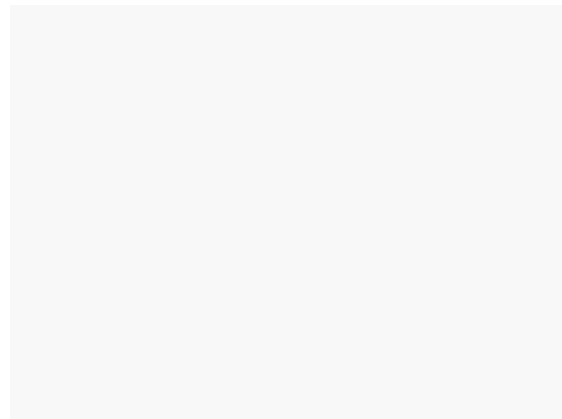
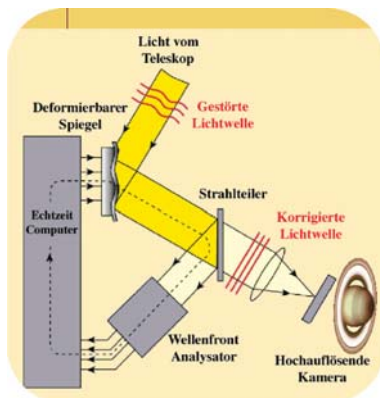
Adaptive Optik

Der scharfe Blick ins All und ins Auge

M. Feldt, Max-Planck-Institut für Astronomie

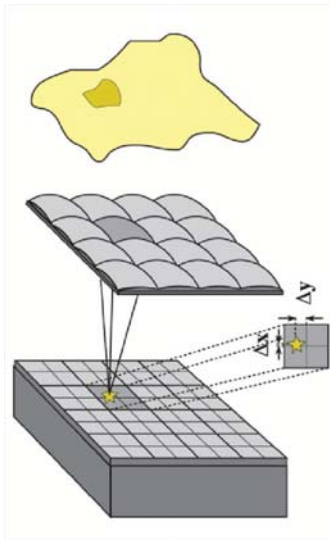


Adaptive Optik

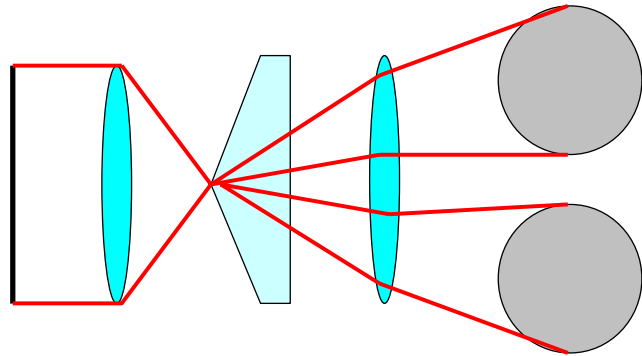




Wellenfrontensensoren



Shack-Hartmann

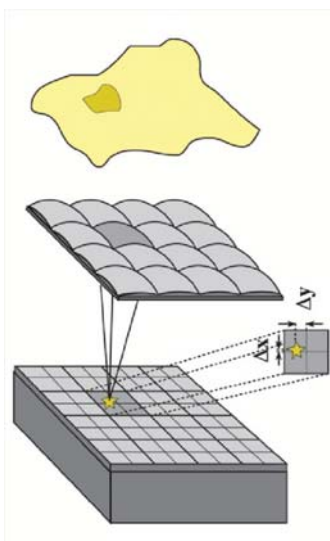


Pyramide

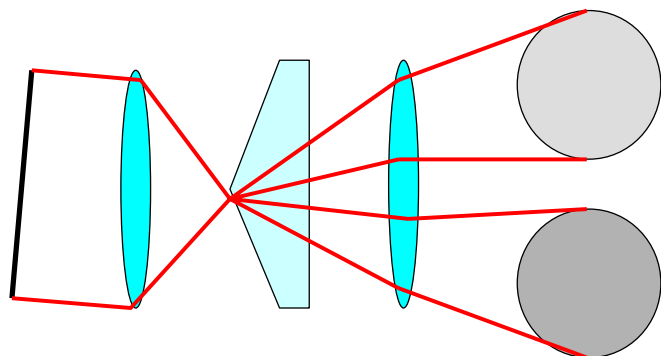
Adaptive Optik - mfeidt@mpia.de - SEI Herbsttagung, Heidelberg, 18. September 2006



Wellenfrontensensoren



Shack-Hartmann

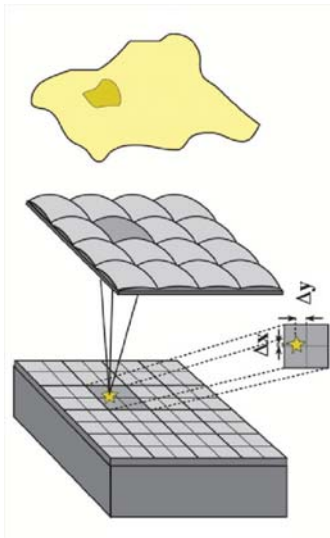


Pyramide

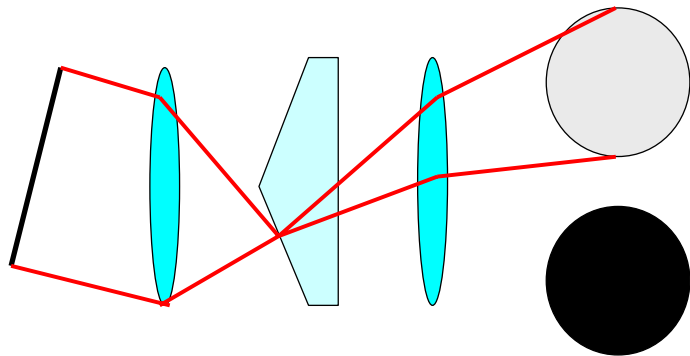
Adaptive Optik - mfeidt@mpia.de - SEI Herbsttagung, Heidelberg, 18. September 2006



Wellenfrontsensoren



Shack-Hartmann

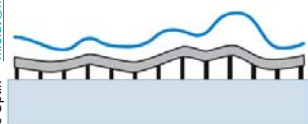
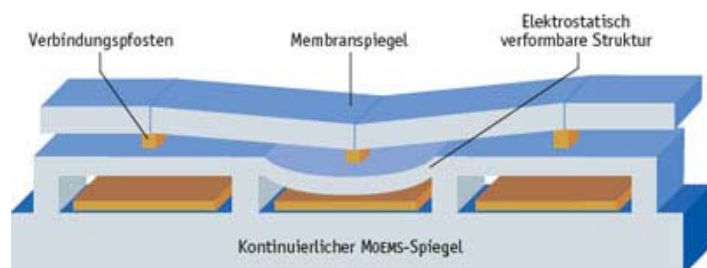
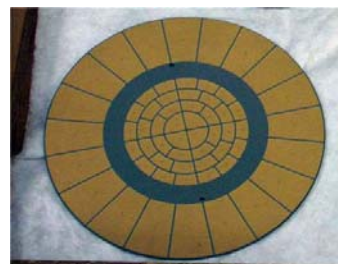


Pyramide

Adaptive Optik - mfeidt@mpia.de - SEI Herbsttagung, Heidelberg, 18. September 2006



Verformbare Spiegel



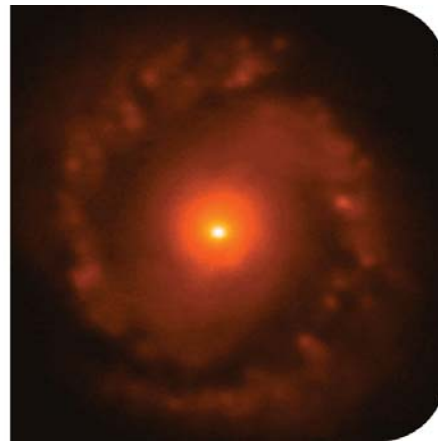
Adaptive Optik - mfeidt@mpia.de - SEI Herbsttagung, Heidelberg, 18. September 2006



Das Ergebnis



NACO JHK



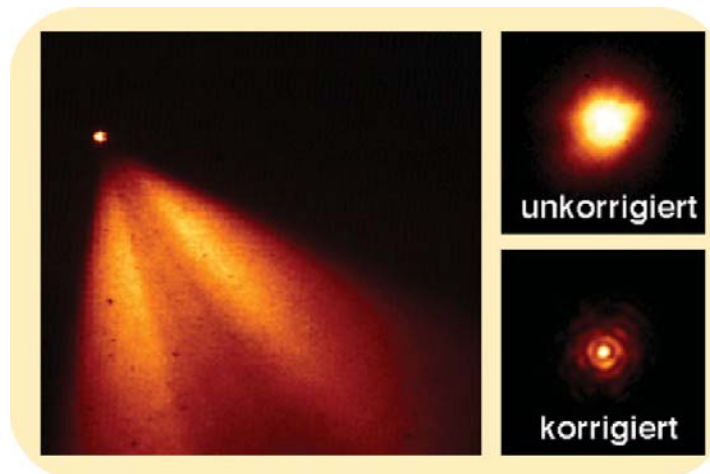
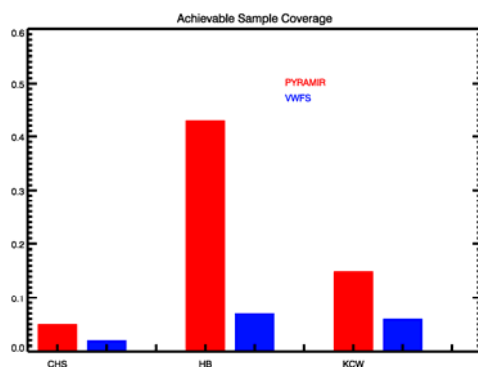
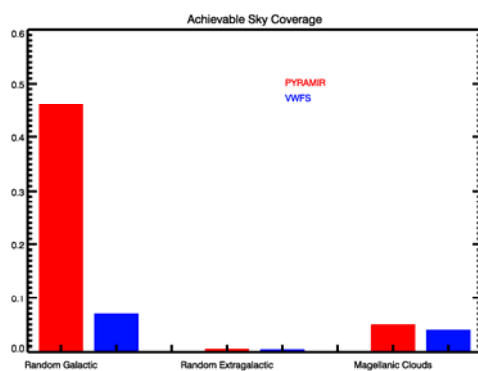
Gemini Süd, seeing 0.5''

NGC 1097

Adaptive Optik - mfieldt@mpia.de - SEI Herbsttagung, Heidelberg, 18. September 2006

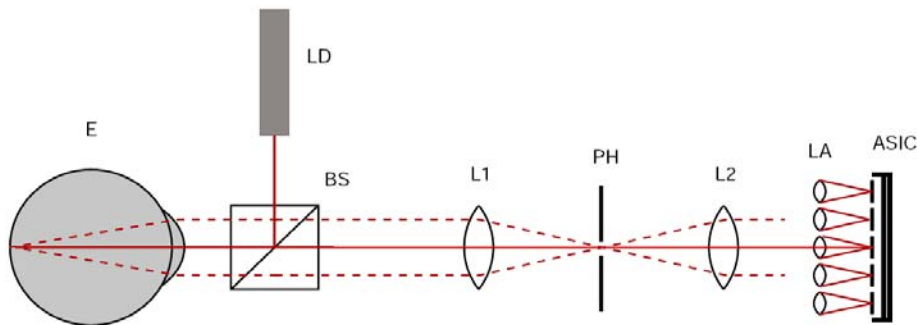
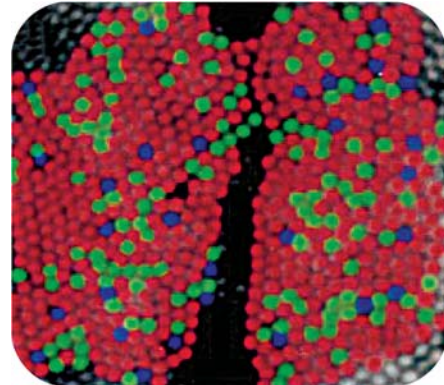
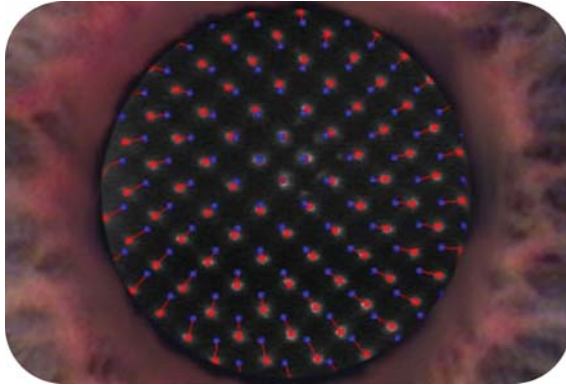


Himmelsabdeckung





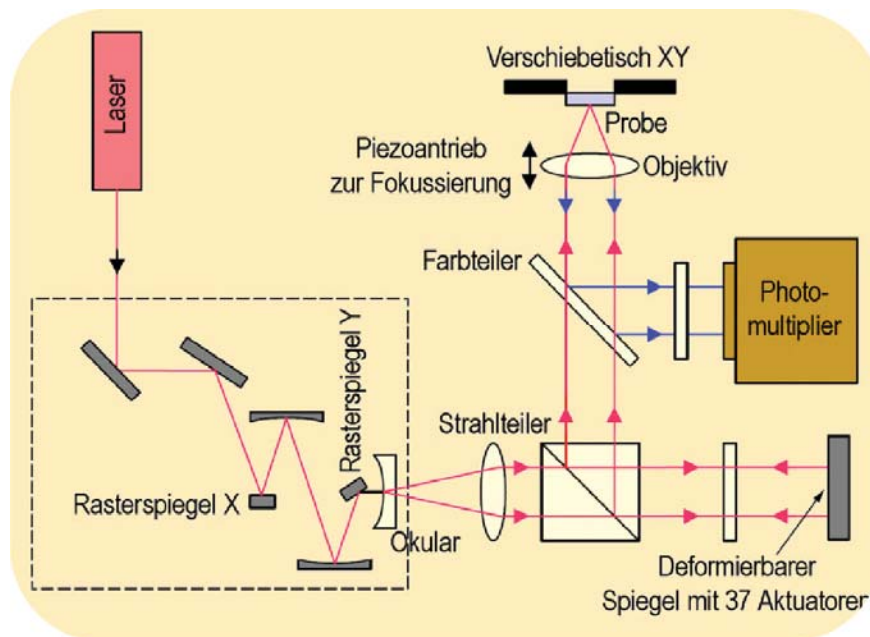
Blick ins Auge



Adaptive Optik - mfieldt@mpia.de - SEI Herbsttagung, Heidelberg, 18. September 2006



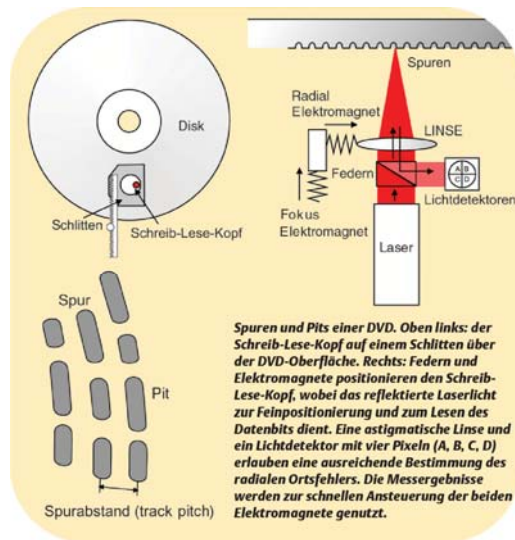
Zweiphotonenmikroskopie



Adaptive Optik - mfieldt@mpia.de - SEI Herbsttagung, Heidelberg, 18. September 2006



Informationsmedien



Weitere Anwendungen

- Waffensysteme (SDI, Gefechtsfeldüberwachung, etc.)
- Hochenergie-Physik
- Satellitenkommunikation
- Unterwasserbildgebung
- ...



Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg

Instrumentierungselektronik für Mechanismen im James Webb Space Telescope

J. Ramos, B. Grimm, A. Böhm, M. Ebert, U. Grözinger,
T. Henning, R. Hofferbert, A. Huber, O. Krause,
S. Kuhlmann, D. Lemke, F. Müller, R.-R. Rohloff

Abstract



Abstract

In 2013 the James Webb Space Telescope (JWST) is planned to be launched. With this infrared optimized telescope scientists will be able to look further deep in the Universe and observe the „first light“ and the origin and development of the first galaxies and stars. The JWST will carry 4 scientific instruments on board. MIRI and NIRSPEC are two of them and will be provided by European institutes and industry. The Max-Planck Institut für Astronomie (MPIA) is involved in these developments and contributes with electro-mechanisms which carry optical elements for these instruments. In order to operate these mechanisms on Earth a dedicated Electrical Ground Support Equipment (EGSE) was built. Control of the mechanism's motor, precise measurements of cryo-temperature and of position sensors are some requirements to the EGSE. This presentation gives an overview of the EGSE as well as of the other activities at the MPIA for the JWST.

James Webb Space Telescope (JWST)



JWST

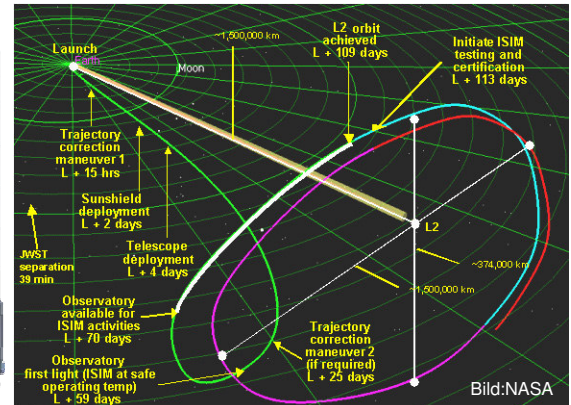
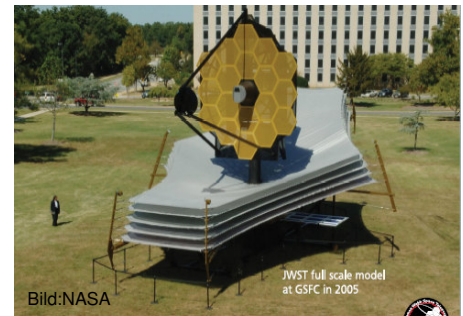
- Infrared-optimized space observatory
- Successor of the Hubble Space Telescope
- Longer wave length coverage (0.6 to 28 μ m)
- Improved sensitivity
- launch: 2013

Scientific goals

- First light in the universe
- Formation and evolution of galaxies, stars, planets
- Exploration of the outer solar system

Satellite

- ARIANE 5 carrier
- Orbit around 2nd Lagrangian
- Lifetime in space: 5 years (goal: 10y)
- Telescope: Cassegrain, <45K
- Beryllium, 6.5m segmented unfolding mirror
- Tennis court size sunshield
- 6.6 tons



3 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

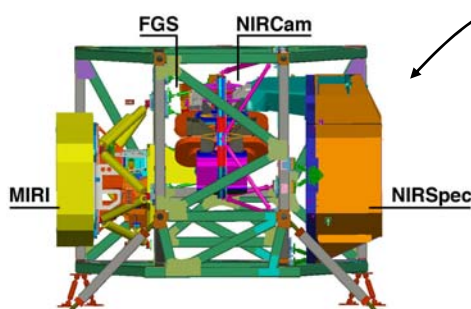
José Ramos, MPIA

Scientific Instruments

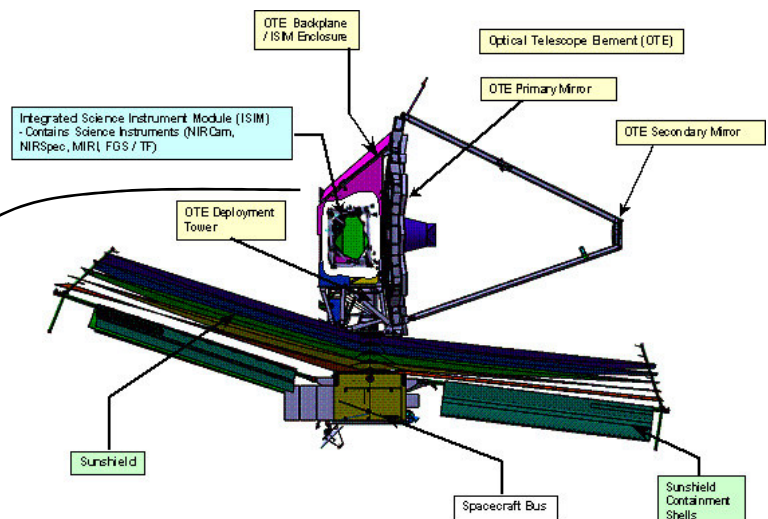


4 scientific instruments

- NIRCam: camera, 0.6-5 μ m, NASA funded
- NIRSpec: spectrograph, 0.6-5 μ m, ESA funded
- FGS: NIR tunable filter camera, 1.2-4.8 μ m, CSA funded
- MIRI: camera/spectrograph, 5-28 μ m, NASA/ESA



Integrated Science Instrument Module



4 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

José Ramos, MPIA

- **MIRI:**
 - Entwicklung der optischen Wechselräder, Radmotoren und Positionssensoren
- **NIRSpec:**
 - Entwicklung als Unterauftragnehmer von Carl Zeiss der elektrischen Komponenten (Radmotoren und Positionssensoren)
- **MIRI und NIRSpec:**
 - Entwicklung und Produktion des Electrical Ground Support Equipment (EGSE)
 - Test und Entwicklung der Mechanismen
 - Betreiben der Mechanismen in den Partnerinstitute und -Firmen
 - 8-Fach gebaut

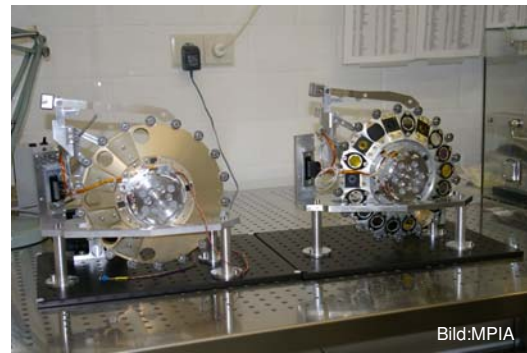


Bild:MPIA

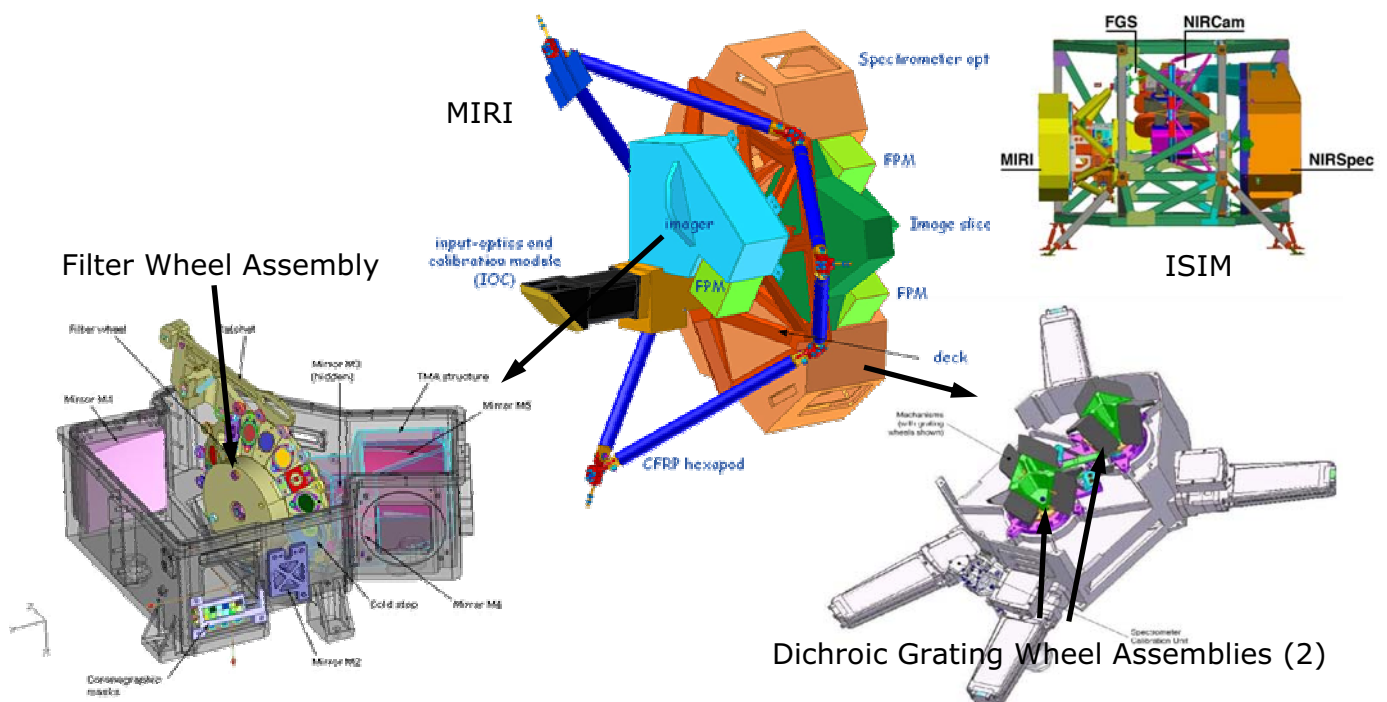


Bild:MPIA

5 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

José Ramos, MPIA

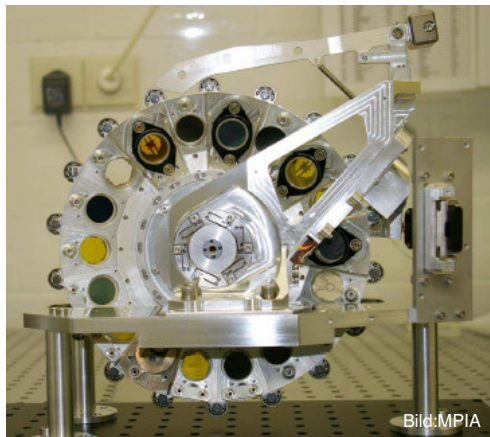
MIRI's Mechanisms



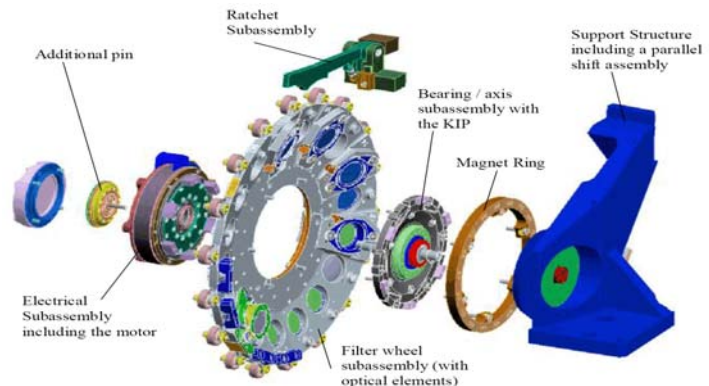
6 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

José Ramos, MPIA

MIRI's Filter Wheel Assembly



- **5 (10) years lifetime**
- **3 million steps**
- **accuracy 2.5 arcsec**
- **vibration 13 G (rms random), 45 G sine**
- **T ~ 7...300 K**
- **Very low power dissipation**

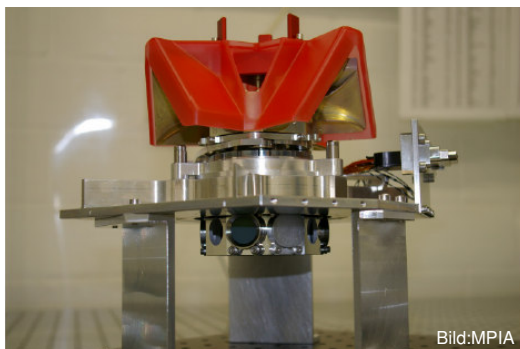
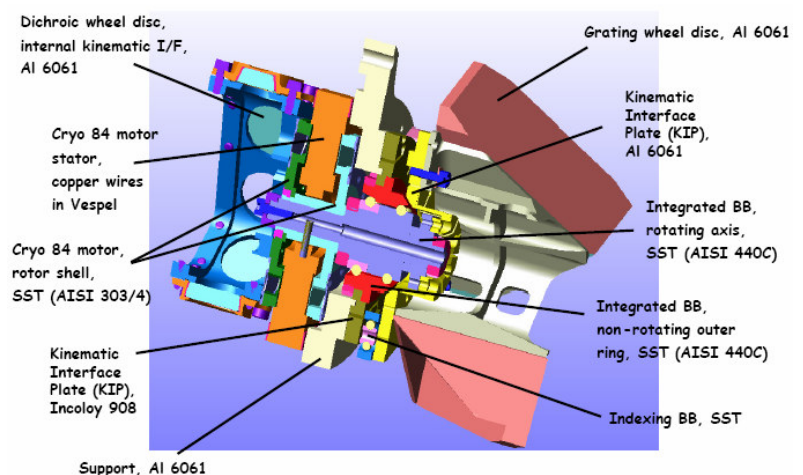
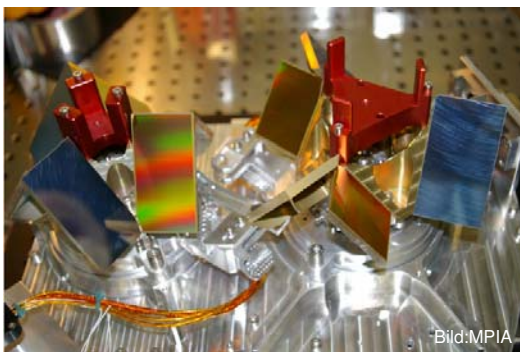
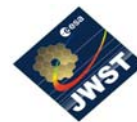


- Integrated motor C84 (TU-Berlin)
- 18 positions, ratched mechanism
- Position sensor (Fieldplatte Infineon FP 420L90B)
- Temperature sensor (Cernox 1070 HT)

7 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

José Ramos, MPIA

MIRI'S Dichroic Grating Wheels



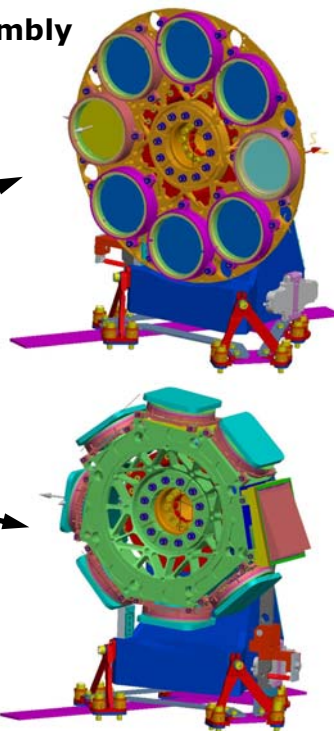
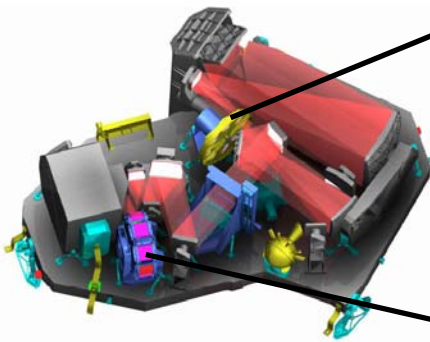
Two spectrometer wheel assemblies (DGA) with 3 positions each

8 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

José Ramos, MPIA

Filter Wheel Assembly

NIRSpec Instrument



- C116 Torque motor
- Ratched system (no gear)
- Position Sensor (Infineon FP 420L90B)
- GWA: 2 axis high resolution position sensor
- $T \sim 35K...300K$

Grating Wheel Assembly

Wheel Positioning System

- **Principle based on ISOPHOT (ISO, 1995-98)**
 - Rotation via central cryo torque motor (short pulse), both directions
 - Positioning via mechanical ratchet on outer indexing ball bearings (repeatability: 4 arcsec)
 - Un-powered during observation
 - Position indicators
 - 3 wheels, 1 Mio steps at $T=3K$ without failure or degradation
- **Cryo-Motor:**
 - Brushless torquers
 - C84: 500g, 0.5Nm/A
 - Full redundancy
 - Motor manufacture: Tieftemperaturlabor (TTL) der FU Berlin (Rotor manufacture at MPIA)
 - Heritage: ASTRO SPAS/CRISTA, IBSS IR Telescope, HERSCHEL/PACS, ARIANE 5

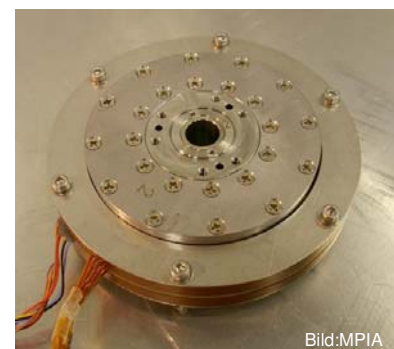
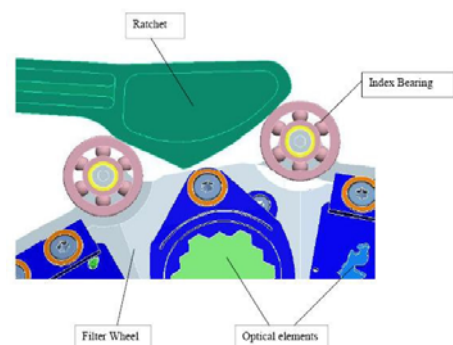
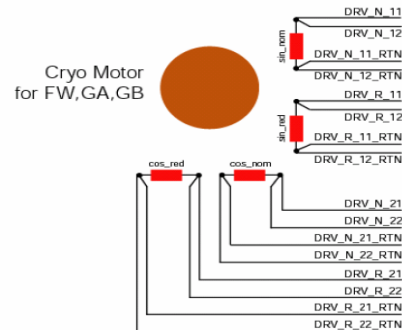


Bild:MPIA

• Requirements

- Output voltage >65V at room temperature (RT)
- Output current > 800mA
- Controlled output current or controlled output voltage
- Measurement of motor coil voltages, currents and resistances
- Max. error < 1%
- Safety



• Principle

- Drive signal generation by a PC-Board (ME-4680)
- Digitally programable gain amplifier as pre-amplifier
- MOSFET power operational amplifier at output stage
 - $\pm 100V$, 10A, 125W
 - Current limit
- Shunt resistance and instrumentation amplifier for current feedback

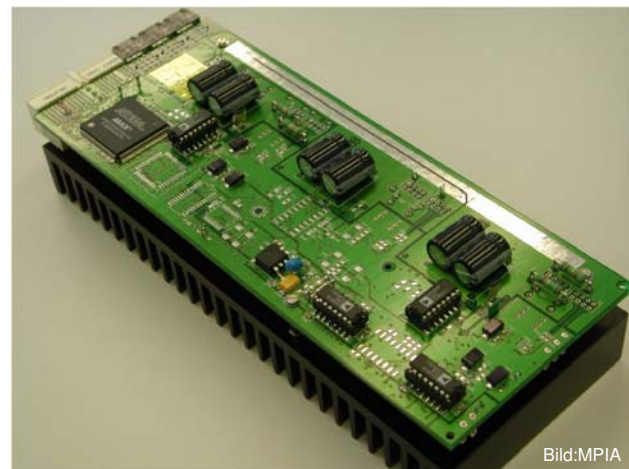
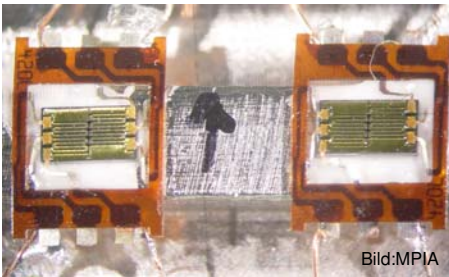
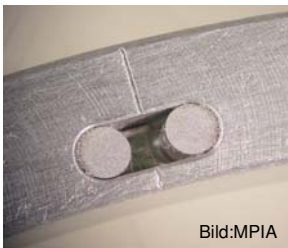


Bild:MPIA

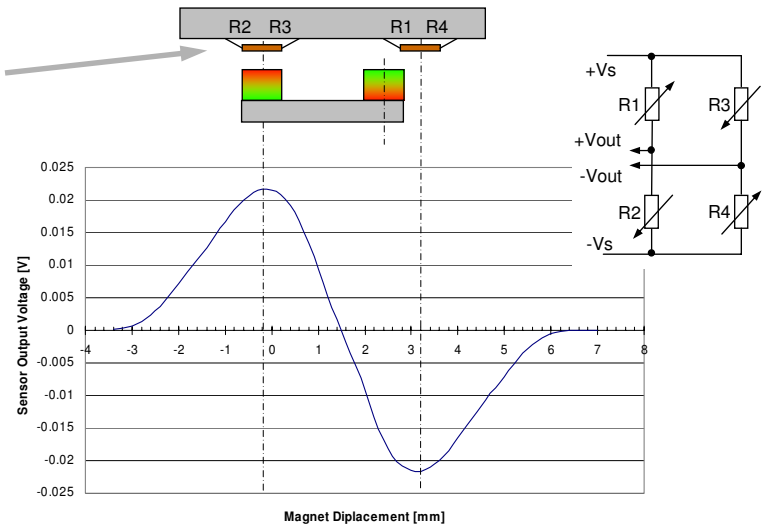
Linear Amplifier Board (LAMP)



Fieldplates: (Infineon FP 420L90B)



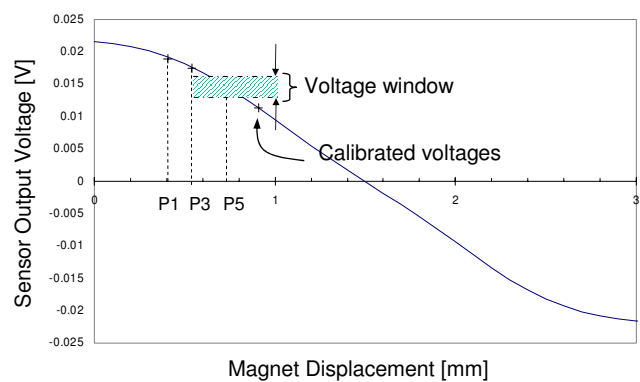
Magnets: Vacodym 655HR (NdFeB)



Principle:

- Two fieldplates build a Wheatstone Bridge and are placed on stator/structure
- Magnets are placed on rotor/wheels disc
- Heritage: ISO, HERSCHEL/PACS

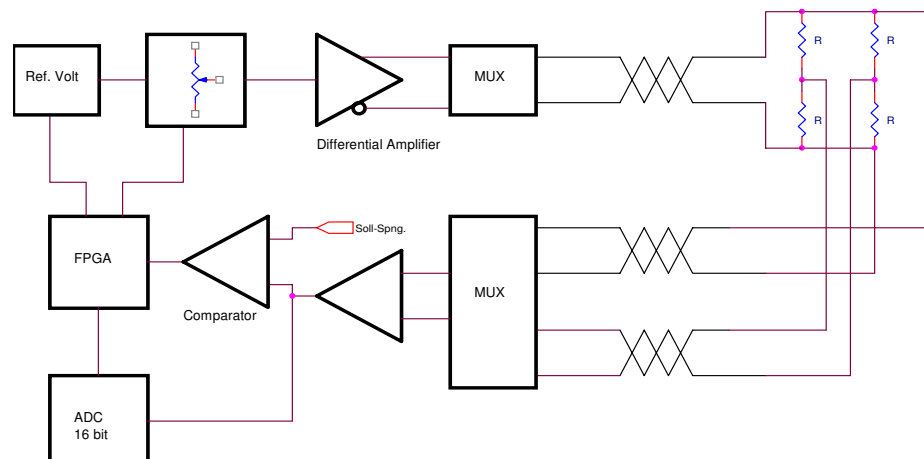
- **1 Sensor per Wheel (no redundancy)**
- **Sensor as position indicator**
 - Calibration and definition of voltage windows for each position
 - Lookup table to get wheel position from sensor voltage
- **Required resolution: 10 bit**
- **Required accuracy: <3mV**

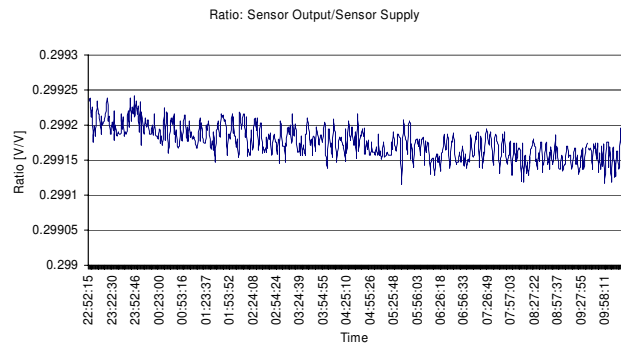
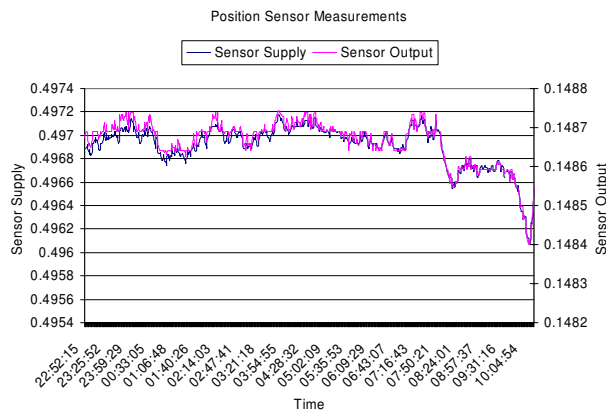


- **Sensor redundancy**
- **Grating Wheel: position and tilt sensors**
- **Measurement of position (hard requirements for the electronics):**
 - Sensor sensitivity: 400 $\mu\text{V}/\text{arcsec}$
 - Sensor supply stability: $<30\mu\text{V}$
 - Sense voltage accuracy: $<40\mu\text{V}$
 - Sense voltage resolution: >16 Bit
- **Challenges for the electronics:**
 - Achieve sensor supply stability of 30 μV (30ppm @ 1V), despite:
 - long cables to sensor (6m) with high resistance ($\sim 1\text{K}\Omega$)
 - Components offset
 - Components, cable and sensor temperature dependency
 - Achieve measurement accuracy of 40 μV , despite:
 - long cables to sensor (6m) with high resistance ($\sim 1\text{K}\Omega$)
 - 200V, switched mode power supply in the system
 - connection to PC

Position Sensor Electronics

- **Principle:**
 - Ratiometric measurement: wheel position is a function of the quotient $V_{\text{output}}/V_{\text{supply}}$
 - No closed loop control of sensor supply (digital control then open loop)
 - Differential driver/receiver for high CMR, EMI immunity
 - small bandwidth for low noise





- **Supply variation: ~1mV (0.2%)**
- **Ratio error: ~100ppm**
- **Resolution: 16 Bit**
- **Accuracy: ±25 μV**

Temperature Sensor

- **Cernox 1070 HT (LakeShore)**
 - Thin film resistor
 - Low magnetic field induced errors
 - T-Range: 4K to 420K (-269°C to 147°C)
 - Sensitivity: -2200 Ω/K @ 4K
 - Accuracy: 5mK @ 4K
 - Long therm stability: 25mK @ 4K
 - Placed on stator/structure
 - Heritage: HERSCHEL/PACS

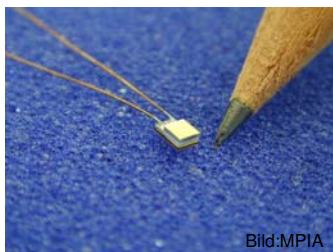
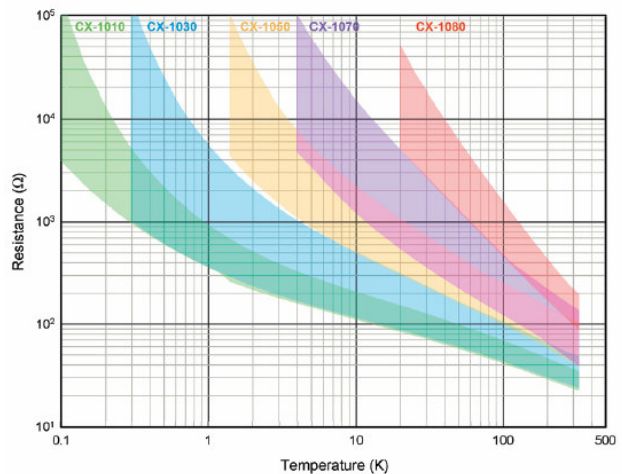


Bild:MPIA

Typical Cernox™ Resistance



• Requirements

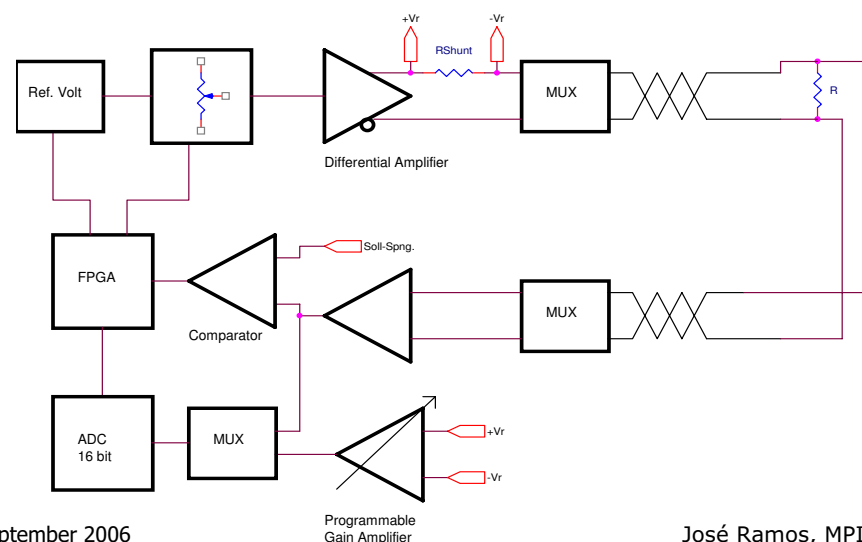
- Drive and read 4 sensors
- Temperature Range: 4K to 350K (-269°C to 77°C)
- Accuracy: 25mK @ 4K, 100mK @ 350K
- Resolution: 16 bit

• Challenges for the electronics

- Control Sensor Self-Heating (max. 10^{-8} W from 2K to 10K)
 - Low levels for voltages and currents
 - Thermoelectric voltages, offsets and noise produce significant errors
- High sensor resistance variation over the entire range
 - Need of different scales to drive and read the sensor (accuracy)
- Long and high impedance cables to the sensor
 - 4 wire technique needed
 - Pick up noise

• Principle

- Sensor supply with constant voltage (10mV) eliminates need of selectable current source
- Same control principle of sensor voltage as for the position sensor (open loop, low noise)
- Sensor supply with alternating polarity eliminates offsets due to thermoelectric voltages and due to the drive and read circuits
- Auto range (14 ranges) for current measurement to preserve accuracy over entire temperature range

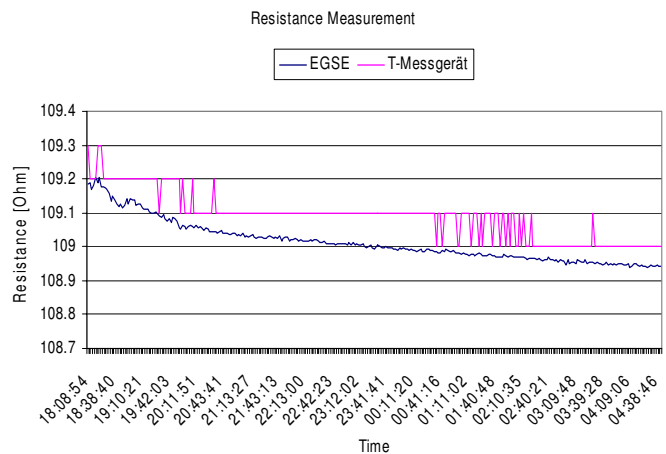
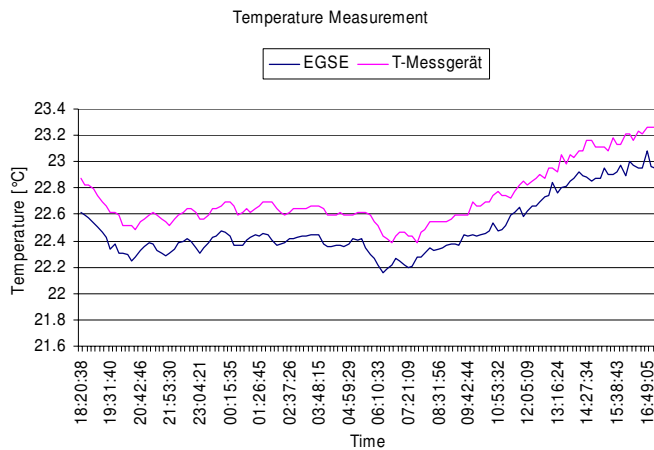


Temperature Sensor Electronics - Preliminary Results



● Preliminary results

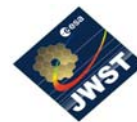
- Resistance measurement error: 0.02% @ 500Ω, 0.1% @ 4kΩ (depending on resistance value)
- Temperature measurement error (only due to electronics): 10mK @ 40K, 6mK @ 6K (depending on sensor sensitivity)



21 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

José Ramos, MPIA

Temperature and Position Sensors Board (TEMPOS)



● Drive and read up to 4 fieldplates

- Sensor supply voltage and output voltage measurements
- Max. sensor supply voltage: 0.6V
- Supply voltage stability: 50 μV
- Measurable sensor output:
- Resolution: 16 Bit
- Accuracy: 1 LSB (48 μV) (TBC)

● Drive and read up to 4 Temperature Sensors

- Optimized for Cernox-Sensoren
- T-range: 4K to 350K
- Accuracy < 25mK, depending on sensor sensitivity

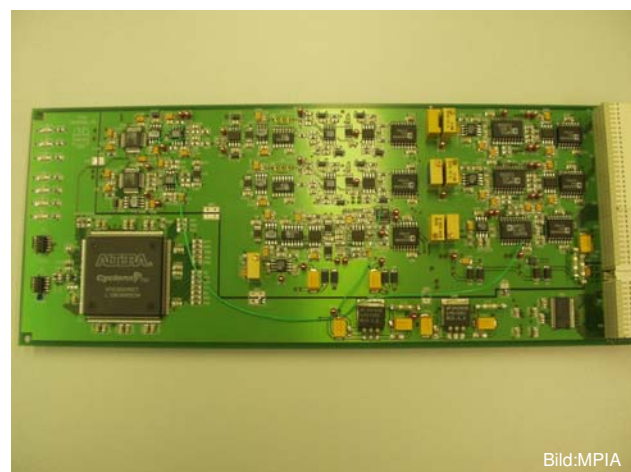


Bild:MPIA

22 SEI-Herbsttagung, 18.- 20. September 2006

José Ramos, MPIA



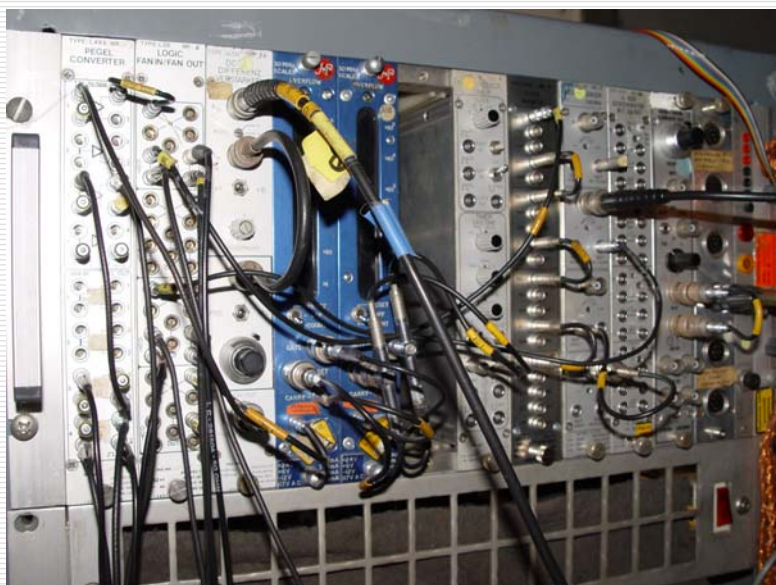
- **EMC Tests at Siemens (Karlsruhe)**
- **CE-Mark**
- **Final tests (TEMPOS optimization)**
- **October: 1st EGSE to ATC (Astronomy Technology Centre, UK)**
- **October: 2nd EGSE to Carl Zeiss, Oberkochen**
- **November: 3rd EGSE to CEA (France)**
- **Every 3-4 weeks another one...**

Ein neues Experiment...

?

1

Ein neues Experiment...!?



2

LogicBox: Ein modulares, kompaktes und schnelles Experimentsystem für das Labor.

- Hardware (modular)
 - DL700 FPGA-Box
 - IO-Submodule

 - Software (modular)
 - „LogicBox“-Aufbau
 - Module

 - Anwendung
 - Typisches Programm
 - Demo
-

3

DL700: Hardware

Kompakt = klein, stromsparend und billig!

- Interface: **USB**
 - Zentrale Logik: **FPGA**
 - Austauschbare **Submodule**: 1...4
 - Digital I/O: TTL, TTL^{coax}, NIM, LEDs, ...
 - Analog I/O: Discriminator, ADC, DAC, ...
 - Intern: Memory, ...
 - Anwenderspezifisch: Controller, uP, FPGA, ...
-

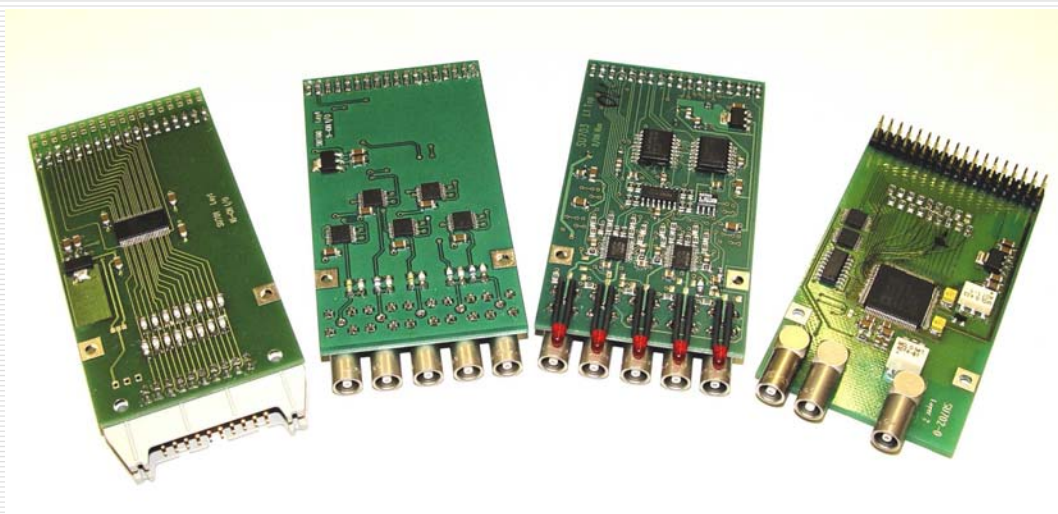
4

DL700: FPGA Box



5

DL700: Submodules



6

DL700: Memory

- statisch: 100 MHz
- 16 MB



7

DL700: Software

- PC-Schnittstelle
 - USB 2.0 (12 Mbps, 480 Mbps)
 - Anwenderprogramm (C, LabVIEW)
- FPGA-Programmierung (VHDL)
 - Individuell (optimiert!)
 - Random Pulser
 - Koinzidenzcounter
 - TOF Histogrammer
 - ...
- „LogicBox“



8

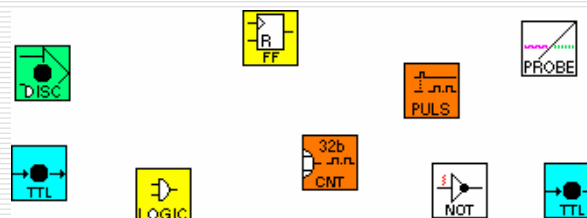


DL700: „LogicBox“

- Einfache, vorprog. Grundmodule (Pool)
 - I/O Module (Input/Output, Schwelle, ...)
 - Logic, FlipFlops, Pulser, Zähler, ...
 - ADCs, DACs, TDCs, ...
 - ...
- Vom Benutzer frei konfigurierbar!
 - Beliebige Verschaltung der Module
 - Parameter schreiben und lesen
 - Software: LabVIEW, ...

9

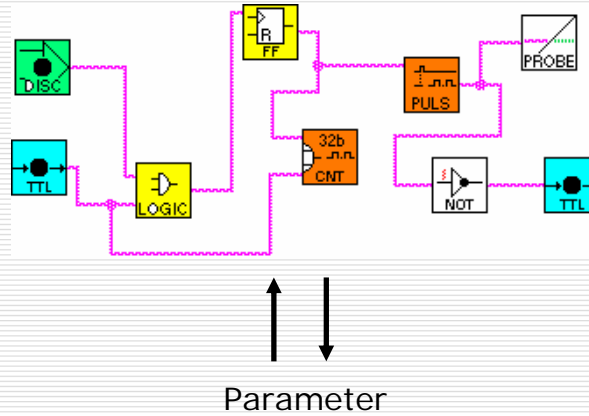
LogicBox: Module



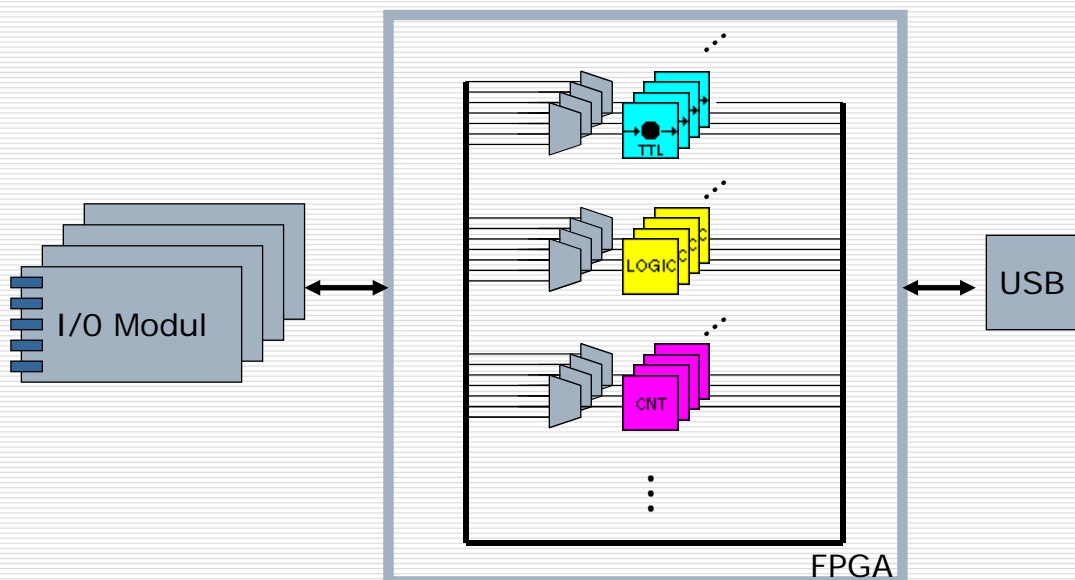
10

LogicBox: Verdrahtung

z.B. LabVIEW



LogicBox: Aufbau



LogicBox: TTL I/O

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“ benötigt.

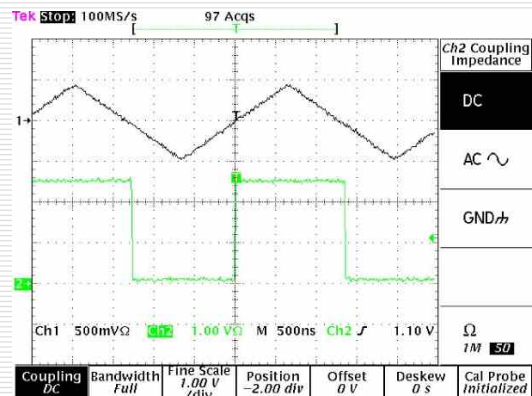
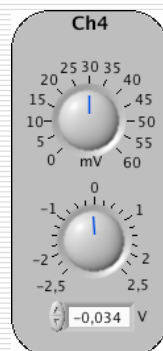
- Ein- oder Ausgang (wählbar)
 - Eingang:
 - Hochohmig, 50 Ohm, Pull-Up
 - Eingebauter Entpreller (1..255 ms)
 - Ausgang:
 - 60 mA=3 V/50 Ohm
 - Anstiegszeiten: ca. 2 ns
- Durchlaufzeit: 4..5 ns

13

LogicBox: Discriminator

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“ benötigt.

- Eingang
 - Schwelle: -2.5V .. +2.5V (12 Bit)
 - Hysterese: 0 .. 60 mV (12 Bit)
- Durchlaufzeit: 3..4 ns



14

LogicBox: LED

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

Modi

- Direkt
- Stretched (10 ms)

15

LogicBox: Logic

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

Modus wählbar (per Software)

- Boolsche Logik
 - AND
 - OR
 - XOR
- FlipFlops (Status setzbar)
 - RS-FlipFlop
 - S-FlipFlop
 - D-FlipFlop
- Synchronisierer
 - Start & Puls

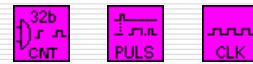


16

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

LogicBox: Counter

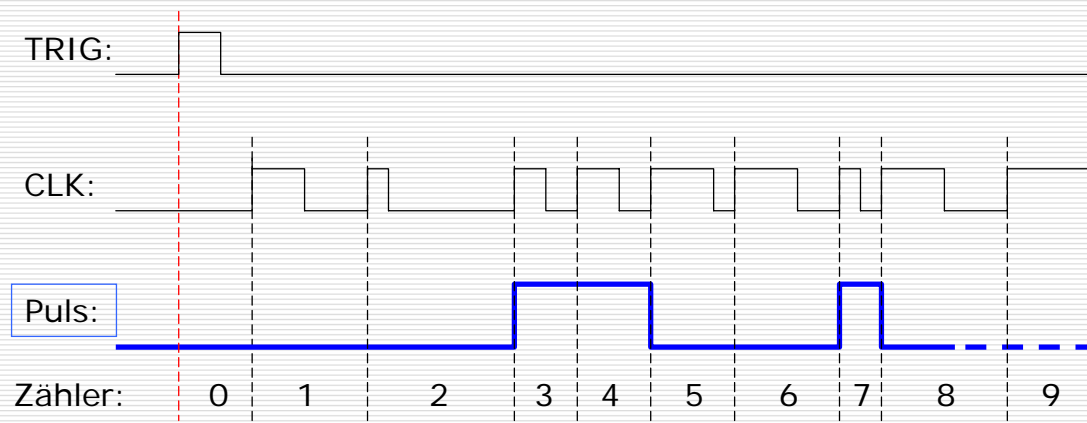
- Zählbereich bzw. Auflösung: .. 32 Bit (generic)
- Eingänge:
 - TRIG: Startet Puls
 - CLK: Events bzw. Zeitbasis (intern/extern)
- Ausgang:
 - Puls durch Zählermarken programmierbar
- Modus wählbar
 - Zähler
 - Pulser
 - Clock



17

LogicBox: Zeit/Zählermarken CNT

Marken: 3,5,7,8



18

LogicBox: Zähler

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“ benötigt.

- Zählrate: max. 100 MHz
- Auflösung: ... 32 Bit (modulo)
- Eingänge:
 - Trigger = A AND B
 - Flankengetriggert (steigende Flanke)
- Ausgang:
 - Puls entsprechend Zählermarken

19

LogicBox: Pulser

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“ benötigt.

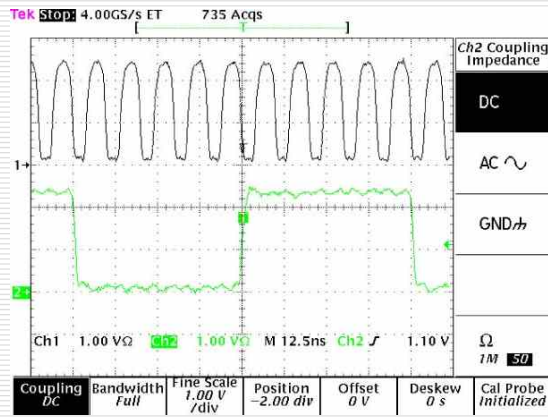
- Eingänge
 - TRIG:
 - Single Puls (steigende Flanke)
 - Offen: Wiederholender Puls=CLOCK
 - CLK
 - externe Zeitbasis (steigende Flanke)
 - Offen: Interne Zeitbasis=100 MHz
- Ausgang:
 - Puls bzw. Clock entsprechend Zeitmarken

20

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“ benötigt.

LogicBox: Clock

- Teilerverhältnis: ..32 bit
- Frequenz: 0,02 Hz .. 100 MHz
- Tastverhältnis: 50%
- Genauigkeit: Quartz



Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“ benötigt.

LogicBox: TDC

- Multihit & Multichannel
- Kanäle: 1...n (generic)
- Zeitauflösung: 10 ns
- Zeitzähler: 22 bit (generic)
- FIFO: 1024 Werte (generic)
- Zeitbereich: ca. 40 ms .. 40 sec

	Event 1	Event 2	Event 3	Event 4	Event n	Event 1024
Kanal 1	1	1	0	1	...	...
Kanal 2	0	1	0	0	...	...
Zeit(21)	0	1	1	1	...	...
Zeit(20)	1	0	1	1	...	...
...	...	...	1	1	...	...
Zeit(1)	1	0	1	1	...	...
Zeit(0)	0	0	1	1	...	...

LogicBox: ADC

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

- Abtastrate: 100 MHz
- Auflösung: 14 bit
- FIFO: 1024
(generic)

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

23

LogicBox: DAC

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

- Kanäle: 2 (Dual)
- Clock Rate: ... 125 MHz
- Auflösung: 14 bit
- FIFO: 1024 (generic)

- Anwendung: Arb.Func.Generator

24

LogicBox: Inverter



- Eingänge modifizierbar
 - Ohne Beschaltung
 - Eingang = HIGH
 - Ausgang = LOW
- Beliebig viele möglich!
- Durchlaufzeit: 0 ns

25

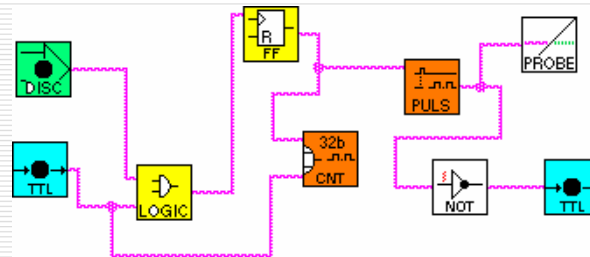
LogicBox: Converter



- Anpassung an LabVIEW
 - B_S: Boolean nach Signal (Setzen)
 - S_B: Signal nach Boolean (Auslesen)
- Beliebig viele möglich!
- Durchlaufzeit: 0 ns

26

LogicBox: Parameter

LB
Module

- ❑ Jeder Eingang kann dynamisch LOW, HIGH, OPEN oder CONNECT gesetzt werden!
- ❑ Jeder Ausgang (Signal) kann dynamisch gelesen werden!
- ❑ Modulparameter lesbar und setzbar!

27

LogicBox: Anpassung

- ❑ Art und Anzahl der Module konfigurierbar
 - Spartan xc3s400 (95%)
 - 8 Digitale TTL I/O
 - 4 Analoge Discriminatoren
 - 5 LEDs
 - 8 Logic Module
 - 8 32b Counter Module (8 Zeitmarken)
 - 1 ADC (14b * 1024 FIFO)
 - 2 TDCs (2 Kanäle, 22b * 1024 FIFO)
 - Virtex 4,5
 - .. 50 fache Kapazität
- ❑ Kanäle, Bitbreiten, Speicher, ... konfigurierbar
- ❑ Konfiguration & ID lesbar!

52 * 28/1 MUX !

28

LogicBox: Zukunft



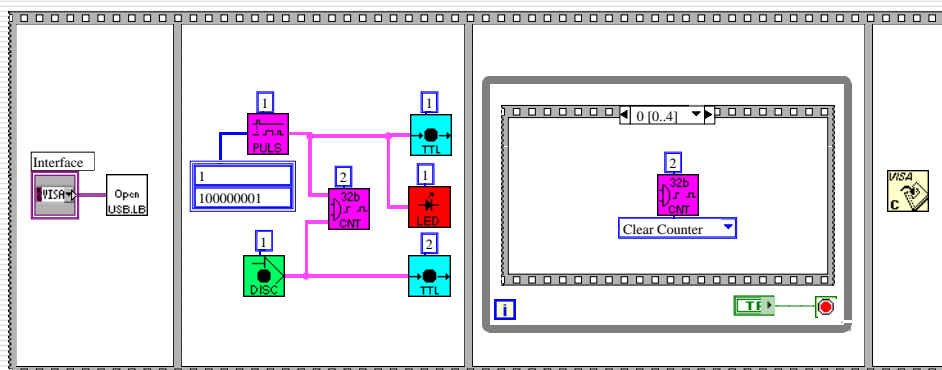
Ein Produkt der EW!

- Anwenderspezifisch
 - AD-Wandler, DA-Wandler
 - Speicher
 - μ Controller
 - FPGA-Module
 - ...

29

LogicBox: Typisches Programm

- Öffnen der Schnittstelle
- Verschalten und Initialisieren
- Ablaufsteuerung (Events)
 - Dynamisches Setzen von Parametern
 - Datenauslese und Darstellung
- Schließen



30

Photonen Qubits und Teleportation

Studiengruppe Elektronik und Instrumentierung

18. September 2006 in Heidelberg

Alois Mair
photon@amair.net

Herr von Walther stellte im letzten Vortrag die LOGIK-BOX vor.

Diese LOGIK-BOX wurde als Prototyp seit Jaenner 2005 fuer Experimente entwickelt, mit denen wir die Quanten eigenschaften von Licht untersuchen koennen.

Der hier folgende Vortrag ist über Experimente mit Einzelphotonen, in denen diese LOGIK-BOX Anwendung findet.

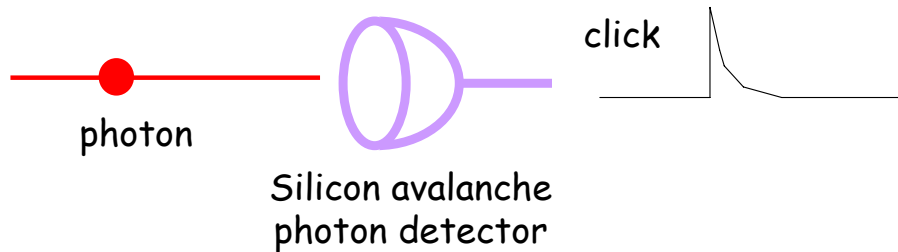
Ein Ziel dieser Experimente ist, das Photon besser zu verstehen. Der Titel hier ist sehr umfassend.

Es geht im Vortrag um Experimente und darum, was wir über das Photon heute wissen.

Dabei werde ich vor allem über die Experimente der letzten 10 Jahre erzählen , in denen ich als Physiker tätig bin.

- 1) Photonen ... Eigenschaften und Detektion, insbesondere die Form eines Photons (OAM Messungen).
- 2) Qubits ... Bit versus Qubit - Qubit versus Analogcomputer.
- 3) Teleportation ... No-Cloning und Informationstransport.

Detektion eines Photons



Max Planck hat vor hundert Jahren mit einem mathematischen Trick die bis heute gültige Gleichung für die Wärmestrahlung gefunden. Dieser Trick bestand darin, die Energie von Licht nur in Schritten quantisiert zuzulassen. Das bekannte h , die Planck-Konstante war geboren. Für Planck war es aber nur ein mathematischer Trick, der aber aus heutiger Sicht der unglaublichen Realität entspricht.

Einstein bekam seinen Nobelpreis nicht für die Relativitätstheorie, die damals offenbar sehr umstritten war, sondern für den Photoelektrischen Effekt. Ein Elektron wird durch Lichteinfluss aus einer Oberfläche geschlagen, aber das klassische Modell einer Welle, das die Atome zum Schwingen anregt bis das Elektron sich lösen kann, versagt hier komplett. Vielmehr muss die Energie des Photons quantisiert sein, wie es dem Mathematischen Trick von Planck entspricht, und von Einstein wurde diese Teilcheneigenschaft des Lichts (ursprünglich von Newton) als Erklärung für den Photoelektrischen Effekt unterstützt. Planck und Einstein haben vor einhundert Jahren also wesentlich zum modernen Bild des Photons beigetragen.

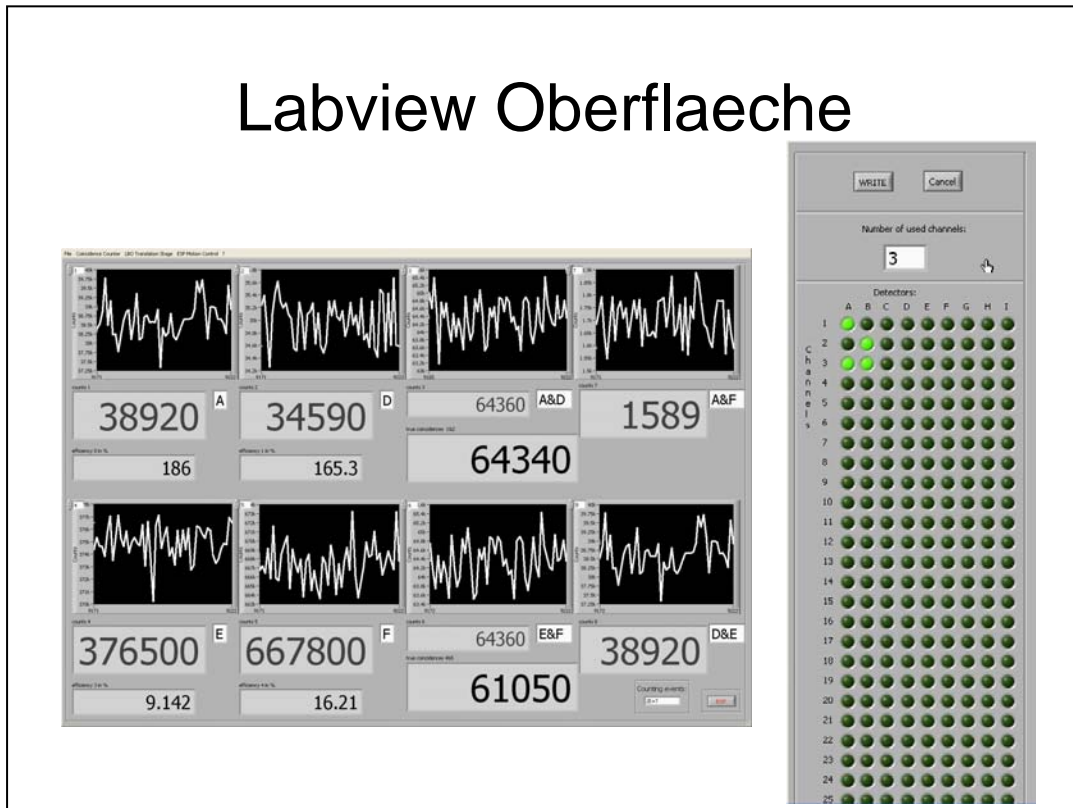
Heute verfügen wir über die Technologie, in der wir diese Erkenntnisse bestätigen und erweitern können. Bei der Detektion eines Photons werden zunächst die Elektronen in einer Avalanche-Photodiode angeregt, die mit hundert Volt vorgespannt ist. Diese APD gibt einen kleinen Stromimpuls an einen Verstärker ab, was dann als Photon im Computer registriert wird. Diese Einheit gibt es heute als fertiges Modul für sichtbares Licht zu kaufen.

1) **Im Bild links** sieht man die Einkopplungsoptik des Lichts in eine Glasfaser.

2) Die Detektoren werden durch Perkin Elmer als fertige Module vertrieben.

Mit der **Elektronik rechts im Bild** sparen wir enorme Kosten im Vergleich zu den bisher dafür verwendeten Geräten von ORTEC (CFDs, Zähler, Logikgatter) die früher auch handlich verdrahtet wurden. Mit dieser LogicBox (oder SwitchBox) können bequem per Mausklick mehrere Detektoren beliebig kombiniert werden.

Labview Oberflaeche



Unser Bild vom Photon ist zunächst ein Klick im Detektor, eine Energieeinheit in einem photoelektrischen Prozess. Wir kennen es als Energiequant der elektromagnetische Schwingung mit der Energie $h\bar{\nu}$. Ist es nun ein Teilchen oder Welle- oder was ist ein Quant?

Die Programmierung des FPGA Moduls erfolgt bequem vom Computer aus. Diese Matrix ist rechts im Bild und war Teil des ersten Konzeptes der LOGIK-BOX.


Die gewünschten Koinzidenzen zwischen den Kanälen werden nun bequem vom Computer programmiert. Diese **Matrix ist links zu sehen**. Diese wird per Mausklick auf die grünen Buttons programmiert und der FPGA wird damit online neu verdrahtet.

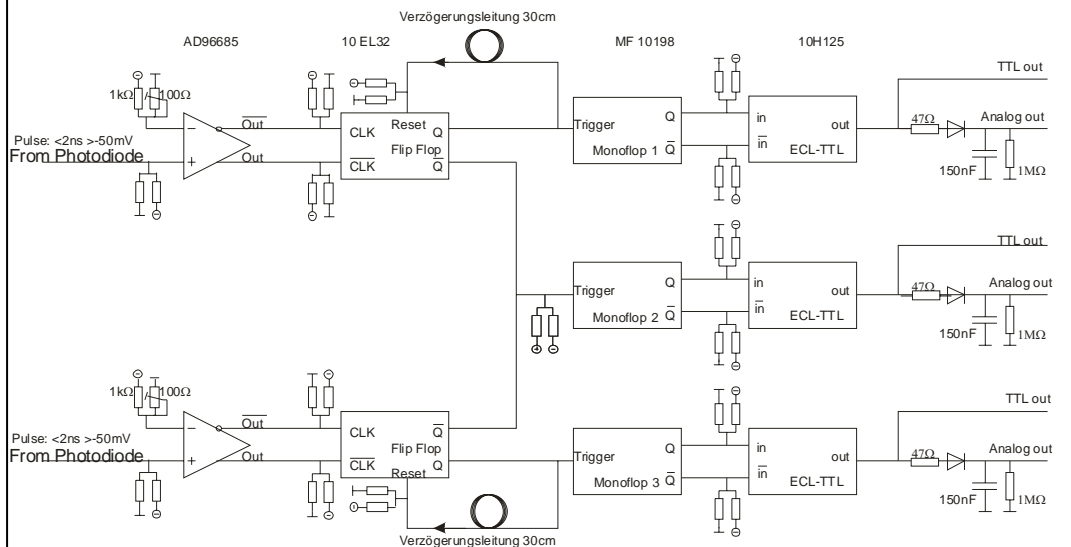
Die Programmierung der Koinzidenzen, als auch die Auswertung der Zähler erfolgt mit Labview. Labview ist sehr beliebt bei Physikern, weil man damit sehr bedienerfreundlich die Auswertung programmieren kann. Labview selbst hat aber keine ausreichende Geschwindigkeit um die Koinzidenzen in Echtzeit zu ermitteln, wohl aber die FPGA Karte. Das Resultat des FPGA wird aber mehrmals pro Sekunde via USB2 Schnittstelle ausgelesen. (Eine andere Anwendung sind Time-Bin Signale direkt aus dem Experiment zum Triggern der Karte, die hier aber nicht besprochen werden.)

Die beiden Labview Fenster wurden aus unterschiedlichen Anwendungen zusammengetragen und entsprechen nicht einander. Die Zähler hier arbeiten mit vier Detektoren und vier daraus berechneten Koinzidenzen, also acht Zähler. Das Buttonfeld rechts verarbeitet zwei Detektoren (Spalten) und ergebnisse werden aus drei Zählern (Zeilen oder Channels) ausgelesen.

Einfacher CFD für Photonenpaare

Koinzidenzelektronik '97
A.Mitterer, T. Jennewein, A. Mair

⊕ +5V
⊖ -5.2V
 (50 Ohm
an -2 Volt)



Wie alles begann:

Auf dieser Elektronik Workshop möchte ich vor dem eigentlichen physikalischen Teil des Vortrags **nun doch noch eine elektronische Schaltung** präsentieren. Damit habe ich 1997 in Innsbruck gearbeitet und das war auch ein historischer Vorgänger der Heidelberger LOGIK-BOX 2005.

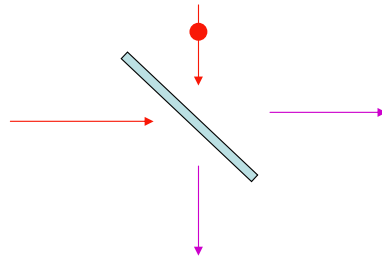
CFD mit Koinzidenzlogik 1997 Innsbruck:

Der Eigenbau entstand aus der Not heraus. Ich war ich in Innsbruck bei Anton Zeilinger ein Student im Labor und das Teleportationsexperiment im Nachbarlabor verschlang auch die gesamte verfügbare Elektronik. Meine frühe Elektronikausbildung und die Hilfe des Elektronikers Andreas Mitterer realisierte ich dann diese Schaltung. Um die teure ORTEC Elektronik zu ersetzen, planten wir diese Schaltung auf Basis von ECL. Die Eingangskomparatoren verarbeiten direkt das kleine Signal der vorgespannten Dioden, was heute durch die Perkin-Elmer Module nicht mehr notwendig ist. Die Detektoren waren mit Peltiers auf minus 25 Celsius abgekühlt. Von den Avalanche-Photodioden kommt ein winziger Impuls an die Komparatoren von links, das Monoflop wechselt den Zustand, und nach einer Laufzeitleitung von 30cm kommt ein Reset. Diese Laufzeit stellt den gewünschten Koinzidenz-überlapp ein. Diese Koinzidenz wird durch den mittleren der Drei Ausgangskanäle ausgelesen. Kommen als zwei Klicks von links innerhalb der eingestellten Zeit von ungefähr 12 Nanosekunden oder 30cm Laufzeit, so gibt auch der mittlere Ausgang einen Impuls weiter. Diese historische Variante brauchte noch externe Zähler für jeden Kanal, die auch per Hand in den Computer eingegeben wurden oder per Labview ausgelesen wurden.

LOGIK-BOX 2005

Es war nahe liegend, in Heidelberg auf eine Eigenentwicklung zu setzen. Das alles wurde von Herrn von Walther mit FPGAs realisiert, die Eingänge, die Steuerregister mit Koinzidenzmatrix und die USB Schnittstelle. Damit entfällt die fehleranfällige Verdrahtung der vielen notwendigen Logikgatter als auch die ORTEC Zähler. Die LOGIK-BOX war geboren.

Ein Strahlteiler für Photonen



Gibt es halbe Photonen?

Neben der Elektronik brauchen wir natürlich auch optische Bauteile.

Hier ist der optische Strahlteiler. Das funktioniert wie die Windschutzscheibe eines Autos, die das Licht des Himmels spiegelt und ein Fußgänger sieht den Fahrer hinter den gespiegelten Wolken.

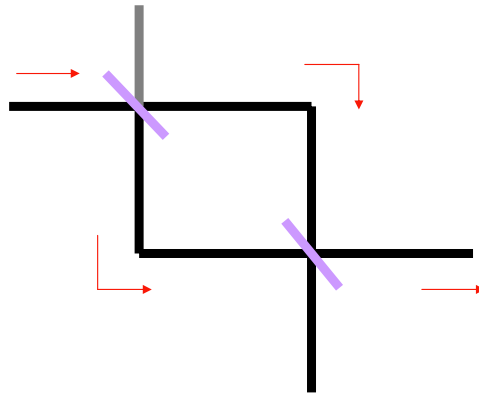
Nun betrachten wir ein einzelnes Photon an diesem Bauteil.

Wir glauben zunächst, dass das Licht aus Teilchen besteht. Wie verhält sich hier ein einzelnes und eigentlich unteilbares Photon. Mit Detektoren kann man zeigen, dass sie sich nicht teilen, sondern bei der Scheibe entweder als ganzes durchgehen wird oder als Ganzes reflektiert wird. **Gibt es halbe Photonen?**

Nein. Die Energie $h\bar{v}$ ist unteilbare Eigenschaft des Photons denn wir sprechen hier nur von linearen Prozessen, in dem das Photon nicht zerfällt. Nichtlineare Prozesse erfordern entweder eine sehr hohe Energie oder ein nichtlineares Medium.

Welle oder Teilchen?

MachZehnder Interferometer



Welle oder Teilchen?

Dass es keine geteilten Photonen gibt ist aber nur die halbe Wahrheit, denn das Photon ist ein Quant und kein Teilchen. Auch wenn wir es nur als ganzes detektieren, d.h. wir messen dass nach der ersten Glasplatte hier die halbe Zahl der ganzen Photonen an der Glasplatte hindurch und die an der Halbe Zahl reflektiert wird.

Nun kommt ein zweiter Strahlteiler. Dieses Mach Zehnder Interferometer ist in der Optik sehr beliebt. Dieses Interferometer wird auch mit Materiewellen gerne verwendet. Für das einzelne Photon sollte sich die zweite Glasplatte ebenso verhalten denn es ist immer noch das selbe.

Nach dem zweiten Strahlteiler sollte man **erwarten, dass die halbe Anzahl der Photonen geradeaus geht** und nach rechts das Mach Zehnder verlässt, und ebenso viele Photonen nach unten gehen. **Das ist nicht so!** Das ist ein erster Widerspruch zwischen Teilchen und Wellenbild, eine Eigenschaft des Quants. Mit gewöhnlichem Licht lässt sich zeigen, dass bei exakter Einstellung aller optischen Wege alle Photonen hinter der zweiten Glasplatte den Weg nach rechts antreten. Kein einziges Photon wird nach unten gehen.

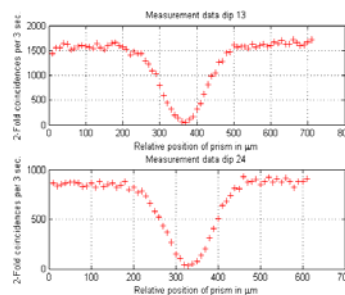
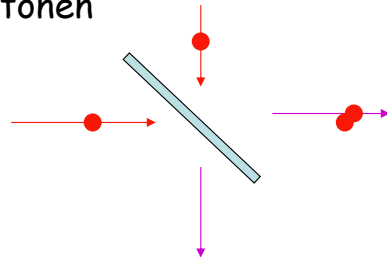
Wird einer der beiden Strahlwege unterbrochen, so werden die restlichen Photonen wieder beide Ausgänge nehmen und der Teilchencharakter des Photons am zweiten Strahlteiler deutlich. Der Ausgang nach unten wird hell, wenn wir einen der beiden Verbindungsweg abdunkeln.

Wir sagen, das Photon spaltet sich nicht auf und geht den linken und den rechten Weg, sondern es befindet sich in einem so genannte **Superpositionszustand** zwischen dem linken und rechten Weg, auf dem Weg zwischen beiden Spiegeln.

Hier haben wir ein erstes **QuBit**.

Koinzidenz zweier Photonen

Zwei Photonen



vis = 92.3 %

vis = 93.4 %

Zwei Photonen

Ein weiteres interessantes Phänomen tritt auf, wenn wir aus unserer Quelle zwei Photonen gleichzeitig auf die Glasplatte schicken, eines von oben und eines von links. Wenn die beiden nicht gleichzeitig die Glasplatte erreichen, beobachten wir mit zwei Detektoren, eine zufällige Verteilung, jedes der beiden Photonen geht entweder nach unten oder nach rechts.

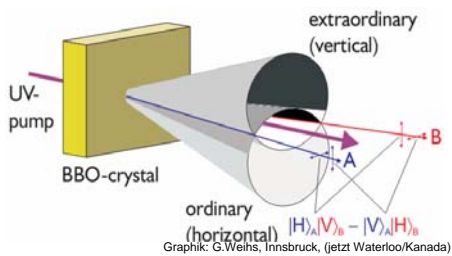
Kommen sie aber gemeinsam an, so scheinen sie aneinander kleben zu bleiben. Sie verlassen immer gemeinsam die Platte, entweder nach unten oder nach rechts, nie aber getrennt. Dass aber kein Klebstoff die beiden Photonen verbindet ist bei den niedrigen verwendeten Energien unzweifelhaft. Ebenso leicht werden sie an einer weiteren Glasplatte wieder getrennt.

Unsere Detektoren hier können nicht ermitteln, ob ein oder zwei Photonen gleichzeitig am Ausgang ankommt, aber wenn sie gemeinsam weitergehen, dann gibt nur ein Detektor ein Signal ab (für zwei Photonen), der zweite also keines (kein Photon übrig). Dies ist an den Kurven erkennbar, wobei eine Achse die Koinzidenzen-Zählrate (Inkrement wenn beide Detektoren ein Signal abgeben) und die horizontale Achse gibt die zeitliche Differenz der Photonen an in Lichtmillimeter (Millimeter mal Lichtgeschwindigkeit).

Die LOGIK-BOX zählt die Impulse der einzelnen Detektoren über eine bestimmte Zeit und daraus ergibt sich ein Messpunkt. Darüber hinaus zählt sie auch die Anzahl der gleichzeitig eintreffenden Signale. Diese Kombinationszählung ist für eine große Anzahl von Detektoren programmierbar, ebenso wie das Zeitfenster in der die Zähler laufen sollten bis es den Zwischenzählstand an Labview übermittelt.

Das Übermitteln der Zählwerte von der LOGIK-BOX ist schnell genug dass man mit der Computeranzeige das experiment justieren kann.

Type II Downconversion



ordinary (horizontal) $|H\rangle_u|V\rangle_d - |V\rangle_u|H\rangle_d$
 Graphik: G.Weins, Innsbruck, (jetzt Waterloo/Kanada)

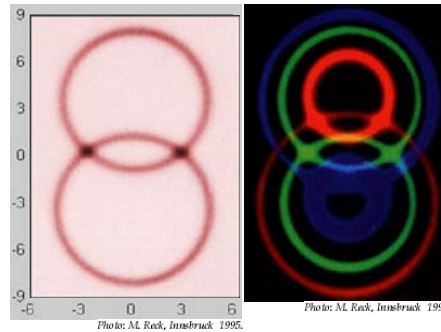


Foto: Markus Michler, Innsbruck (ca 1997)

Die Herstellung einzelner Photonen.

Die bequemste Methode, Photonenpaare herzustellen ist die nichtlineare Optik. Barium-Beta-Borat (BBO) ist ein künstlich hergestellter, optisch durchsichtiger Kristall mit nichtlinearen Eigenschaften. Wird er einem UV-Laserstrahl mit einer bestimmten Richtung und Polarisation ausgesetzt, erhält man aus einem einzelnen tiefblauen Strahl einen Regenbogen von Licht.

Dieser Regenbogen ist zwar sehr schwach, aber die besonderen Eigenschaften machen dieses Licht sehr nützlich in der Quanteninformation. Wenn an einem Ende dieses Regenbogens ein Detektor ein Photon nachweist, so gibt immer gleichzeitig ein zweiter Detektor am anderen Ende des Regenbogens auch ein Signal ab.

Links im Bild sieht man eine schematische Zeichnung der Quelle, die im wesentlichen Licht in zwei konusförmigen Richtungen als Regenbogen abstrahlt. **Rechts:** Jeweils ein Photon am oberen Ring entspricht einem Photon aus dem unteren Ring. Ein Roter Ring oben gehört zu einem blauen Ring unten. Der grüne Ring oben gehört zum grünen Ring unten und diese beiden grünen Ringe sind deshalb interessant, weil oben horizontal polarisierte (H) Photonen und unten vertikal polarisierte (V) Photonen emittiert werden. Dort wo die Ringe sich kreuzen ist eine besondere Stelle, denn das Photon im linken Kreuzungspunkt weiß nicht so genau ob es nun H oder V polarisiert ist weil beides möglich ist. Aber was auch immer das Photon links macht, das rechte Photon, ebenfalls im Kreuzungspunkt macht genau das Gegenteil. Ist links H, dann rechts V. Das nennt man **Korrelation**

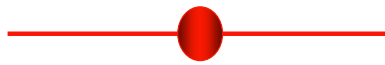
Und kann klassisch erklärt werden.

Eine solche Quelle für verschränkte Photonenpaare stammt unter anderem von Paul Kwiat, der 1995 diese nach Innsbruck brachte. Damit war eine der Grundlagen für die Teleportationsversuche geschaffen. Tatsächlich ist diese Photonemission gut verstanden und der Kristall kann optimiert werden. Die Energieerhaltung und die Impulserhaltung der Photonen muss im Kristall für den Umwandlungsprozess erfüllt sein. Das ist eigentlich schon alles was man für die spontane Emission braucht. Diese Quelle ist nur eine von vielen Möglichkeiten, Photonenpaare herzustellen, aber derzeit sicher die populärste Methode.

Wie sieht ein Photon aus?

Ein Photon
Einen Spin?
Eine Frequenz?
Eine Kugel?

$$h\omega$$



Das Photon ist quantisierte elektromagnetische Energie.

Es ist aber sicher mehr als ein Klick im Detektor. **Ich behaupte nun, dass es jede Form annehmen kann,**

wobei ich hier den Begriff der Form auf die Wellenfunktion beziehe.

(Eine genauere Argumentation hierzu findet man in <http://amair.net/science/MairThesisGerman.pdf>)

Ein Photon ist zunächst das Energiequant einer klassischen Welle.

Das Photon ist das kleinste Energiequant eines elektromagnetischen Feldes und wenn man einen Physikstudenten fragt wie er ein Photon veranschaulicht dann kommt immer die Gaußsche Welle in Raum und Zeit als Einhüllende der Welle.

Das stimmt aber nicht so.

Einstein: **Mache die Dinge
so einfach wie möglich.....
aber nicht einfacher.**

In der Natur existiert alles das
nicht verboten ist.

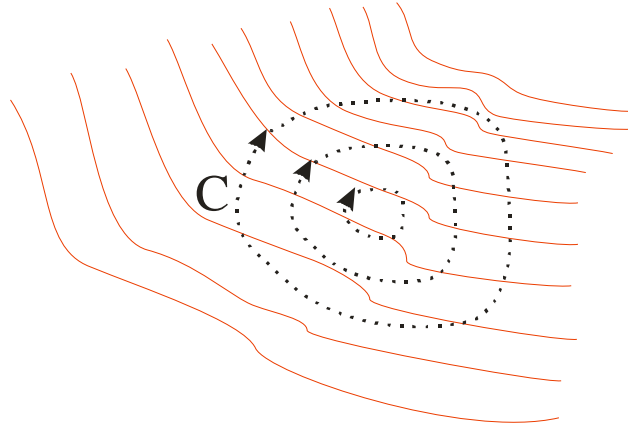
Einstein schreibt man das folgende Zitat zu.

„Mache die Dinge so einfach wie möglich, aber nicht einfacher. „

Das ist eigentlich Qualitätsmanagement der Wissenschaft.

Die frage war also, wie messe ich ein Muster des Photons, wenn ich nur einen Klick zur Verfügung habe?

Klassische Welle



Ist ein elektromagnetische Feld die Summe aus einzelnen Punktförmigen Klicks?

Also zurück zur klassischen Welle. Die dargestellte Welle oder **MODE (eines Lasers)** ist aus vielen Photonen zusammengesetzt. Offenbar sind sehr sehr viele Photonen für den Aufbau dieser komplexen Welle in diesem Bild verantwortlich. Die Vorstellung, dass eine elektromagnetische Welle aus sehr vielen Photonen aufgebaut sein muss wird zumindest bis zum Jahr 2000 in allen Lehrbüchern so geschrieben und ist an sich auch nicht falsch, klassisch gesehen, aber wenn man nur das einzelne Photon betrachtet ist es ganz falsch.

So habe ich 1997 etwas anderes behauptet und Ich überraschte damit offenbar sogar einige Experten mit meiner Behauptung; **Bei einem einzelnen Photon (aus einer Photonpaarquelle) kann man eine transversale MODE nachweisen.**

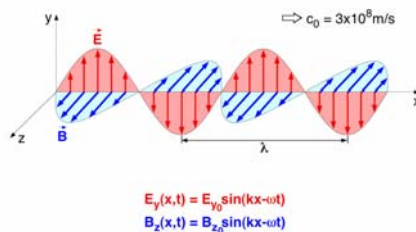
Mein einziges Argument für mein Experiment damals war mein Glaube, dass in der Natur alles existiert das nicht verboten ist. Der Vorschlag war offenbar so absurd, dass zumindest eine gegenteilige Publikation über dieses Thema erschienen ist.

Nachher versteht offenbar niemand mehr, warum man das vorher nicht verstanden hat und das scheint nun so selbverständlich zu sein wie Newtons Behauptungen über das Inertialsystem.

Wie sieht ein Photon aus?

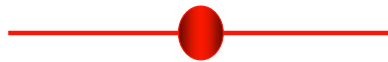
Klassische Welle

Elektromagnetische Welle



Viele Photonen
Polarisation.
Richtung.
Frequenzspektrum.

M. Planck, A. Einstein



Ein Photon mit
 $h\omega$

Das Problem der Detektion bleibt. Wie kann ich meine Behauptung nachweisen wenn es dafür noch keine Detektionsmethode gibt?

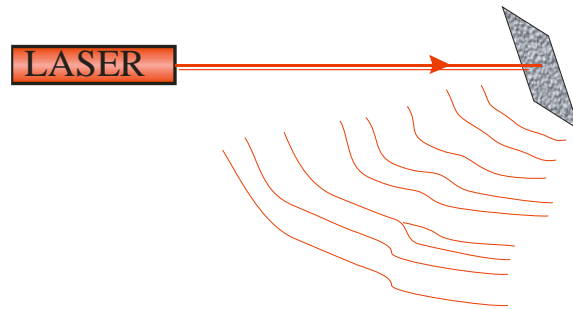
Das Problem ist, dass man üblicherweise die Form (**MODE**) der elektromagnetischen Welle mit einer Kamera beobachtet, genau genommen wie ein Hologramm mit Interferenzen, die wie ein Fingerabdruck den Strahl in Phase und Amplitude festlegen.

Aber wir haben nur ein Photon und das Interferenzbild, das die Kamera aufnehmen soll besteht nur aus einem einzigen Klick im Detektor, oder in dem Fall ein einziges Signal eines einzigen Pixels der Kamera.

Eine neue Methode musste erfunden werden, um dennoch das Photon eindeutig einer Form zuzuordnen zu können.

Auf diese Messmethode komme ich gleich zurück.

Beispiel einer klassischen Welle

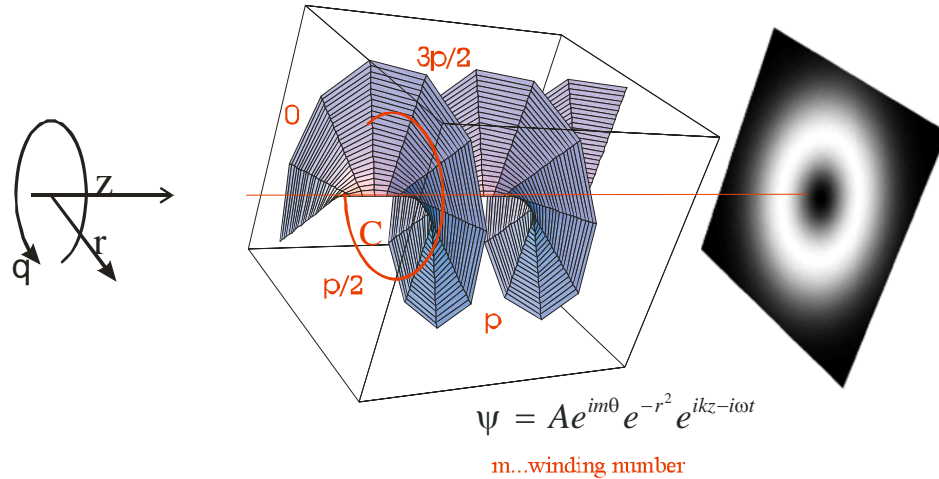


Ich wollte eine beliebige Welle nachweisen ,also suche ich mir eine ganz besondere Welle aus. Den Vortex.

Ich sollte hier einen interessanten klassischen Effekt erwähnen, den Sie sicher alle kennen, wenn sie mit einem Laserpointer irgendwo hin geleuchtet haben, dann erscheinen diese hellen Punkte, **Laser-speckles**, die gestreutes Laserlicht immer zeigt. Helle tanzende Flecken. Nun, es ist Ihnen vielleicht nicht aufgefallen, dass die dunklen Flecken eigentlich ganz schwarz sind. Es sind Vortices, Singularitäten im Wellenfeld. Die Amplitude ist dort irgendwo exakt Null und sie werden es nicht schaffen, diese mit unscharfem Fokus zu beobachten und dadurch diese dunklen Stellen zu verwischen. Solche Nullstellen gibt es eigentlich bei jeder monochromatischen skalaren Welle die nur komplex genug ist. Wenn sie so eine Nullstelle gefunden haben, dann würden sie feststellen dass diese Nullstelle eine Linie im Raum ist, eine geschlossene Linie. (Das funktioniert nicht nur mit Licht sondern auch mit anderen klassischen Wellen, wie z.B. Schall.)

Laserspeckels

Phase singularity parallel to the direction of propagation $t=0$



Im Detail sieht die Wellenfront dann so aus. Beim Laser sind diese Nullpunkte Linien entlang des Strahls. Die Phasenfläche der Welle, also die Orte mit einer bestimmten Phasenlage zu einem bestimmten Zeitpunkt, bildet eine Schraube wie dargestellt. Geht man nun um diese Schwarze Linie (in der Zeichnung eine rote Gerade) herum, so stellt man fest dass sich die Phase auf diesem Weg um 2π ändert. Egal wie dieser (rote Ring) Weg um die Vortexlinie (rote gerade) nun genau aussieht, es sind immer 2π .

Da sie nun den Weg beliebig klein machen können, werden Sie feststellen, dass sich ihre Phase in der Nähe des Vortex (rote Gerade) unendlich schnell ändern muss. Die Phase ändert sich unendlich schnell und aus dieser geometrischen Konstellation ergibt sich notwendigerweise ein schwarzer Punkt in der Mitte. Das ist ein Erklärung für die besonderen Eigenschaften der Laserspeckels und warum die Punkte immer schön schwarz sind.

Woraus besteht ein Hologramm?

$$\begin{aligned}
 \bigcirc &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} + i \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} \\
 \bigcirc &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} - i \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} \\
 \bigcirc &= \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} + \frac{i}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} - \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} \\
 \bigcirc &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} \\
 \bigcirc &= \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} - \frac{i}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} - \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} \\
 \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} &= \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} + \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} \\
 \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} - \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} \\
 \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} &= \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} - \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} + \frac{1}{2} \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array}
 \end{aligned}$$

Zurück zu unseren Photonen. Wir können mit einer Kamera also nicht die Form eines einzelnen Photons bestimmen, aber da ich behauptet habe, dass ein einzelnes Photon eine solche Welle besitzt, muss ich nun eine Messmethode dafür entwickeln. Eine Messung mit der Kamera erscheint unmöglich.

In der Quantenmechanik arbeitet man statt dessen immer mit so genannten Orthogonalsystemen. Der Experimentator in der Quantenphysik muss also vorher festlegen, welches Orthogonalsystem er messen will. Ich verwende Moden mit Vortex und hier sieht man, wie man z.B. Vortexmoden aus anderen Moden zusammensetzen kann. Es geht natürlich auch in die andere Richtung.

Der linke Block sind nur Moden erster Ordnung, Rechts sind Moden zweiter Ordnung, für die es schon mehr Kombinationsmöglichkeiten gibt. Es gibt Moden mit beliebig hoher Ordnung, aus denen dann komplexe Hologramme zusammengesetzt werden können.

Diese Moden sind alle orthogonal, so wie die Bits 0 und 1 können der rechts und links laufende Vortex eindeutig unterscheiden werden. Das rechte System entspricht den Trits.

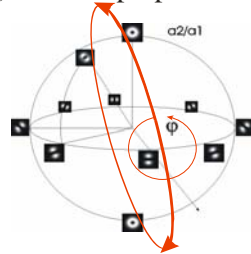
Messung der Form eines Photons

A. Mair, PhD 1996-2000 in Innsbruck, Wien

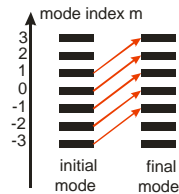
1) mode basis

$$\begin{aligned} \bigcirc &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\text{right} + i \text{left} \right) \\ \bigcirc &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\text{right} - i \text{left} \right) \end{aligned}$$

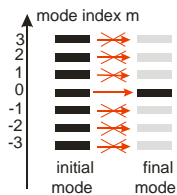
2) mode superposition



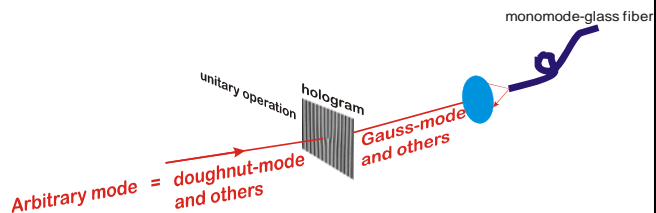
3) mode "rotation"



4) mode selection



5) mode detection
e.g. doughnut-mode L=2



Ich beschränke mich hier zunächst auf Quantenbits.

Die Messung der Mode eines Photons besteht nun aus einer Kombination mehrerer Schritte.

(1 und 2) Zunächst legt man die Basis fest (zB Vortex als Basis) in der man das Photon messen will.

(2) Repräsentiert alle Basen die qubits entsprechen, also 2 Auswahlmöglichkeiten haben. Zwei entgegengesetzte Zustände (zB eben einen rechts und einen linkslaufende Vortex) können per Superposition in jede andere Basen überführt werden wie in der letzten Folie links gezeigt.

(3 und 4) Im zweiten Schritt muss ein Modenfilter gebaut werden, der das Photon je nach seiner festgelegten Mode trennt (also rechts und linkslaufender Vortex). Im speziellen Fall passiert das mit Hologrammen, die eine Vortex in eine Mode umwandeln die in eine glasfaser passt, die andere Mode wird auf ein vielfaches seiner Größe ausgedehnt und verliert sich ausserhalb der Faser.

(5) Zeigt den für das experiment gewählten Aufbau, der sich durch hohe Stabilität und Einfachheit auszeichnet.

Ein Photon ist mehr als nur quantisierte Energie

Superposition

$$\sqrt{2}|\equiv\rangle = |\odot\rangle + |\ominus\rangle$$

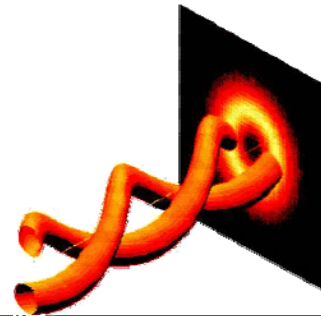
$$i\sqrt{2}|\equiv\rangle = |\odot\rangle - |\ominus\rangle$$

Verschränkung

$$|\text{twin}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\equiv\rangle|\equiv\rangle + |\equiv\rangle|\equiv\rangle)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(|\odot\rangle|\odot\rangle + |\ominus\rangle|\ominus\rangle)$$

Teleportation der Form (eines Photons) möglich !



Das Resultat der **ersten Messung an der MODE eines Photons in Innsbruck** ist hier zusammengefasst. Die Formeln enthalten keine Buchstaben mehr sondern Bilder.

Ich fand damals die Quantenphysik überlastet mit abstrakten Symbolen. Also nutzte ich die Möglichkeit im Textsatzprogramm Latex Buchstaben durch Bilder zu ersetzen und in Gleichungen einzubauen. (In Powerpoint gelingt das leider nicht)

Mit den so detektierten Signalen konnte ich nun nachweisen, dass die populäre Photonenquelle, der BBO, nicht nur Verschränkung mit Polarisationen sondern auch mit Moden machen. Nach dieser Messung im Jahr 1999 gibt es nun einige Gruppen, z.B. in Schottland, Wien und in den USA, die diese Messmethode weiter verwenden und ausbauen.

Ich gehe hier einen nahe liegenden Schritt weiter und behaupte, **sie können auch diese Form (Mode) eines Photons teleportieren.**

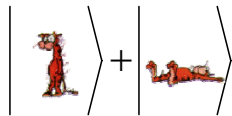
Das sollte jedenfalls technisch realisierbar sein.

Bits and qubits

Klassische Physik - Das bit



Quantenphysik - Das qubit



Superpositionszustand

Quantenphysik - Zwei qubits



Verschränkter Zustand

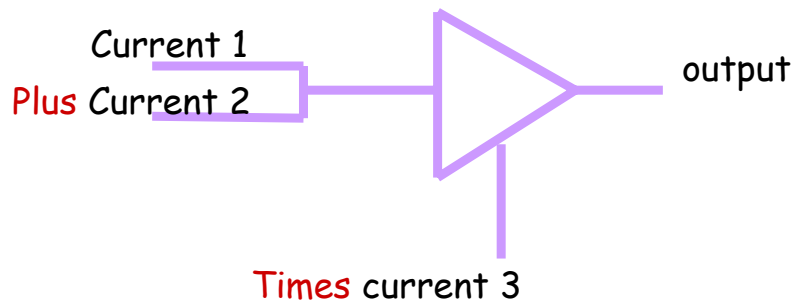
In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts als die Quantenphysik erfunden wurde, versuchten die Pioniere, diese suspekthe Theorie zu hinterfragen. Das Kuriose an der neuen Theorie wurde vom Erfinder der Wellengleichung mit dem **Beispiel einer Katze** veranschaulicht.

Eine Katze ist nach vorangegangener Raub seiner persönlichen Freiheit (die Kiste ist hier nicht gezeichnet) einem durch radioaktiven Zufall initiierten möglichen Giftgasangriff in seiner Lebensexistenz massiv bedroht. Die Beobachtung der Katze inklusive sämtlicher Lebensfunktionen sei absolut ausgeschlossen. Was für ein Photon ein normaler Überlagerungszustand zwischen rechts und links laufendem Vortex ist, der hier beobachtet wurde, ist die Beobachtung einer geisterhaften Zombie-Katze (im unterschied zur halbtoten Katze) eher Horrorfilmen vorbehalten, abgesehen von der Unmöglichkeit auf Wiederholung des Gedankenexperiments wegen moderner Tierschutzbestimmungen.

Wie auch immer ist es Schrödinger nicht wirklich gelungen, die Absurdität der Quantenmechanik aufzuzeigen und daher lebt seine Katze weiter. Wir haben hier sogar zwei Katzen. Ein Männchen und ein Weibchen. Aufgrund technologischer Fortschritte der vorgeschlagenen Todeskiste wird eine der beiden Katzen überleben und die zweite nicht. Die Quantenmechanik macht es nun aber möglich, dass wir auch hier zwei Katzenzombies messen können.

Wenn der Experimentator selbst ein Zombie ist, wird er eher geneigt sein die Entscheidung für die Zombievariante zu treffen, also beim öffnen der Kiste tatsächlich zwei entgegengesetzte Katzenzombies zu erhalten, während weniger stabile Experimentatoren eher geneigt sind, die Katzen als lebende oder tote Tiere wiederzufinden. Der Experimentator entscheidet die Messmethode.

Your P_aC



Der **Analogrechner** war mit Spannungen und Strömen, die Zahlenwerte bedeuteten, wesentlich schneller als das Bit. Es ist leicht, die Grundrechenarten wie Multiplikation und Division mit Verstärkern und Addition und Subtraktion mit Widerständen aufzubauen. Numerische Integration und Differentiation ist ebenso einfach realisierbar, besonders bei hohen Geschwindigkeiten und in Regelkreisen.

Es ist leicht, mit einem Verstärker die Grundrechenarten zu realisieren. $\text{Strom1} + \text{Strom2} + \text{Strom3} = \text{output}$. Durch Rückkopplungen kann man auch Subtraktion und Division realisieren. Integration und Differentiation durch Zeitglieder.

Diese Analogcomputer sind z.B. in Regelkreisen verwirklicht. Letztes Jahrhundert war eigentlich nicht jedem wirklich klar,

dass Bits und Bytes das Rennen machen werden. Aber Digitalrechner haben gegenüber analogen ganz klare Vorteile im Bereich der Fehlerkorrektur und Stabilität, während Analogcomputer diese Fehler kumulieren.

Bits

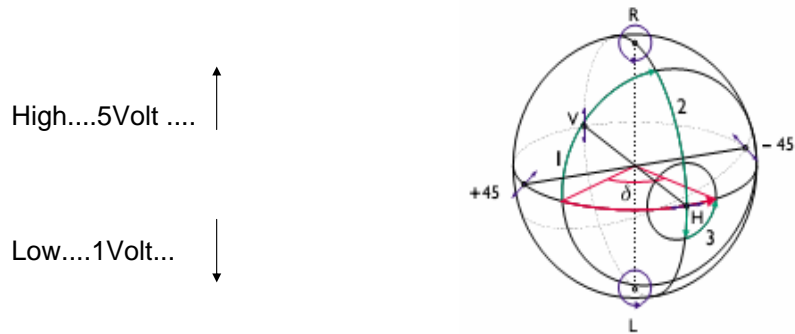
aus ... ein

0 1

H ... V

Auch Analogrechner verwendet Zwischenwerte zwischen 0 und 1.
Was ist also **das Besondere am Quantencomputer**?

Das Quant lebt in mehreren Dimensionen



Der Beobachter kann sich
die Beobachtungsbasis aussuchen

Ein Qubit kann wie der Analogcomputer nicht nur die zwei Werte **R** und **L** annehmen sondern auch Kombinationen (Superpositionen) der beiden.

Das klingt zu nächst wie ein Analogcomputer, bei dem die Kombination (Verhältnis der Amplituden) aus High und Low allerdings nur auf einer einzigen Dimension stattfindet. Beim Quant gibt es neben dem Verhältnis der Amplituden zwischen **R** und **L** und zusätzlich eine Phasenbeziehung, so dass der gesamte Äquator der Kugel aufgespannt wird. Auf diesem Äquator gibt es wiederum orthogonale, also entgegengesetzte Zustände, wie z.B. **H** und **V**.

Obwohl der Quantencomputer kein Analogcomputer ist, obwohl er mit komplexen statt mit reellen Amplituden arbeitet, hat er mehr Rechenkapazität.

Das Qubit hat also mehr Dimensionen.

Der Analogcomputer funktioniert in nur einer Dimension. Es gibt zwischen 0 und 10 Volt nicht die Werte $0+10$, $0-10$, $0+i10$, $0-i10$ Volt sondern nur 5 Volt.

Was sind physical realizations qubits

- Photonen (Polarisation, Richtung, Farbe, ...)
- Atome (Spin, Anregung, Drehimpuls...)
- Position der Elektronen in double wells
- Moleküle (z.B.: C60 Fulleren)
- ...jeder Quantenzustand in der Galaxis!
- Grenze ist die Lebensdauer (Quantenzustand Phase...)
- **Aber eine Katze?**

Lebensdauer des reinen Zustands ist wichtig.

Es gibt verschiedenste Realisierungsmöglichkeiten für das QuBit. Was beim Analogcomputer durch Spannungen oder Ströme realisiert wird. Atome , Photonen, Elektronen und Moleküle. Jede dieser Elemente hab viele verschiedene Zustände die man als Qubit benützen kann.

Beim Photon sind das die Polarisation, die Ausbreitungsrichtung, die Farbe aber auch die Mode; bei Atomen ist es der Spin, der Anregungszustand und so weiter. Im Prinzip kann man jeden erdenklichen Zustand als QuBit verwenden der in den Sinn kommt.

Eine Grenze für die Brauchbarkeit ist unter anderem die begrenzte Lebensdauer der Zustände. Bei der Schrödingerkatze ist damit nicht die Lebensdauer der Katze gemeint sondern die starke Interaktion mit der Umgebung, die für einen Quantenzustand möglichst auszuschließen sein muss.

Parallelrechnen mit Qubits

Dimensionen des Hilbert-raums

klassisch
Zwei bit register

00
01
10
11

No entangled states allowed

α, β

N „Amplituden“ reichen aus
um N bits zu beschreiben

Quanten
Zwei Q-bit Q-register

$|00\rangle$
 $|01\rangle$
 $|10\rangle$
 $|11\rangle$

$\alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle$ Quantum superposition

Verschränkte Zustände,
können nicht auf 2 Variablen
reduziert werden.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$

Informationsgehalt ist 2^N
Unabhängige Amplituden

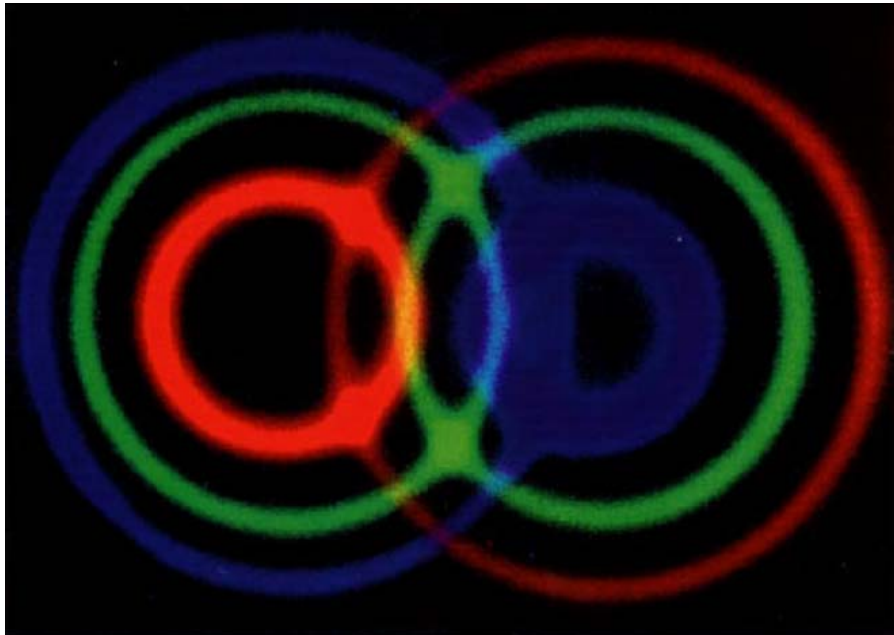


Ein einzelnes Qubit herzustellen ist heute kein Problem. Man könnte sich nun denken dass es doch ausreicht, mehrere solcher ein-qubit Systeme zu schaffen. Aber das Problem ist, dass erst die phasenstabile Kombination mehrerer Qubits den Quantencomputer zu einem massiven Parallelrechner machen. Hier am Beispiel von nur zwei QuBits im Vergleich von zwei Bits.

Links zwei Bits können insgesamt durch zwei Amplituden dargestellt werden. Der Amplitude des ersten und die Amplitude des zweiten Bits. Die Amplitude ist 0 oder 1 im Fall des Bits.

Rechts das qubit, ebenfalls mit Werten 0 und 1, aber hier brauchen wir bereits 4 Werte. Der hier mögliche verschränkte Zustand hat nämlich die Eigenschaft, dass man in jedem Fall 4 Werte braucht. (Man sagt die Zustand sind nicht faktorisiert). Diese Anzahl der notwendigen Amplituden, in denen auch die Information steckt, steigt mit der Anzahl der Qubits viel schneller an als die entsprechende Anzahl bei den Bits. Die hohe Anzahl kommt durch die gegenseitigen Phasen zwischen den Zuständen.

III) Teleportation

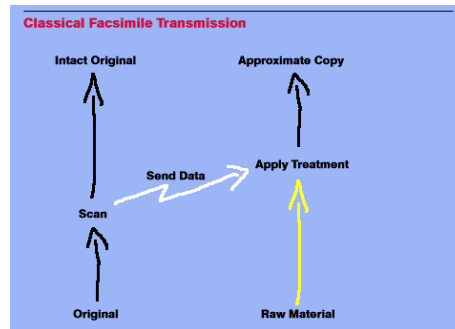


Das dritte Thema des Vortrags ist die Teleportation. Eine Übertragung von Quantenmechanischen Zuständen von einem Ort zum anderen.

Teleportation wurde 1993 von Bennet (IBM) vorgeschlagen und dann von Zeilinger in Innsbruck mit Einzelphotonen und von DeMartini in Rom erstmals realisiert.

Wozu braucht man diese Teleportation von Quantenzuständen eigentlich?

Quanteninformationsübertragung



C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau, R. Jozsa, A. Peres, and W. Wootters,
"Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and EPR Channels",
Phys. Rev. Lett. vol. **70**, pp 1895-1899 (1993)

Das klassische Beispiel einer Informationsübertragung ist ein Faxgerät. Sie legen die Information ein, sie wird kopiert und diese Kopie wird übertragen. Beim Quant kann man das nicht machen weil es keine Kopie zulässt.

No-Cloning

Wooters, Zurek Nature, 1992

$$|\psi\rangle \xrightarrow{\text{copy}} |\psi\rangle |\psi\rangle$$

Ein Quantenzustand kann nicht exakt kopiert werden.

Das nur bei bekannter Basis

$$\begin{aligned} |0\rangle|0\rangle &\longrightarrow |0\rangle|0\rangle \\ |1\rangle|0\rangle &\longrightarrow |1\rangle|1\rangle \end{aligned}$$

Beispiel Heisenberg-Unschärfe:

Einen gänzlich unbekanntem Zustand können wir nicht mit Sicherheit messen.

(zB eine Orts oder Impulsmessung?)

(zB eine Messung der Polarisierung eines einzelnen Photons)

(zB die Messung der Mode eines Photons)

Dass sich Quanteninformation nicht kopieren läßt wurde von Wooters und Zurek klar gezeigt. Sie haben von der Heisenbergunschärfe schon gehört. Man kann bei einem kleinen Teilchen nicht gleichzeitig die Geschwindigkeit (Impuls) und den Ort bestimmen, nicht weil wir ungenaue Meßgeräte haben, sondern weil das Teilchen nicht Ort und Impuls gleichzeitig besitzt. Das Limit ist die Heisenbergsche Unschärfe und sie ist die Natur eines jeden Wellenphänomens und damit auch eines jeden Quants.

Eine vergleichbare Unschärfe gibt es bei der Messung eines jeden QuBits und damit auch bei der Polarisierung eines Photons. Wir müssen uns immer vorher auf ein Set möglicher Messungen festlegen. Solche Sets sind z.B. die Horizontal und Vertikalpolarisation. Ein anderes Set ist das Rechts- und Linkszirkulare Licht. Wissen wir nicht welches Set wir messen sollten, ist es dem Zufall überlassen ob wir nun bei der Messung einen Fehler machen oder nicht. Wir können also einen gänzlich unbekanntem Zustand nicht kopieren, es sei denn seine Basis ist bekannt.

Was ist Teleportation

Eine Möglichkeit, um Qubits zu übertragen,
ohne sie zu verschicken.

Wir wollen bei der Teleportation Qubits nicht versenden, sondern eine Informationsübertragung von einem Qubit auf ein anderes (entferntes) Qubit machen.

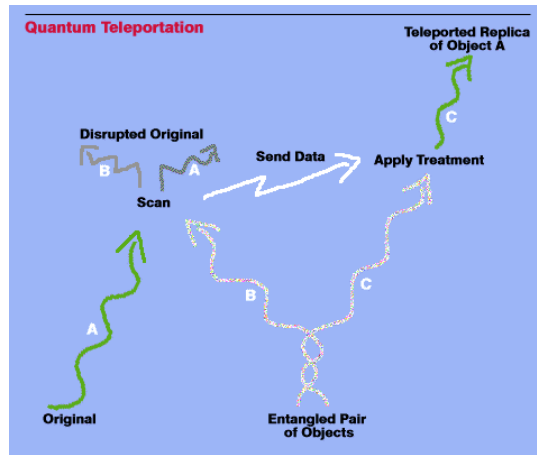
Das ist also wie beim Fax, wo man nicht das Papier übertragen will sondern nur den Inhalt.

Weil kopieren nicht möglich ist, also eine Messung des Quantenzustands ausgeschlossen ist, erfand Bennet 1993 ein Schema der Übertragung ohne den Zustand direkt zu messen. Er mischt ihn zunächst mit einem anderen Zustand (eine Bell Messung) der als Träger funktioniert.

Damit schließt er jede Möglichkeit aus, durch eine Fehlmessung den Zustand zu verändern.

Teleportation ist eine Methode, bei der man den ursprünglichen Zustand in eine klassische Information und einen anderen Quanteninformation aufspaltet, diese durch separate Kanäle überträgt und sie am Ende wieder zusammenfügt um die originale Information wieder zu gewinnen.

Proposal



C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau, R. Jozsa, A. Peres, and W. Wootters,
"Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and EPR Channels",
Phys. Rev. Lett. vol. 70, pp 1895-1899 (1993)

Nun, zunächst mal wollen wir quantenmechanische Information von einem Ort zum anderen übertragen.

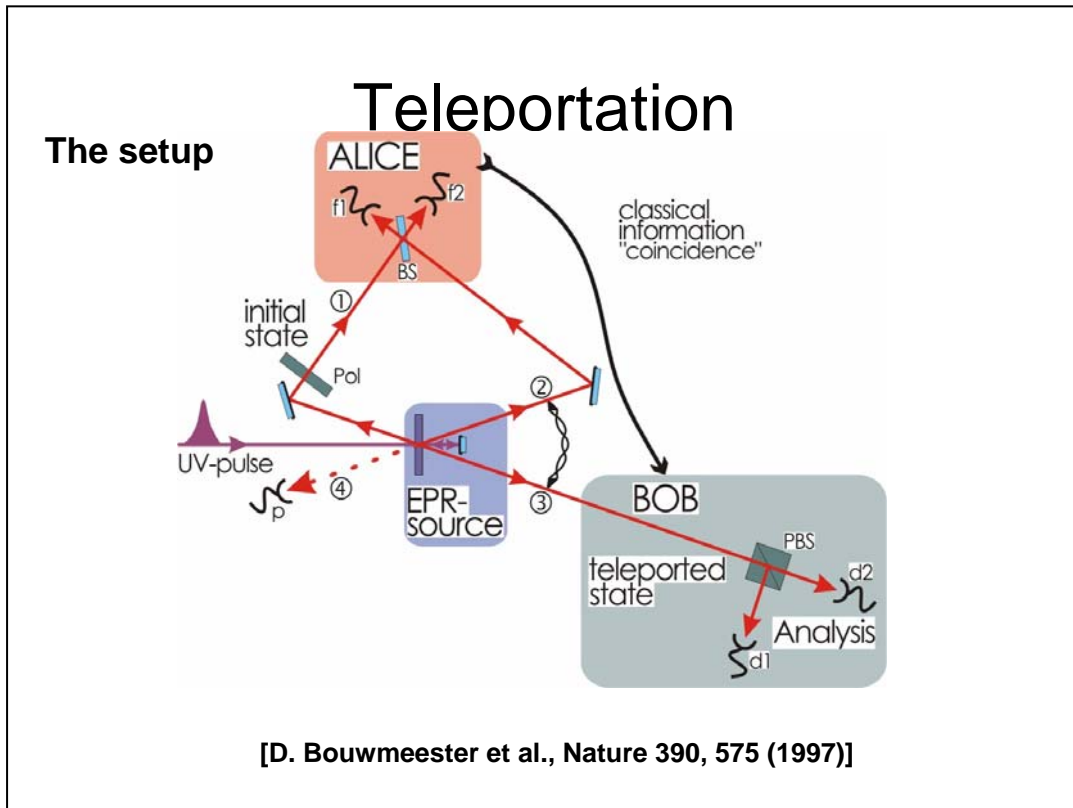
Links unten (A) ist das unbekannte, zu übertragende qubit. Darüber hinaus haben wir noch zwei so genannte verschränkte QuBits (B) und (C), die in Summe eine Information teilen und in unserem Fall zwei Photonen der 2-Photonenquelle sind.

Wir mischen nun A mit B und machen dann eine Messung. Diese Messung zerstört diese Zustände, ohne uns Information über den Zustand (A) zu geben. Damit hat keine Messung stattgefunden. Auch das Photon (C) trägt keine messbare Information über den Zustand (A).

Was also bleibt ist eine klassische Information und ein Qubit aus einer 2-qubit-Quelle. Erst wenn wir diese beide am zweiten Ort mischen, also das qubit (C) entsprechend der klassischen Information (send Data) manipulieren (eine unitäre Operation) erhalten wir wieder (A).

Es lässt sich in wenigen Zeilen quantenmechanisch nachvollziehen, dass nur ein fermionischer Zustand von (A) und (B) einen Koinzidenz klick in den Detektoren A,B erzeugt, während für alle anderen Zustände von A und B diese gemeinsam zu einem Detektor weitergehen, wie am Anfang des Vortrages erwähnt wurde.

Darüber hinaus ist im Fall eines Fermionischen Zustands das Photon (C) ohne weitere Manipulation identisch mit dem Original.



Hier ist nochmal das ursprüngliche Schema aus Innsbruck, mit dem 1996 die Teleportation nachgewiesen wurde. Der UV Puls von links pumpt eine EPR quelle (von Einstein Podolsky Rosen) und erzeugt spontan ein Photonenpaar (2) und (3), beim Rücklauf ein weiteres Photonenpaar (1) und (4) .

Photon (4) wird nicht weiter verwendet, außer um das Experiment zu steuern (z.B. die von Walthersche LOGIK-BOX).

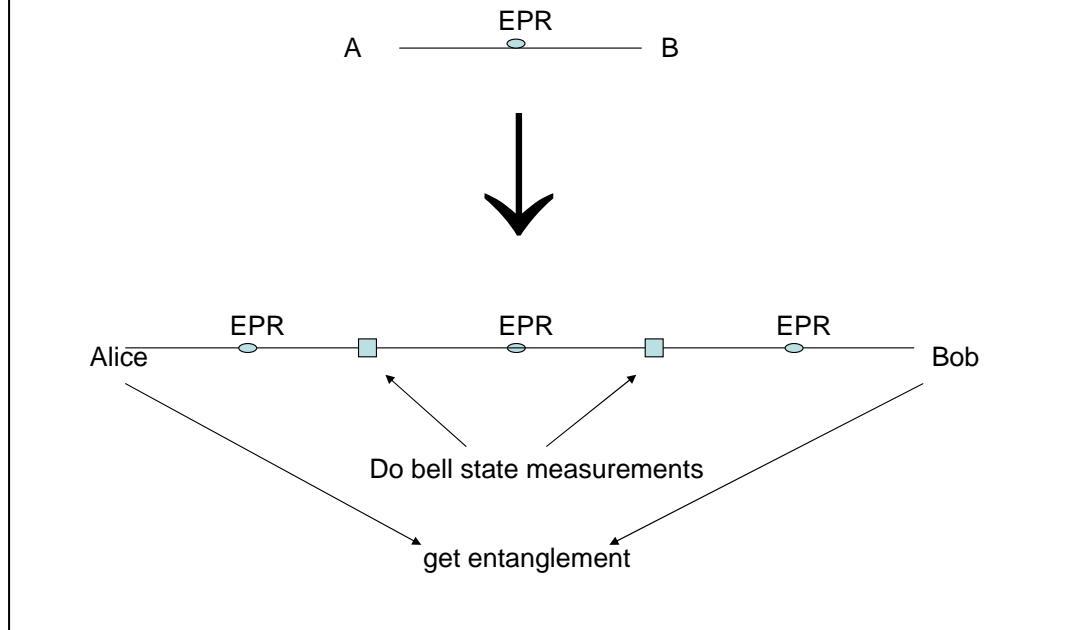
ALICE ist der Sender, der Photon (1) mit Photon (2) mischt und ein klassisches Signal erhält.

BOB ist der Empfänger, der für bestimmte klassische Signale von ALICE (also fermionischer Zustand erhalten) die Messung aktiviert und bei (3) den Zustand nachweist den (1) ursprünglich hatte.

Der Beweis dass es der ursprüngliche Zustand war erfolgt durch eine Analyse von (4).

In Heidelberg haben wir dieses Jahr im wesentlichen dieses Schema verdoppelt, also mit 6 Photonen aufgebaut, um damit 2 Photonen gleichzeitig zu teleportieren. Dafür war ein wesentlich stärkerer UV-Puls notwendig.

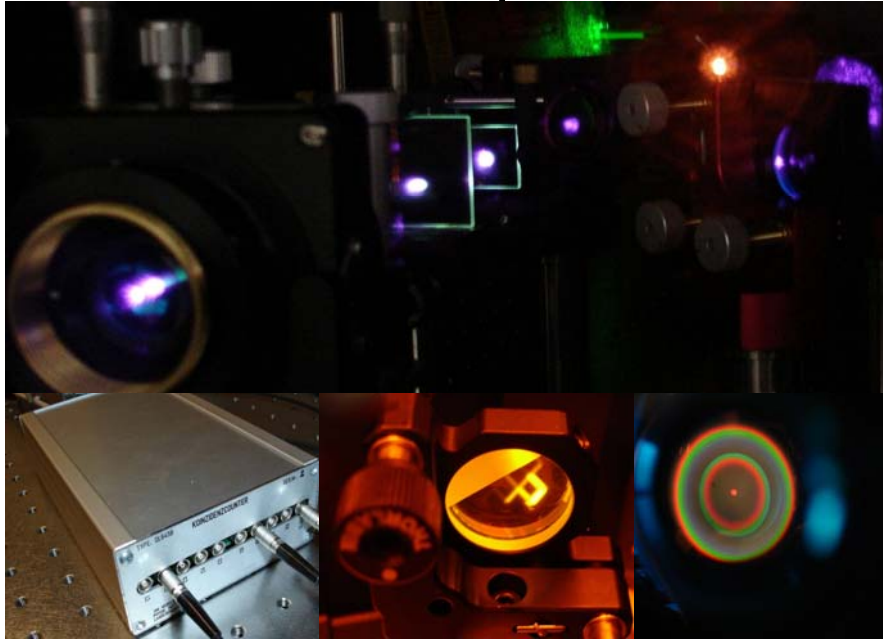
Separation of Entanglement



Eine technische Anwendung von Teleportation ist die Übertragung von Quantenzuständen über weite Strecken. Sie wissen dass man einen Quantenzustand nicht kopieren kann, und damit ist auch die klassische Verstärkung gänzlich ausgeschlossen.

Dazu gibt es das Schema des Quantenrepeaters. Dieser Umweg ist eine wiederholte Teleportation. Dabei wird ein Set von EPR Paaren über eine weite Strecke gleichzeitig bereitgestellt. Auch hier ist ein klassischer Kanal (hier nicht gezeichnet) für eine erfolgreiche Teleportation von (Alice) nach (Bob) notwendig. Er verbindet die einzelnen Bell Messungen und kann z.B. nachträglich die Gültigkeit der Messung bestätigen.

Photon experiments



Ich möchte mit ein paar Eindrücken vom Labor den Vortrag abschließen.

Die Bilder zeigen oben die UV-Quelle für Photonenpaare, die ich hier in Heidelberg mit einer Doktorandin für das Teleportationsexperiment gebaut habe. Links unten ist nochmal die verwendete LOGIK-BOX, die Herr von Walther vorgestellt hat und mit der wir bequem die nunmehr 12 Detektoren auswerten können. Rechts unten sind die Regenbogen von BBO Kristallen zu sehen, die in einer Kwiat-Quelle mit zwei gekreuzten BBO Kristallen zusammengefasst sind.

In der Mitte ein Bild eines Spiegels mit einem UV-Laser aufgenommen.

Photonen, Qubits, Teleportation

- Was ist ein Photon (Messung der Form...)
- Bit versus Qubit (mehr Dimensionen).
- Teleportation (Übertragung von QuBits).



NeXus-Datenformat: Status und Anwendung

SEI-Tagung Herbst 2006

Matthias Drochner

FZ Jülich / ZEL

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.1/14

Was ist das?

- Datenformat für **Neutronen-** und **X-ray-Daten**
- Enthält Meß- und Metadaten
- Ziel: alle für Auswertung benötigten Daten in einem File
- Ziel: Portabilität: Auswertesoftware aus einem Lab kann Messungen aus anderen Labs verarbeiten
- Wunsch: Einheitliches Auswerteprogramm für einen Instrumenttyp, kann Metadaten direkt verwenden
- Minimum: einfacher Zugriff auf Detektordaten für Visualisierung mit Standardtools

Politik

- Von Facilities gewollt und unterstützt (und wenn durch formales Bekenntnis...)
- Z.T. Grundlage für zentrale Archivierung, Datenbanksuche in Metadaten, externen Zugriff
- Einbindung in Proposalsystem
- NIAC: “Advisory Committee”
 - Ein Vertreter pro Facility, stimmberechtigt bei Spezifikation des Formats
 - Treffen ca. halbjährlich, in Verbindung mit anderen Workshops / Konferenzen

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.3/14

Bestandteile

- Datenstruktur: basierend auf HDF5, Detektordaten direkt als HDF5- Arrays gespeichert, Metadaten nutzen HDF5-konforme Strukturen
- Klassen und Instrumentdefinitionen zur Abbildung von Instrumentaufbau, Probandaten etc. auf Metadaten
- API (kapselt HDF5-API)

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.4/14

Grundlage: HDF5

- Datenformat für (wissenschaftliche) Daten (s.a. NetCDF, Zebra...)
- Optimiert für große Datenmengen:
 - effiziente Speicherung, eingebaute Kompression
 - B-Tree-Strukturen
 - interne Pointer und “Heaps” vermeiden Verschieben beim Hinzufügen
 - parallelisierbar
- portable Implementierung
- Komplexes API

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.5/14

HDF5 / HDF4

- Inkompatibel zu HDF4, aber Konversionsprogramme werden mitgeliefert
- HDF4:
 - Limitationen bei Filegröße etc.
 - Spezifische Image-Formate (HDF5 ist allgemeiner)
 - Von Standardsoftware besser unterstützt

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.6/14

HDF5: Datenformat

- Grundelemente: Dataset und Group
- Dataset: Mehrdimensionales Array aus Integer, Float oder Zeichenkette
- Group: Analog zu Verzeichnis in Dateisystem, erlaubt Aufbau von Hierarchie zur logischen Gliederung
- Elemente können Attribute tragen, diese sind Name-Wert-Paare

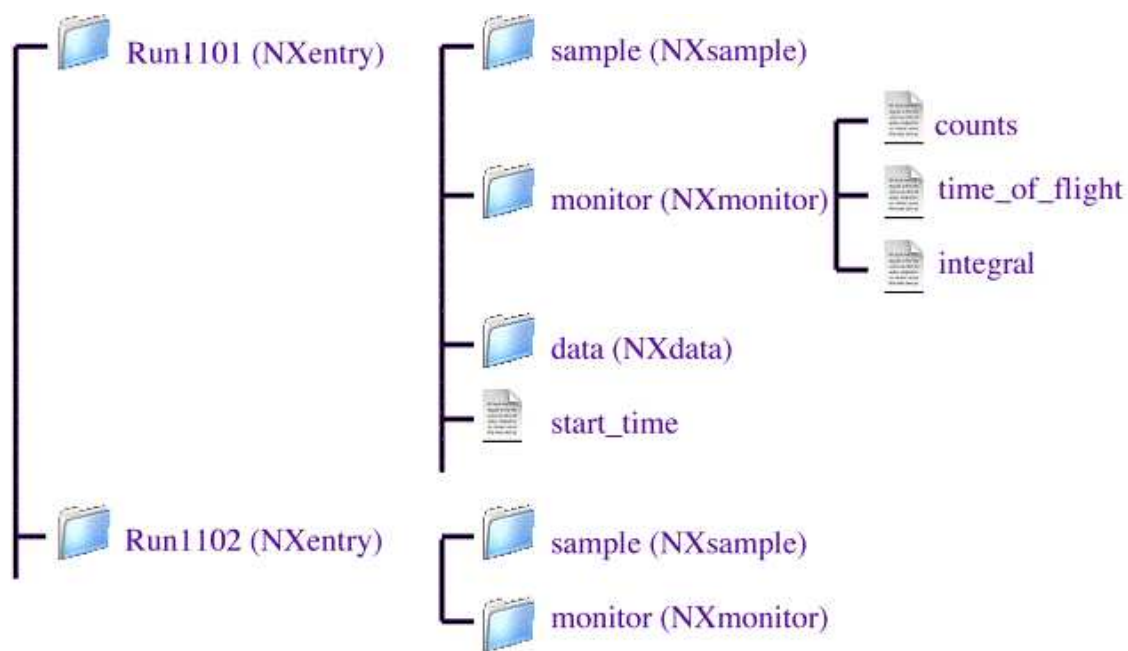
NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.7/14

Mapping von NeXus auf HDF5

- Detektordaten sind Datasets
- Metadaten sind Attribute
- Gruppen strukturieren Instrument, Probe etc.

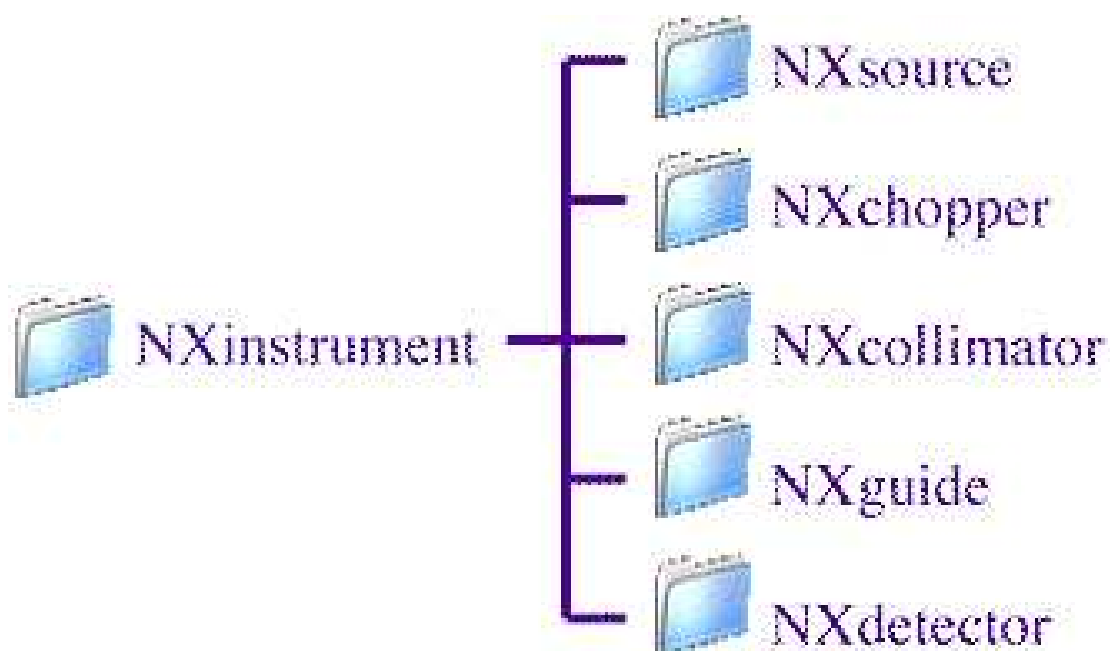
NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.8/14

NeXus-Datenhierarchie



NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.9/14

NeXus: Instrumentbeschreibung



NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.10/14

Beispiele für NeXus-Basisklassen

- Instrument-Bestandteile: NXsource, NXchopper, NXaperture, NXdetektor...
- Geometriebeschreibung: NXtranslation, NXorientation...
- Probe: NXsample
- Detektordaten: NXdata
- Benutzerdaten: NXuser
- Anmerkungen: NXlog, NXnote

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.11/14

NeXus: Instrumentdefinitionen

- Definition der nötigen / erwarteten Basisklassen und der Strukturierung
- Voraussetzung für “automatische” Auswertung unabhängig vom konkreten Instrument
- Nutzen fraglich bei innovativen Erweiterungen
- Standardisierung schwierig — Beitragende kennen nur “ihre” Instrumente
- M.E. sollten Basisklassen so klar definiert sein, daß sich Instrumentbeschreibung selbst ergibt, komplette Beschreibung ist Utopie

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.12/14

NeXus-API u. Programme

- API für C, Fortran, Java u.a.
- HDF5-Programme nutzbar (Java-Browser)
- NeXus-spezifisch: Textbasierter Browser, Konversionsprogramme
- Graphisch mit NeXus-Interface: OpenGenie, IDL

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.13/14

NeXus: Stand der Dinge

- Komplettes Framework in Entwicklung an SNS
- Stückweise implementiert an div. Labs
- Genereller Wunsch: einfache Konversion in “altes” Datenformat
- Evtl. XML als alternatives Speicherformat statt HDF5

NeXus-Datenformat: Status und Anwendung – p.14/14

»System on a Chip« Entwicklung mit Xilinx-FPGAs

Peter Kämmerling, Michael Ramm, Heinz Loevenich,
Willi Erven, Klaus Zwoll, Harald Kleines, Matthias Drochner

- Motivation
- Technologie
- Entwicklungsprozeß
- DAQ in der Hadronenphysik
- Projekte im FZJ mit SoC



Zusammenfassung

SoC-Technologie wird vorgestellt sowie deren Vorteile im DAQ-Umfeld aufgezeigt. Dem komplexen Entwicklungsprozeß bei der SoC-Technologie wird besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Drei DAQ-Projekte des ZEL im FZJ in der Hadronenphysik mit SoC werden dargestellt.

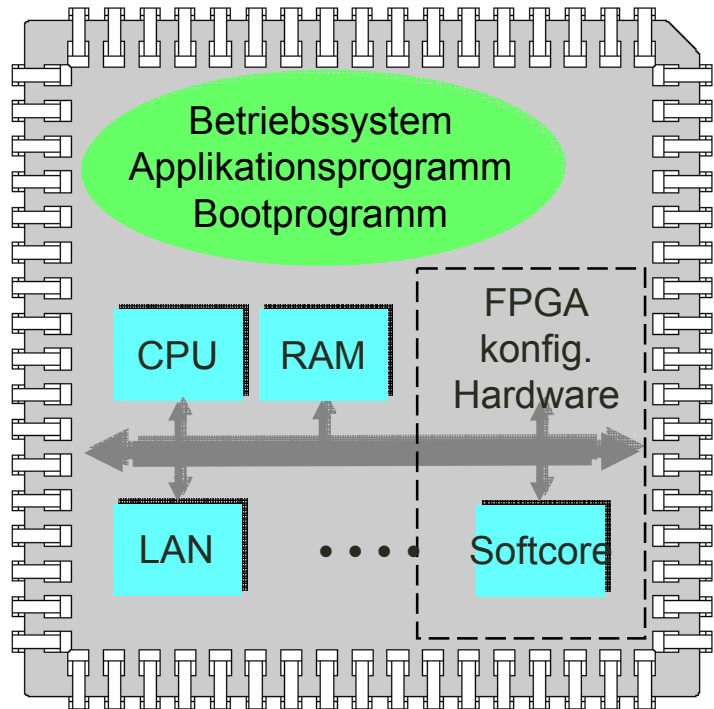


Warum »System on a Chip«?

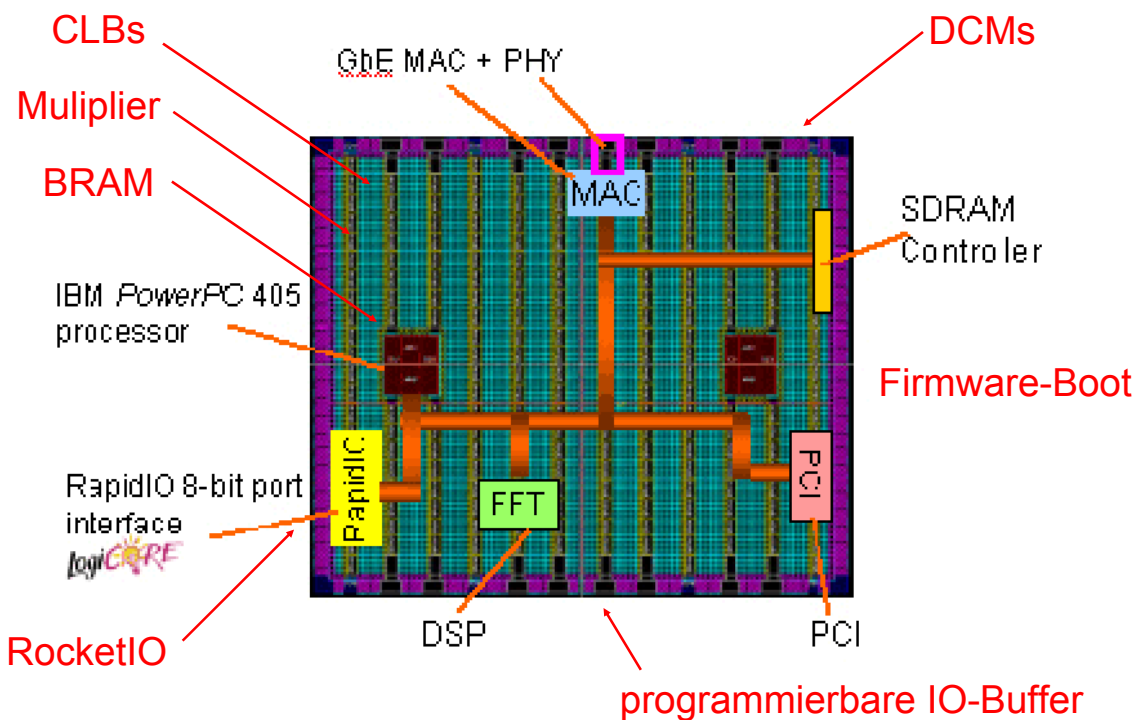
- SoC: Integration von Rechnersystem + Applikation in einem Chip
- Typische Realisierung: Komplexer FPGA mit integriertem Prozessor
- Applikationsspezifische Hardware als Softcores



- Hohe Integrationsdichte
- Reduktion von Layoutproblemen (GHz)
- Flexibilität => höhere Stückzahlen von PCBs



FPGA inkl. Prozessor



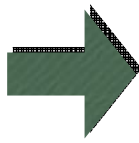
Aktuelle Entwicklungen mit SoC im ZEL

Anforderungen anspruchsvoller Experimentsysteme
Latenz, Durchsatz, Zeitauflösung, Kanalzahl



Technologische Innovationen

Höchste Anforderungen: DAQ für Hadronenphysik



- Projekt 1: Crate Controller für DAQ
- Projekt 2: Vorlaufentwicklung für RapidIO
- Projekt 3: BMBF Projekt 3D-Retiseq



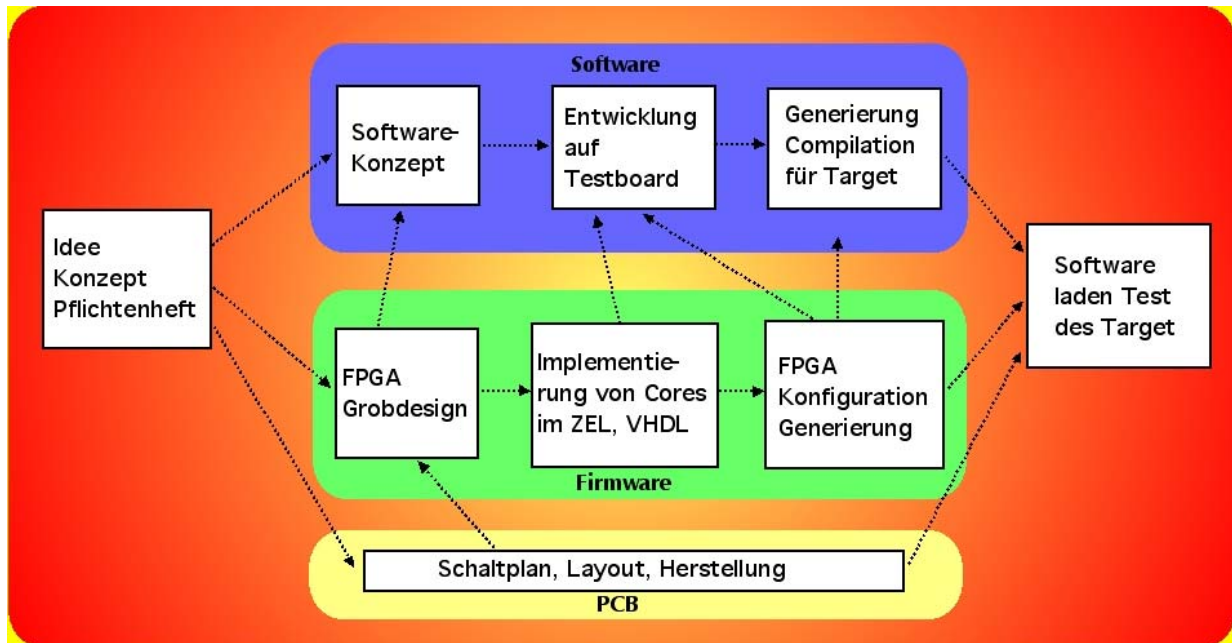
Xilinx Virtex Familien V-II Pro V4 V5

- Xilinx-FPGAs Standard im ZEL
- ein bis vier PPC-CPU's als Hardcores
 - => Standardbetriebssystem wie Linux möglich
 - basiert auf IBM CoreConnect-Architektur
- weitere Hardcores
 - bis zu 20 MGTS Multi-Gigabit-Transceiver inkl. SerDes
 - 2 oder 4 MAC-Layer
 - Integer-ALUs für DSP-Funktionen
 - internes RAM
- Highend-FPGA / Softcores
 - bis zu 330T Logic Cells ~ ca 9M Gatter-Äquivalente
 - Integration eines kompletten rekonfigurierbaren embedded Rechnersystems mit Hilfe von Hard- und Softcores, Bussen
 - Integration zusätzlicher eigener Softcores

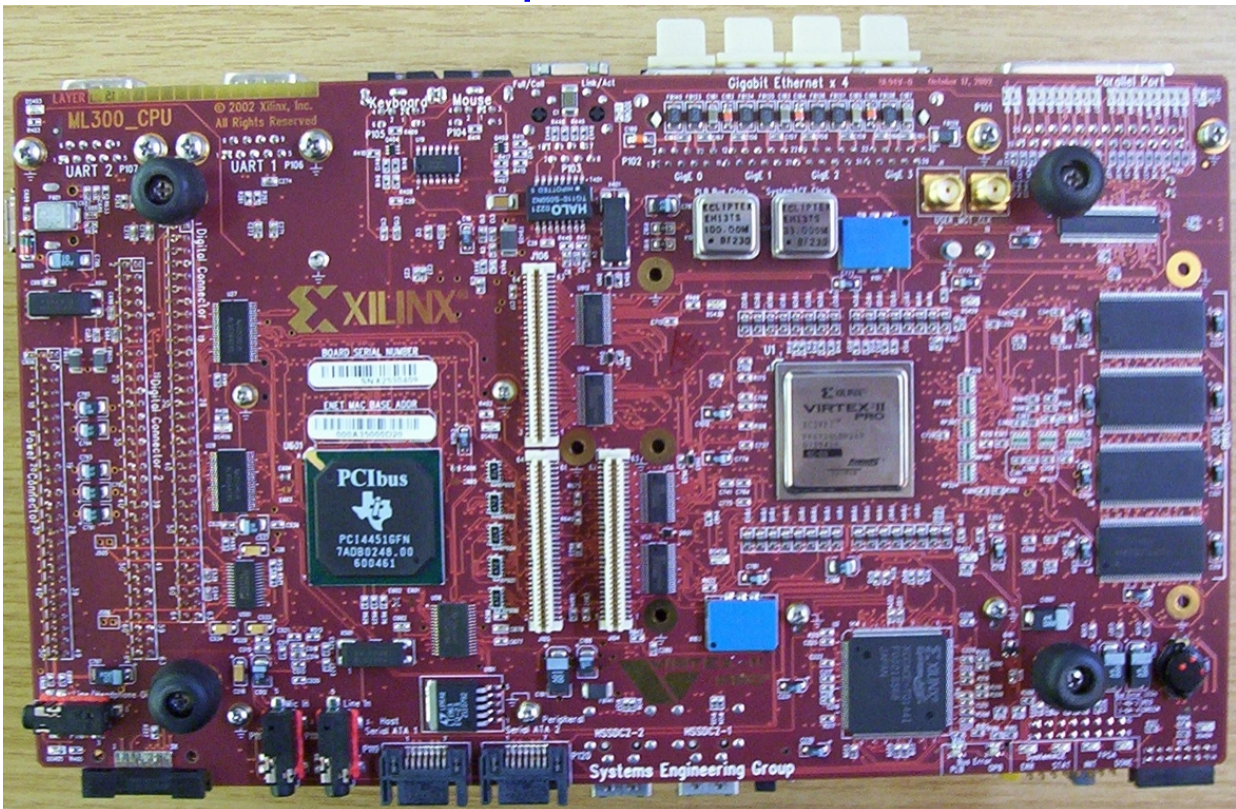


SoC-Designprozeß Übersicht

- arbeitsteilige Organisation
- intensive Kommunikation an Schnittstellen
- fachübergreifende Kompetenz

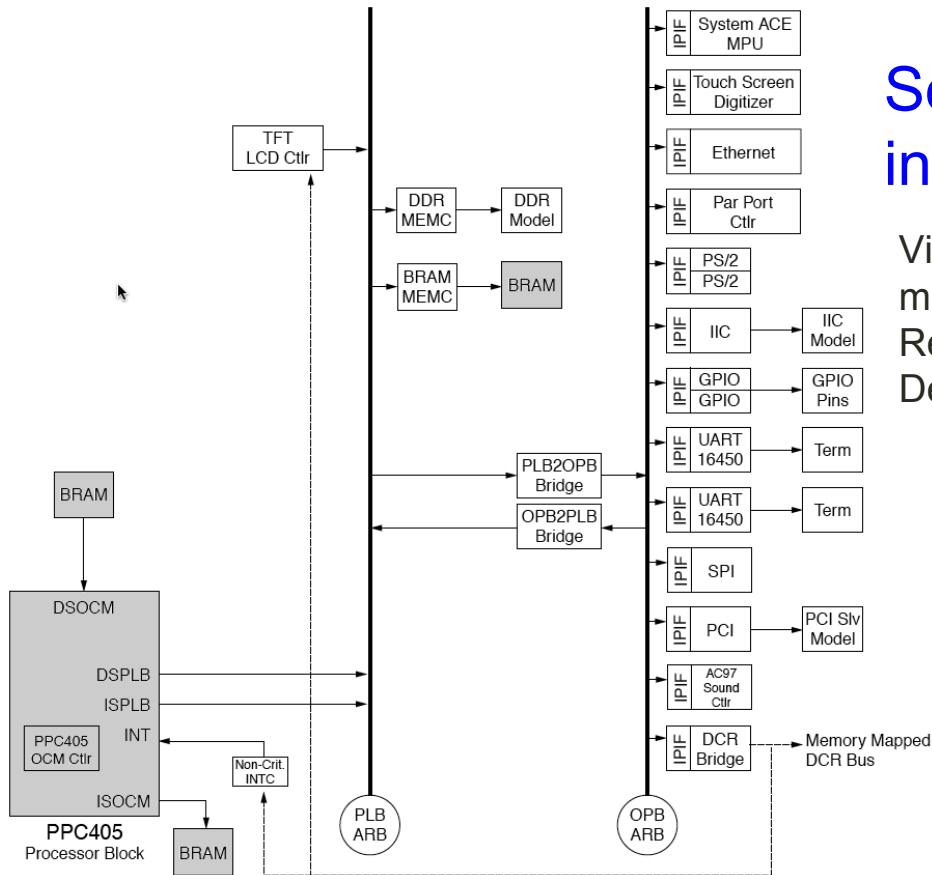


Evaluationplattform Xilinx ml300



SoC intern

Virtex-II Pro
mI300
Reference
Design

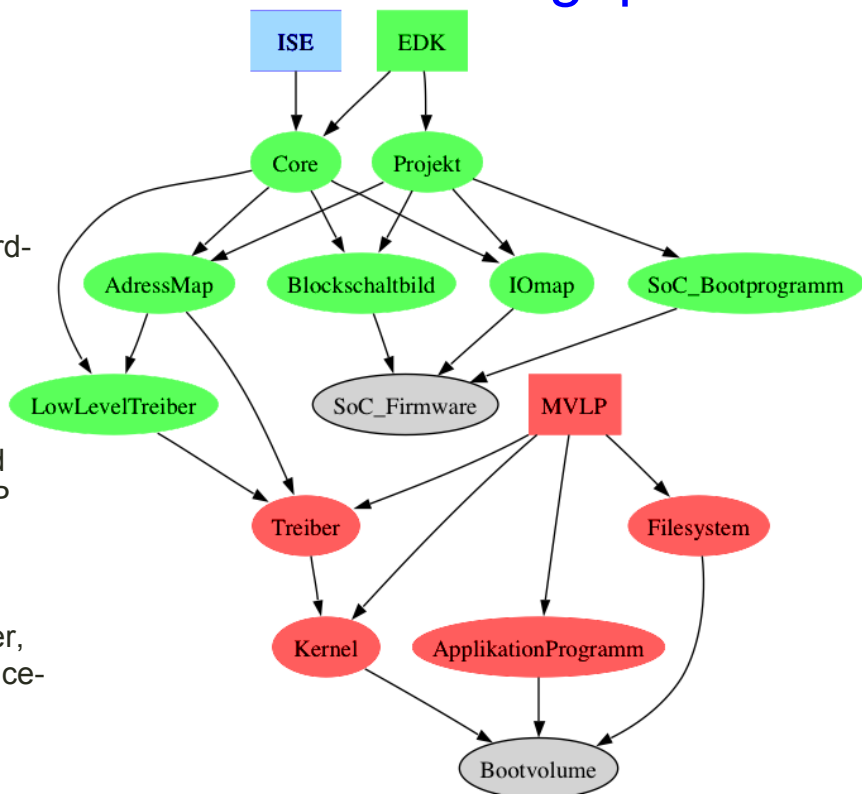


SoC Software-Hardware-Designprozeß

•EDK: integrierte Hard- und Softwareentwicklung der Firmware

•EDK generiert LowLevelTreiber und Adressmap für MVLP (Monta Vista Linux Professional)

•MVLP besitzt Treiber, die auf EDK-Reference-Designs abgestimmt sind



FPGA-Entwicklung

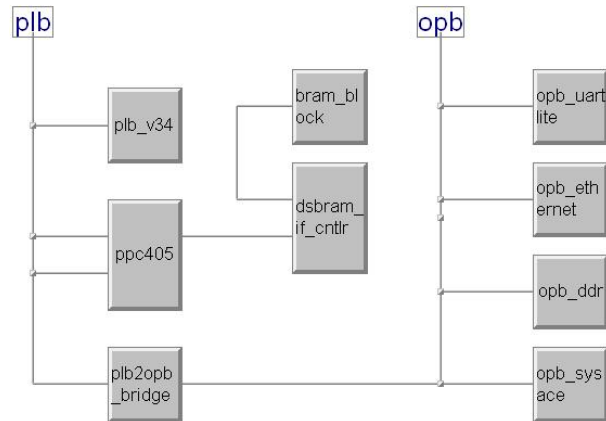
Hardwareprogrammierung:
Peripherie und Coprozessoren an internen Prozessorbussen

- Coreentwicklung in VHDL, Verilog (durch FPGA-Gruppe / CAE und Andere im ZEL, mit ISE, VHDL Advantage)

- Integration in Bus-kompatible Cores
- SoC-Design mit Blockschaltbildern und Konfigurationstabellen
- mit EDK

```
entity John is
  Port ( clk : in std_logic;
        rst : in std_logic;
        ft : out std_logic_vector(1 downto 0));
end John;

architecture Behavioral of John is
  signal tmp: std_logic_vector (2 downto 0);
begin
  p1: process(clk,rst)
  begin
    if rst='1' then
      tmp <= "000";
      ft <= "11";
    elsif rising_edge(clk) then
      case tmp is
        when "000"=> tmp <= "001";
        when "001"=> tmp <= "011";
        when "010"=> tmp <= "101";
        when "011"=> tmp <= "111";
        when "100"=> tmp <= "000";
        when "101"=> tmp <= "010";
        when "110"=> tmp <= "100";
        when "111"=> tmp <= "110";
      end case;
      ft <= tmp;
    end if;
  end process;
end Behavioral;
```



SoC Betriebssystem-Entwicklung

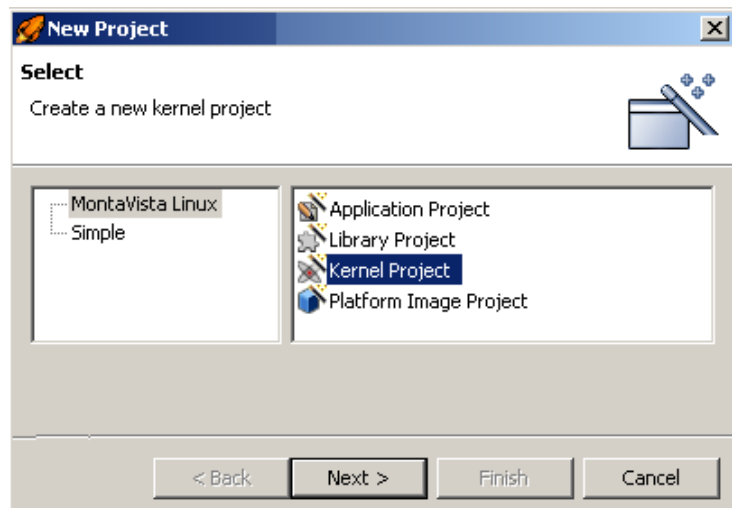
Montavista Linux Professional 3.1 & 4.0

- Cross-Entwicklungsumgebung für **embedded** Linux
- alternativer realtime-scheduler
- linux-support-packages für ML300 (3.1) & ML40x (4.0) inkl. Treiber-Sourcen
- unterstützt netboot des Kernel, netmounting des rootfilesystems, dhcp

```
/* linux/kernel/info.c */
/* sysinfo() system call */

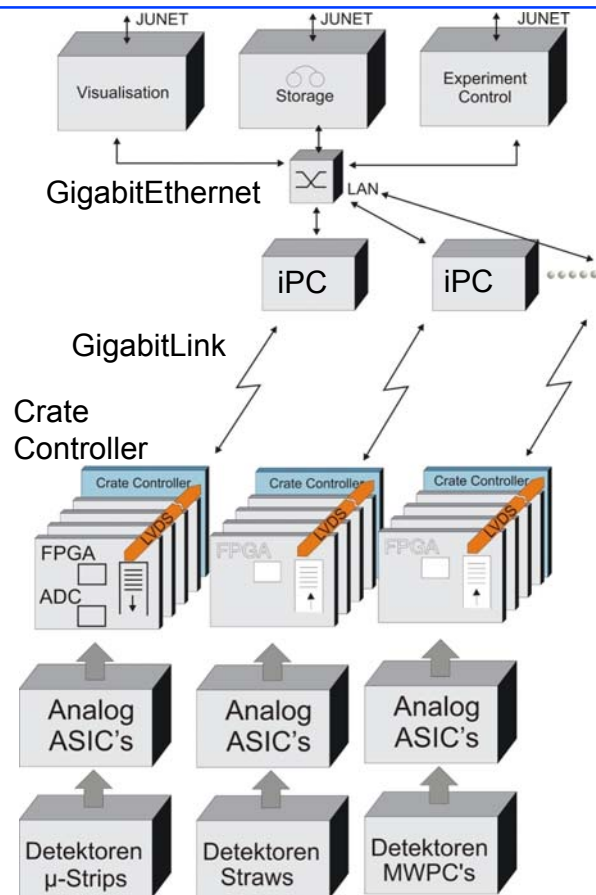
#include <linux/swap.h>
#include <linux/smp_lock.h>
#include <asm/uaccess.h>

asmlinkage long sys_sysinfo(struct sysinfo *info)
{
  struct sysinfo val;
  memset((char *)&val, 0, sizeof(struct sysinfo));
  cli();
  val.uptime = jiffies / HZ;
  val.loads[0] = avenrun[0] << (SI_LOAD_SHIFT);
```

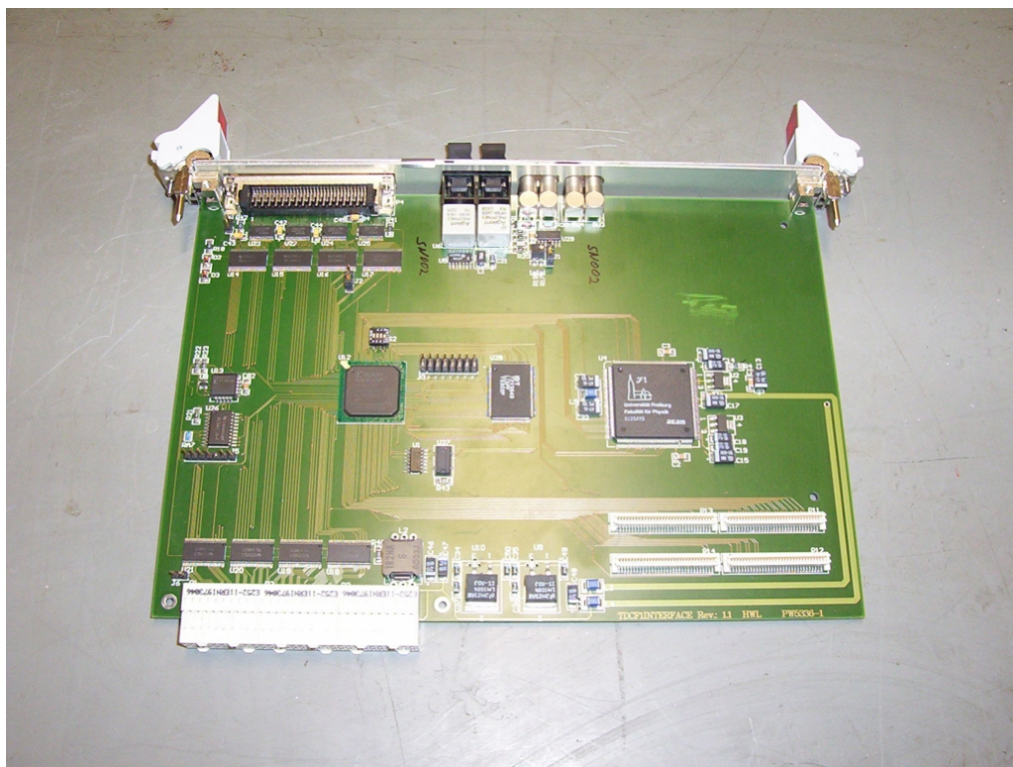


3. Generation DAQ an COSY

- EMS-Server auf diskless Industrie-PCs (iPC)
- Auslesen durch proprietären optischen GigabitLink (Koop. Fa.SIS)
- Crate Controller (Arbitrierung, Readout und Synchronisation) ohne CPU auf Basis von Xilinx Spartan FPGA
- Optimierter LVDS-Bus für Data Aquisition Module



Bisheriges Crate Controller-Board



Projekt 1: Optimiertes Konzept - EMS-Server auf Crate Controller

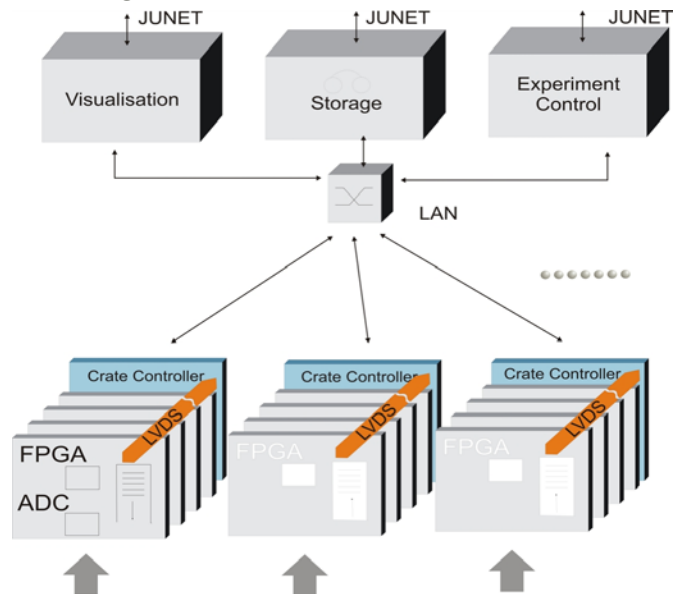


Intelligenz auf dem Crate Controller notwendig
Gigabit-Ethernet notwendig

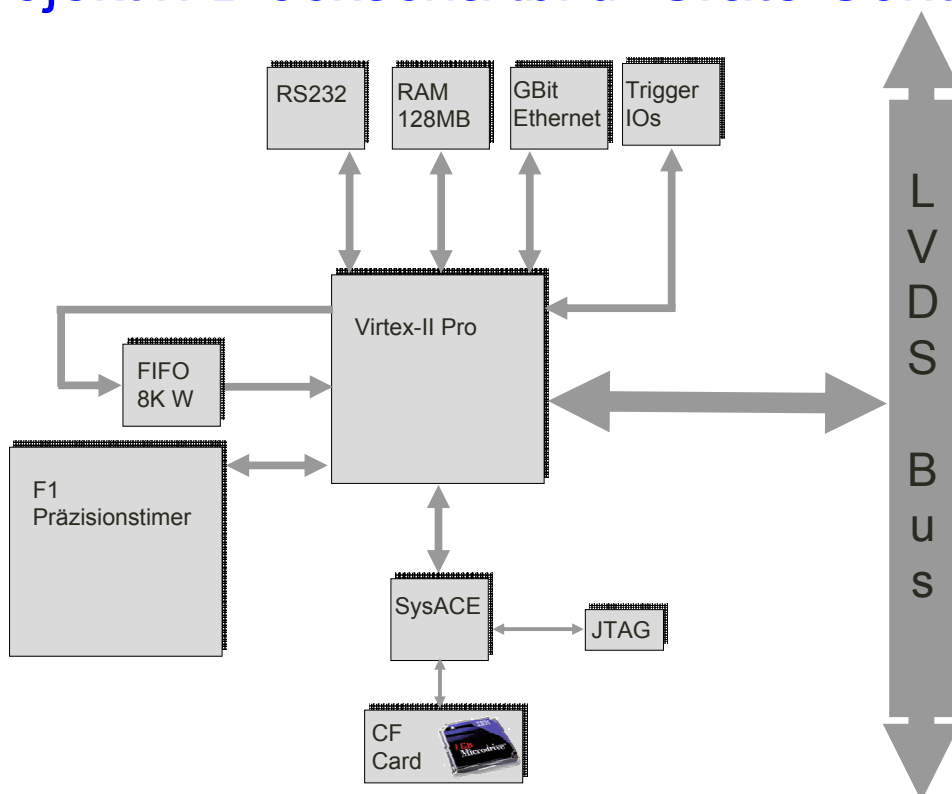


SoC

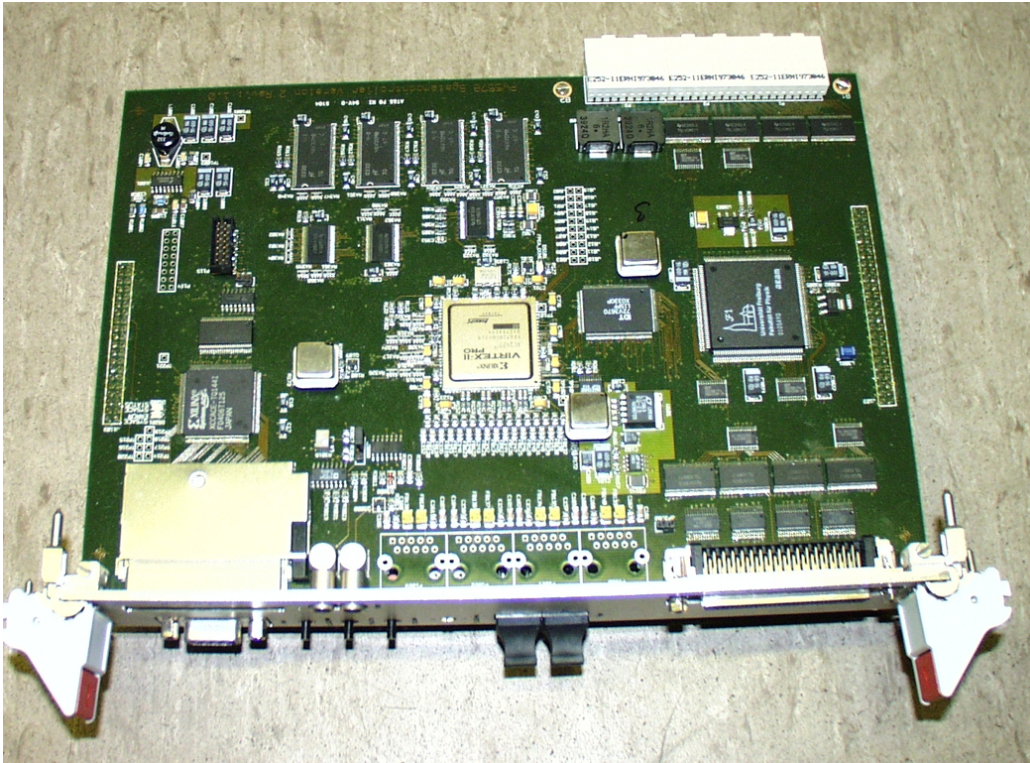
- Kompatibel zur bisherigen Lösung
- Reduktion von Komplexität und Kosten
- Ankoppelung per Switch: Performance, Flexibilität



Projekt1: Blockschaltbild Crate Controller

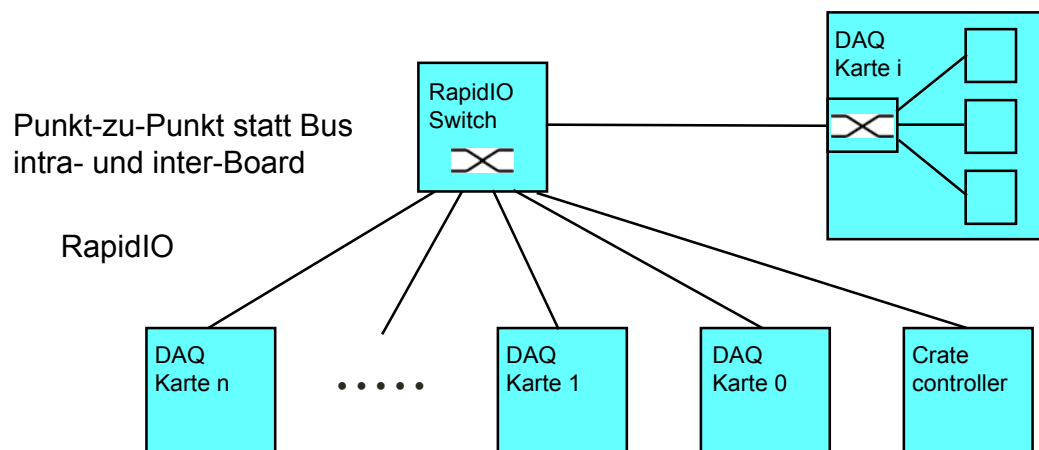


Neues Crate Controller Board

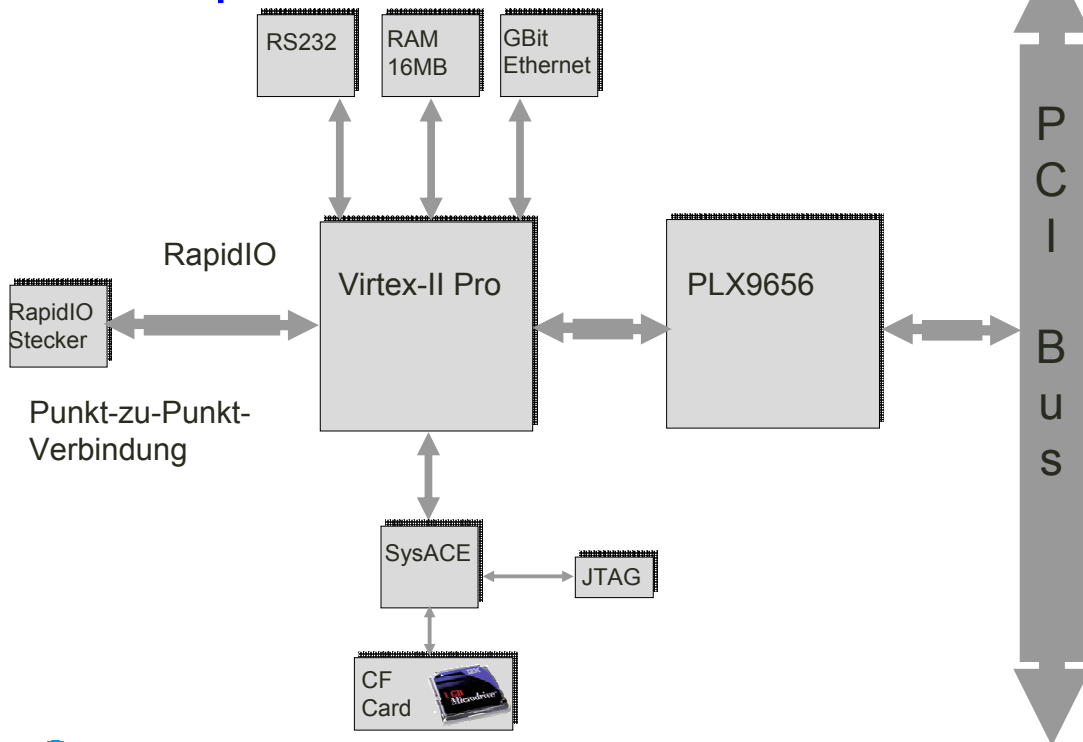


Projekt 2: RapidIO

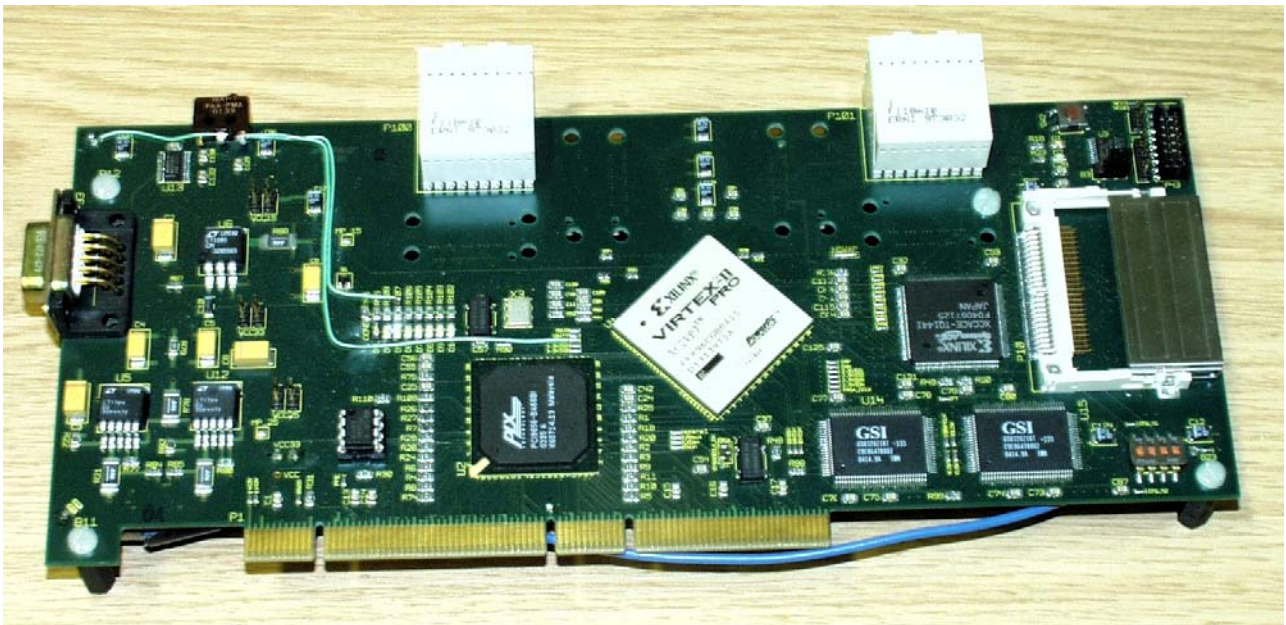
- In enger Zusammenarbeit mit der FPGA-Gruppe
- switched-Backplane kann LVDS-passive-Backplane ablösen
- leistet 500MByte/sec Punkt-zu-Punkt statt 80..160MByte/sec im LVDS-Bus
- 8Bit-RapidIO-Core integrierbar in FPGA, direkt an FPGA-Pins anschließbar
- nur 20 Leitungen, auch Flachbahnkabel sowie Hub- oder Ring möglich



Projekt 2: Blockschaltbild Evaluationboard PCI-RapidIO



RapidIO Board



SoC im ZEL – Status und Ausblick

- FPGA-Designphase, Prototypen des SoC-Designs, Prototypen des Betriebssystems
- In ferner Zukunft mit Virtex 5
- Herausforderung an die Entwicklungskoordination im ZEL



Literatur

1. K.Zwoll, M.Drochner, W.Erven, et.al. »Flexible Data Acquisition System for Experiments at Cosy« IEEE Trans.Nucl.Sci. Vol.41 No.1 pp 37-44 1994
2. M.Drochner »Aufbau eines flexiblen Datenaufnahmesystems für das GEM-Experiment am Jülicher Beschleuniger COSY und Messungen der Reaktion pp nahe der Produktionsschwelle« Diss. TU Dresden, Jülich 1995
3. P.Wüstner »Die Produktion des η -Mesons am Jülicher Beschleuniger COSY und Entwicklung eines optimierten Datenaufnahmesystems« Diss. Ruhr-Uni Bochum, Jülich Bochum 1998
4. M.Drochner, W.Erven, P.Wüstner, K.Zwoll »The Second Generation of DAQ-Systems at COSY« IEEE Trans. Nucl. Sci. Volume 45 8/1998 pp1882 - 1888
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/FPGA>
6. W.Erven, K.Zwoll »80Mbytes BUS – Berichte zum Datenerfassungssystem für physikalische Experimente« fzj zel Jülich 16.6.2003
7. P.Wüstner, A.Ackens, U.Clemens et.al. »System Development for COSY Experiments« RealTime 2003, Montreal
8. W.Erven, A.Ackens, H.Loevenich, G.Kemmerling, K.Zwoll »TOF Auslesesystem mit dem TDC-F1 – Berichte zum Datenerfassungssystem für physikalische Experimente« fzj zel Jülich 4.3.2005
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/System-on-a-chip>
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system
11. http://en.wikipedia.org/wiki/Application-specific_integrated_circuit
12. »High Performance Multi-Port Memory Controller« Xilinx Application Note XAPP535 (v1.1) 10.10.2004 <http://www.xilinx.com/bvdocs/appnotes/xapp535.pdf>
13. Xilinx Systems Engineering Group »Gigabit System Reference Design« XAPP536 (v1.1) 3.6.2004 <http://www.xilinx.com/bvdocs/appnotes/xapp536.pdf>
14. <http://www.netperf.org/>
15. http://www.xilinx.com/esp/wired/optical/xlnx_net/gsr.htm
16. RT2006, Stockholm: Papers of H.Kleines, M.Drochner, P.Wüstner, P.Kämmerling



Probleme von Power-Endstufen auf Satelliten

Gerd F. Nowack Heinz G. Göckler, Abdel-Messiah Khilla*

Digital Signal Processing Group
Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150
D-44780 Bochum, Germany

*Tesat-Spacecom GmbH & CO. KG, D-71501 Backnang, Germany

Teil 1: Erläuterung zu den Einzelfolien aus der Power/Point- Präsentation

Teil 2: Folien der Power/Point- Präsentation

Zu Teil 1: Folie 1, 2, 3: Thema, Verfasser, Agenda, Hinführung zum Thema

Folie 4: Prinzipieller Aufbau der Wandelfeldröhre für Hochleistungsstufen auf Satelliten:

Funktion der Wandelfeldröhre: Elektronen aus einer qualifizierten Elektronenquelle fliegen durch eine Helix, mit deren Hilfe die Geschwindigkeit eines Hochfrequenzfeldes bis nahe an die Geschwindigkeit der Elektronen reduziert wird. Durch die Einwirkung des Feldes wird die Dichte der Elektronen längs ihres Weges moduliert. Dazu werden einerseits Elektronen beschleunigt andererseits gebremst. Da gebremste Elektronen langsamer als beschleunigte sind, stehen die langsameren eine längere Zeit unter dem Einfluss des Feldes als die beschleunigten. Im Resultat wird die mittlere Geschwindigkeit (gegenüber einem unmodulierten Betrieb) reduziert, d.h. der Energieverlust der Elektronen geht als Energiegewinn auf das elektromagnetische Feld über. Die HF-Ausgangs-Leistung ist ca. 1000-mal größer als die HF-Eingangs-Leistung, ohne dass das Rauschen wesentlich vergrößert wird. Hoher Wirkungsgrad und relativ große Bandbreite sichern der Wanderfeldröhre eine Monopolstellung bei Nachrichtensatelliten.

Folie 5: In der Entwicklung der Wanderfeldröhre geht es um Gewichts- und Verlustleistungsreduktion. Die Gewichtsreduktion erspart Kosten in Höhe von 55000€/kg Startgewicht; die Reduktion des Leistungsbedarfs erspart 5500€/W. In einem Beispiel werden die Gesamtersparnisse berechnet. In den letzten 30 Jahren konnte der Wirkungsgrad von 35% auf 70% verdoppelt werden. Die Gewichtsreduktion fällt wesentlich geringer aus. Aufgrund des neuen Prinzips der digitalen Vorverzerrung wird sich das Gewicht geringfügig erhöhen, und eine zusätzliche Verlustleistung für die schnellen, digitalen Schaltkreise erforderlich sein.

Folie 6: Dargestellt sind die Messwerte der Übertragungskennlinie einer (einzelnen) Wanderfeldröhre. Die Ausgangsleistung (gemessen wird nur der Grundwellenanteil) steigt zunächst linear an, bis sie einen Sättigungswert (als Maximum) erreicht. Daraus ergibt sich die maximal sinnvolle Eingangsleistung. Im unteren Bild ist der Phasenverlauf wiedergegeben.

Folie 7: Da die Oberwellen ausgefiltert werden, zeigt sich die Nichtlinearität in der auftretenden Intermodulation. Gemessen wird die Intermodulation dritter Ordnung.

Folie 8: Hier erkennt man die durch Nichtlinearität bedingte simulierte Spektrerverbreiterung. Spektrum des Eingangssignals ist das Rechteckspektrum in der Mitte. Das normierte Ausgangsspektrum ist im mittleren Nutzspektralbereich nicht mehr konstant. Zusätzlich entstehen Nebenspektren (sog. Grow-ups). Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass es sich um ein Betragsspektrum handelt. (Den angegebenen Verlauf kann man so nicht messen.)

Folie 9: Hier werden Alternativen zur Vorverzerrung diskutiert. Bei der Über-alles-Gegenkopplung ist allerdings mit lauffzeitbedingten Instabilitäten zu rechnen. Bei der Feedforward-Kompensation ist hinter der Wanderfeldröhre eine Leistungsaddition erforderlich.

Folie 10, 11: Prinzip der Vorverzerrung. Die Vor- und Nachteile der analogen bzw. digitalen Vorverzerrung werden gegenüber gestellt.

Folie 12, 13, 14: In einem Blockschaltbild wird der Gesamtaufbau dargestellt. Für die Fehlerkompensation werden die beiden Datenwörter aus der 2-spaltigen Look-up-table (LUT) in analoge Größen zurückgewandelt und über Konverter an den Amplituden- und Phasensteller

weitergeleitet. (Mit der Verzögerungsleitung wird die Synchronisierung erreicht.) Zur Bestimmung der Größe der aufmodulierten Eingangsleistung dienen Richtkoppler und Demodulator. Über einen Trennverstärker und ADC wird die Adresse der LUT bestimmt.

Folien 15, 16, 17: Nicht nur die Wanderfeldröhre ist nichtlinear, sondern (im wesentlich kleineren Ausmaß) Detektor, Abschwächer und Phasensteller.

Folie 18: Das Simulink Modell des Vorverzerrers zeigt im mittleren Zweig die Adressenbestimmung der beiden LUT's, aus deren Werten dann die Ansteuerungssignale für den Abschwächer (attenuator) und Phasensteller (phase shifter) gebildet werden. Am Eingang befindet sich die Umwandlung des komplexen Signals in Betrag und Phase (Polarkoordinatendarstellung) und am Ausgang die entsprechende Rückwandlung.

(Folie 19: Wiederholung des Blockschaltbildes aus Folie 12)

Folie 20: Die Simulink Modelle der notwendigen Amplitudenabschwächung und Phasenverschiebung: Die Korrekturwerte stehen auf den LUT's und werden durch DAC's zurückgewandelt.

Folien 21, 22, 23: Die Berechnung der notwendigen Datenwerte der beiden LUT's: Dabei zeigt Folie 21 in algebraischer Form das Ausgangssignal. Ursprüngliche und kompensierende Nichtlinearitäten wirken zusammen. (Die verwendeten Symbole bedeuten: NLA - Nichtlinearität der Amplitude, NLP - Nichtlinearität der Phase. Die Indizes bedeuten: TWT - Travelling wave tube (= Wanderfeldröhre), PD - Predistorter (= Vorverzerrer).) Die Linearisierung gelingt perfekt, wenn die in Folie 22 angegebenen Bedingungen erfüllt sind. In Folie 23 werden die Formeln zur Bestimmung der Zahlenwerte der beiden Tabellen (LUT's) angegeben. Die Doppelsternchen bedeuten, dass in den Formeln auch die Nichtlinearitäten des Detektors und des Phasenschiebers berücksichtigt wurden.

Folie 24: Hier wird in graphischer Form der Wertehalt der Korrekturtabellen für Amplitude und Phase angegeben. Man erkennt, dass bei kleinen Eingangsleistungen die Dämpfung groß und die Phasenschiebung klein sein muss. Die dadurch bewirkte Linearisierung zeigt Folie 25.

Folie 25: Die beiden Abbildungen zeigen zum einen die ursprünglichen Nichtlinearitäten der Amplitude und Phase der Wanderfeldröhre. Als Zielfunktion der Linearisierung kommt nicht etwa die Kleinsignaltangente infrage, sondern die Verbindungsgerade vom Ursprung bis zum Sättigungspunkt (Max. Ausgangsleistung) der Kennlinie. Die dort eingezeichnete Gerade ist allerdings nicht die ideale Zielfunktion sondern die reale (simulierte) Übertragungskennlinie nach der Linearisierung.

Das gleiche gilt auch für die Phase. Die Phasen-Nichtlinearität wird auf den idealen Wert Null hin korrigiert. Die verbleibende Nichtlinearität kann man deutlich an den Abweichungen von Null erkennen. Dass die Korrektur nicht ideal sein kann, liegt daran, dass es sich einerseits um 8-Bit Wandler handelt (Quantisierungsrauschen!) und andererseits die Wortbreite der LUT's ebenfalls (nur) 8 Bit beträgt.

Folie 26: Wegen der endlichen Auflösung von Wandler und Speicher verbleibt eine geringe Nichtlinearität. Auf der x-Achse ist die Differenzleistung (Power Back-off) zwischen der tatsächlichen Eingangsleistung und der Eingangssättigungsleistung aufgetragen. Auf der y-Achse ist das Verhältnis von Ausgangsleistung des Trägersignals zur Leistung der dritten Intermodulationsfrequenz sowohl ohne Vorverzerrung (untere Kurve) als auch mit Vorverzerrung (obere Kurve) eingezeichnet. An der unteren Kurve erkennt man, dass die Intermodulationsstärke abnimmt, wenn die Eingangsleistung zurückgenommen wird. Der Abstand der oberen Kurve zeigt die praktisch erreichbare Verbesserung. Im Mittel beträgt sie etwa 30 dB bei einer Abtastfrequenz von 1 GHz. (Der stochastische Verlauf der oberen Kennlinie ist im Einzelnen noch nicht geklärt worden.)

Folien 27, 28: Zusammenfassung und Ausblick

Es folgt **Teil 2:** Folien der Power/Point- Präsentation

Probleme von Power-Endstufen auf Satelliten

Gerd F. Nowack

Heinz G. Göckler, Abdel-Messiah Khilla*

Digital Signal Processing Group

Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150

D-44780 Bochum, Germany

*Tesat-Spacecom GmbH & CO. KG, D-71501 Backnang, Germany

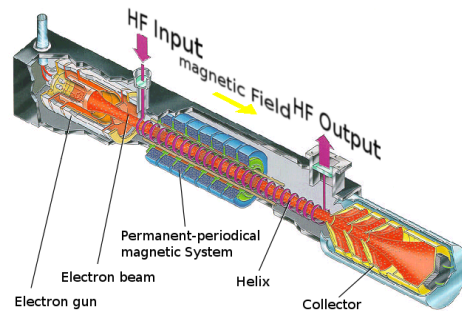
Überblick

1. Einleitung: Wirkungsgrad, Nichtlinearität
2. Linearisierung durch Vorverzerrung
3. Modellierung der Komponenten
4. Simulation des Übertragungsverhaltens
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung

1. Einleitung

- Hoher Wirkungsgrad
 - Hohe Batterie Lebensdauer
 - Geringe Verlustleistung
 - Einfache Temperaturüberwachung
 - **Geringe Linearität**
- Hohe Linearität
 - Vorverzerrung: Anwendung digitaler Methoden
 - **Hohe spektrale Reinheit, störfreie Nachbarkanäle**

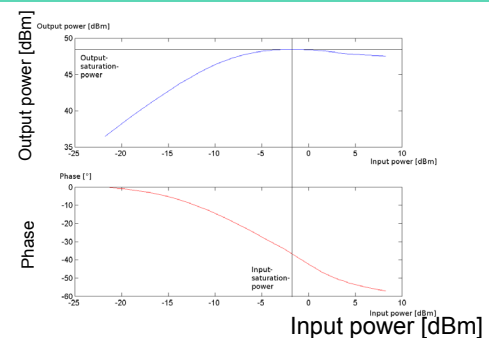
Prinzipieller Aufbau einer Wanderfeldröhre (TWT)



State-of-the-art: TWT-HPA

- Hoher Wirkungsgrad von TWT-HPA für die Satellitenkommunikation
- **Zusätzlich:** Geringes Startgewicht
- **State-of-the-art**
 - 5.5 k€/W-Verlustleistung an Bord und 55 k€/kg- Startgewicht
- **Beispiel:** Ein typischer Satellit
 - 40 TWTs mit 100 W RF Ausgangsleistung
 - Kostenreduktion für Leistungsbedarf, wenn der Wirkungsgrad 1% verbessert wird: $40 \cdot 2.0 \text{ W} \cdot 5.5 \text{ k€/W} = 440 \text{ k€}$
 - Kostenreduktion für den Start bei einer Gewichtsreduzierung von 100 g/TWT: $40 \cdot 100 \text{ g} \cdot 55 \text{ k€/kg} = 220 \text{ k€}$
- In den letzten 30 Jahren
 - Verbesserung des Wirkungsgrades von 35 auf 70%
 - Gewichtsreduktion um 10%

Nichtlinearität der Wanderfeldröhre (TWT-PA)



Aussteuerung bis zur Sättigung

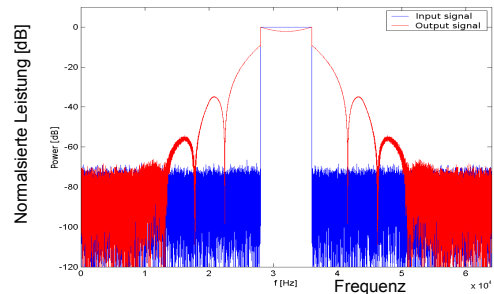
- Hoher Wirkungsgrad
- Große Verzerrung durch Nichtlinearität
- **Oberwellen** (Vielfache der Grundwelle):
Aber: Geringe Störfrequenzen wegen des Bandpasscharakters der TWT
- **Intermodulationen** durch Nichtlinearität (IM3)



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 7
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Simulation der Spektrerverbreiterung durch Nichtlinearität

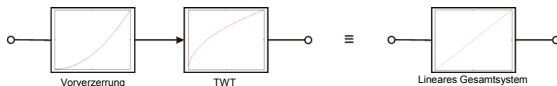


RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 8
SEI Herbst 2006, Heidelberg

2. Linearisierung durch Vorverzerrung (und Alternativen)

- **Prinzip der Gegenkopplung**
Rückführung eines Teils der Ausgangsleistung
Notwendig: Invertierender Eingang, hohe Ringverstärkung, ausreichende Phasenreserve (mindestens 63°) für Stabilität und optimalen Frequenzgang
Aber: Laufzeiten bei den hohen Frequenzen zu hoch
- **Feedforward Kompensation**
 - Addition eines geeigneten Signals zum Ausgangssignal für die Linearisierung
 - Leistungsaddition im Ausgang erforderlich
- **Vorverzerrung**
Das Eingangssignal wird geeignet vorverzerrt, so dass das Gesamtsystem linear arbeitet.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 9
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Prinzip der Vorverzerrung

Das Wesentliche:

Verforme das Verstärkereingangssignal durch eine wohl-definierte Nichtlinearität, die die Nichtlinearität des Verstärkers so gut wie möglich kompensiert.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 10
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Digitale Vorverzerrung

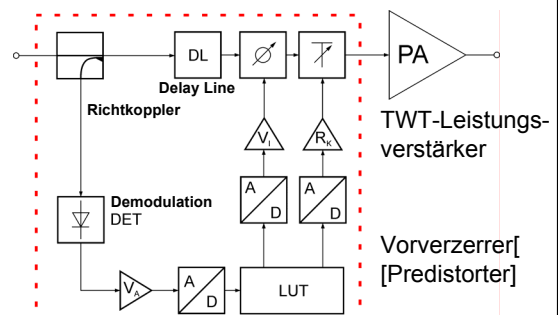
- Aktuell wird die Vorverzerrung analog realisiert.
- Die digitale Realisierung benutzt Korrekturwerte aus einer Tabelle, einer sog. look-up-table (LUT)
- **Vorteile**
 - Hohe Genauigkeit
 - Einfache Möglichkeit der Aktualisierung (Adaptation)
- **Nachteile**
 - Hohe Abtastfrequenz, weil das vorverzerrte Signal eine wesentlich größere Bandbreite hat als das Basisband (30 MHz)
 - Hohe Verlustleistung wegen der schnellen A/D- und D/A-Wandler (1GHz)



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 11
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Linearisierungssystem: Blockschaltbild



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 12
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Kompensation des Ampl./Phasen Fehlers (1)

• Fehlerkompensation

- Amplitudenfehler durch einen steuerbaren Abschwächer
- Phasenfehler durch einen steuerbaren Phasenschieber
- Steuerung der Kompensation durch analoge Signale, bestimmt durch die Werte der LUT (ein schneller 2-fach Speicher von 2·256 Byte)



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 13
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Kompensation des Ampl./Phasen Fehlers (2)

- Der LUT Speicher wird adressiert durch die Digitalwörter eines ADCs (8-bit, 1 GHz), der die analoge Detektorausgangsspannung konvertiert, die ein Maß der aktuellen Eingangsleistung der TWT darstellt.
- Eine einstellbare Verzögerungsleitung (DL) ist erforderlich, damit beide Zweige synchron arbeiten.
- Beachte: Die Bandbreite der Kompensationssignale muss viel größer sein als die Bandbreite des Basisbandes.

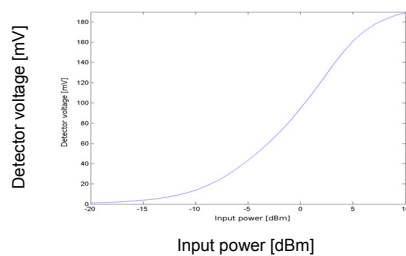


RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 14
SEI Herbst 2006, Heidelberg

3. Modellierung der Komponenten

3.1 Dioden-Detektor – Nichtlinearität

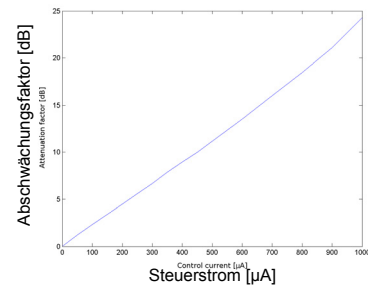


RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 15
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Spezifikationen der Komponenten

3.2 Abschwächer – Nichtlinearität

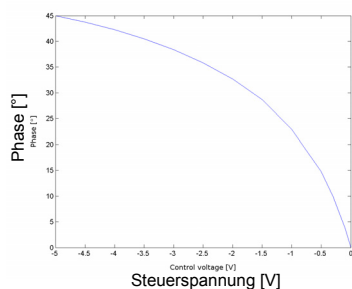


RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 16
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Spezifikationen der Komponenten

3.3 Phasenschieber – Nichtlinearität



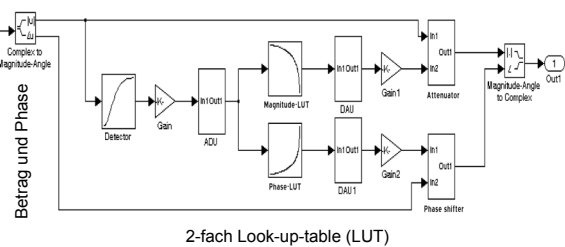
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 17
SEI Herbst 2006, Heidelberg

4. Simulation des Übertragungsverhaltens

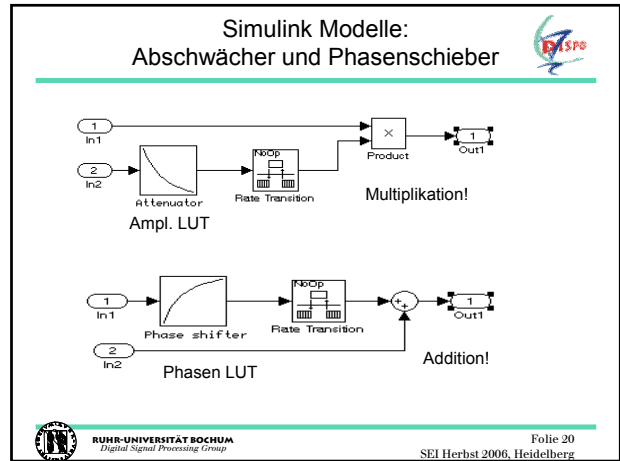
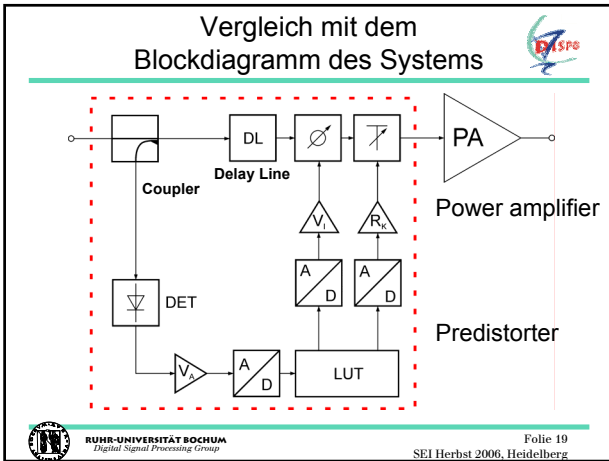
Simulink Modell des

Verstärkers



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 18
SEI Herbst 2006, Heidelberg



Mathematische Ableitung (1)

Gegeben ist ein QAM Signal:

$$x(t) = A(t) \cos(\omega_c t + \varphi(t))$$

$A(t)$ = Amplitudenmodulation und $\varphi(t)$ = Phasenmodulation

Ausgangssignal des Gesamtsystems (mit Vorverzerrung):

$$y(t) = NLA_{TWT}(A(t)) NLA_{PD}(A(t)) \cdot \cos\left(\omega_c t + NLP_{PD}(A(t)) + NLP_{TWT}(A(t) NLA_{PD}(A(t)))\right)$$

Das Verhältnis von Aus- und Eingangssignal soll konstant sein!

$$y(t) \equiv \text{Const } x(t)$$

Folie 21
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Mathematische Ableitung (2)

Zwei Bedingungen (implizit) müssen erfüllt sein:

$$NLA_{TWT}(A(t)) NLA_{PD}(A(t)) \equiv \text{Const } A(t)$$

$$NLP_{PD}(A(t)) + NLP_{TWT}(A(t) NLA_{PD}(A(t))) \equiv 0$$

Explizite Nichtlinearität von Amplitude und Phase des Vorverzerrers:

$$NLA_{PD}(A(t)) \equiv \frac{1}{A(t)} NLA_{TWT}^{-1}(\text{Const } A(t))$$

$$NLP_{PD}(A(t)) \equiv -NLP_{TWT}(A(t) NLA_{PD}(A(t)))$$

Beachte: Die notwendige Phasennichtlinearität des PDs hängt von der vorverzerrten Amplitudennichtlinearität des PDs ab.

Folie 22
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Mathematische Ableitung: Ergebnisse

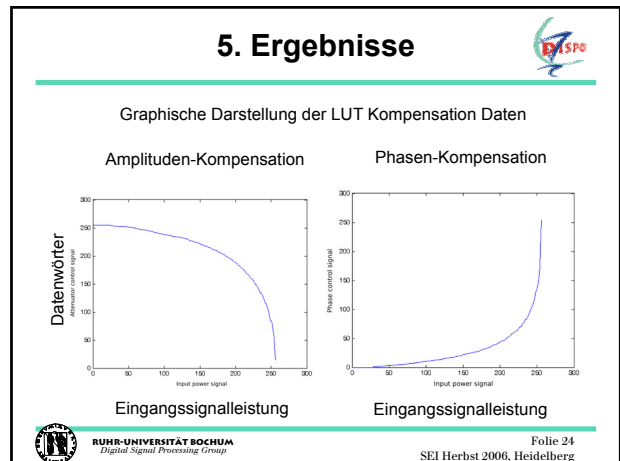
Daten der 2-fach LUT zur Kompensation der Amplituden- und Phasennichtlinearität des TWT PA und aller anderen nichtlinearen Komponenten:

$$LUTA = \frac{2^{\text{RES}}}{\text{Max}\{NLA_{PD}^{**}(A(t))\}} \cdot NLA_{PD}^{**}(A(t))$$

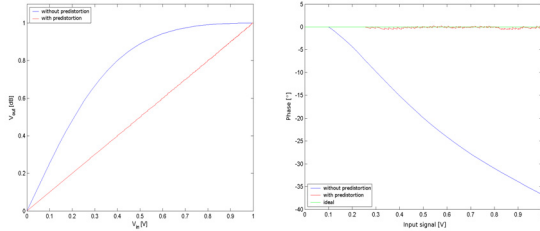
$$LUTP = \frac{2^{\text{RES}}}{\text{Max}\{NLP_{PD}^{**}(A(t))\}} \cdot NLP_{PD}^{**}(A(t))$$

2^{RES} bedeutet die Auflösung der Konverter (ADCs oder DACs).

Folie 23
SEI Herbst 2006, Heidelberg



Gesamtsystem: Vorverzerrer und TWT-HPA



Erreichte Amplitudenlinearität

Erreichte Phasenlinearität

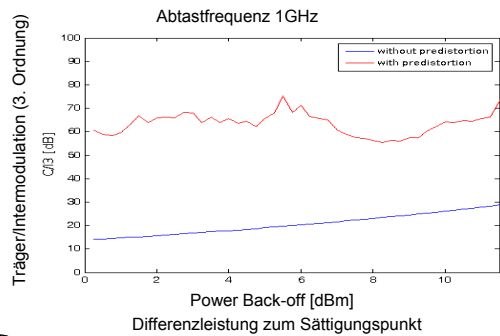
Quantisierungsrauschen als Restfehler!



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 25
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Träger/Intermod.(3. Ordnung) -Verhältnis (C/I3)



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 26
SEI Herbst 2006, Heidelberg

6. Zusammenfassung



- Die Linearisierung eines TWT-HPA (nahe der Sättigung) durch Vorverzerrung wurde beschrieben.
- Die **digitalen** Steuersignale für den Abschwächer und den Phasenschieber werden aus einer LUT abgeleitet.
- Eine **Adaptation** der Vorverzerrung an Einflüsse durch Temperatur oder Alterung ist leicht möglich (per Ground Commands).
- Die Abtastfrequenz muss hoch genug sein: 1 GHz/30MHz.
- Die Simulation (1 GHz Abtastfrequenz) zeigt einen Restfehler durch die verbleibende Nichtlinearität von etwa **30 dB**.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 27
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Das Ende



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

P.S.:

Die Hardware Realisierung erfolgt z. Zt. bei der

Fa. **Tesat-Spacecom** GmbH & CO. KG

D-71501 Backnang bei Stuttgart



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM
Digital Signal Processing Group

Folie 28
SEI Herbst 2006, Heidelberg

Zukunftsweisende Busse in der Mess- und Prüftechnik

*Rolf Oechsler
District Sales Manager
National Instruments Germany GmbH*



ni.com



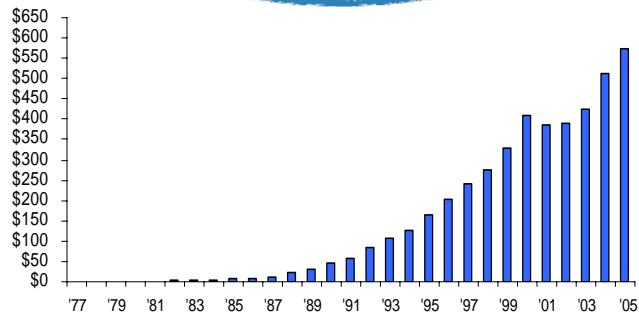
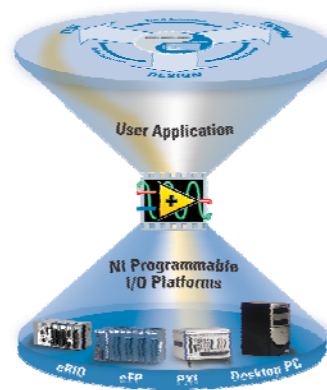
Aber was tun, wenn das Prüfobjekt oder die zu kontrollierende Anlage nicht so kompakt ist wie ein Multimediagerät und man trotzdem nicht auf den Komfort einer einzigen Prüfplattform verzichten will? Wenn möglich, sollte ein Optimum bezüglich der Leistung der Geräte selbst und deren Kommunikation untereinander angestrebt werden.

Nachdem die Wahl des geeigneten Messgeräts schon durch den vielfältigen Markt nicht einfach ist, muss nun auch noch die Kommunikation der Geräte untereinander berücksichtigt werden.

Wir wollen Ihnen deshalb die verschiedenen, in der Messtechnik einsetzbaren Bustechnologien vorstellen und deren Vorteile, aber auch Schwächen, erläutern.

Firmenprofil von NI

- Weltweit führend in computergestützter Mess- und Automatisierungstechnik
- Portfolio mit mehr als 1200 Produkten
- Umsatz von 572 Mio. USD im Jahr 2005
- Keine Branche generiert mehr als 10% des Umsatzes
- Über 3900 Mitarbeiter; Niederlassungen in mehr als 40 Ländern
- Systemlösungen mit 600 Alliance Partnern weltweit



ni.com



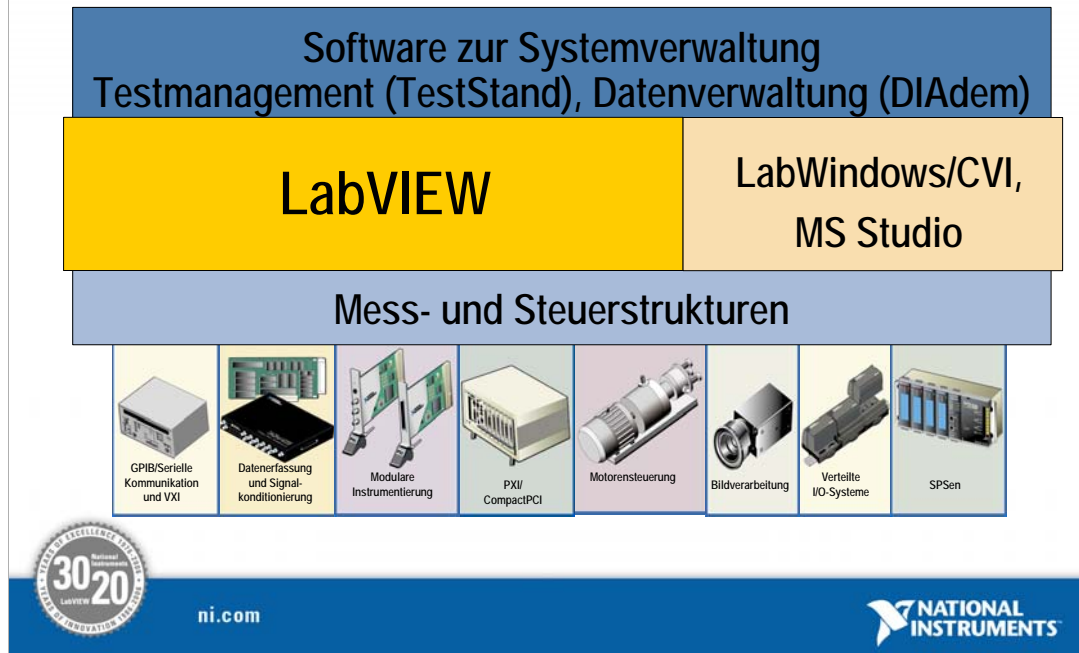
National Instruments verzeichnet seit seiner Gründung ein kontinuierliches Wachstum. Dabei verfolgt NI das Ziel computerbasierte und innovative Produkte zur Verfügung zu stellen, mit denen die Kunden schneller qualitativ hochwertigere Produkte erstellen können, um unser tägliches Leben zu verbessern. Aus diesem Grund investiert National Instruments einen hohen Anteil des Umsatzes in Forschung und Entwicklung. Dadurch kann NI neueste technologische Trends im industriellen Umfeld zur Verfügung stellen und so den ständig wachsenden Anforderungen seiner Kunden gerecht werden.

National Instruments beschäftigt weltweit mehr als 3900 Mitarbeiter, die sich auf fünf Entwicklungsstandorte, mehr als 40 Vertriebsniederlassungen sowie die beiden Produktionsstandorte in Europa und USA verteilen.

Mit mehr als 25000 Kunden in über 90 Ländern der Welt ist National Instruments ein sehr breit aufgestelltes Unternehmen. Die Kunden kommen dabei aus allen Bereichen der Industrie und der Forschung und setzen die mehr als 1200 Produkte für unterschiedlichste Anwendungen ein.

Bei vollen Terminplänen, begrenzten technischen Ressourcen oder anderen Engpässen bevorzugen Sie vielleicht eine persönliche Beratung oder Dienstleistungen im Bereich der Systemintegration. In diesem Fall profitieren die Kunden von National Instruments vom Alliance Program, einem weltweiten Netzwerk von Experten, Ingenieurbüros und Systemintegratoren, die Ihnen gerne mit ihrem Fachwissen beratend zur Seite stehen.

Die Produktplattform von National Instruments



Für die Erstellung eines PC-basierten Messsystems steht Ihnen das gesamte Produktportfolio von National Instruments zur Verfügung. Hardwaremodule, die für die verschiedenen Messungen und Sensoren optimiert sind, bilden die Schnittstelle zwischen Messung und Softwaresystem.

Eine Treiberstruktur macht die Hardware für den Anwender nutzbar.

Über der Treiberschicht zum Ansteuern der Hardware befindet sich eine Entwicklungsumgebung. In diesem Seminar liegt der Schwerpunkt auf LabVIEW 7.1, einer Entwicklungsumgebung, mit deren Hilfe Sie an Ihre Messanforderung angepasste Anwendungen gestalten können. Dabei entwickeln Sie anders als bei herkömmlichen Umgebungen nicht textuell, sondern grafisch – eine Eigenschaft, über die Sie im Folgenden noch mehr erfahren werden.

Neben LabVIEW kann auf die Treiberstrukturen auch mit CVI, einer ANSI-C Umgebung, Measurement Studio, einer Erweiterung des Visual Studio von Microsoft, oder anderer Spezialsoftware wie zum Beispiel VI-Logger zugegriffen werden.

Eine Mess- und Automatisierungsanwendung lässt sich in der Regel in folgende drei Bereiche unterteilen: Datenerfassung, -analyse und -darstellung. LabVIEW gestattet es, die Erfassung von Daten, gegebenenfalls deren Analyse und schließlich die Darstellung der gewonnenen Informationen in einem sinnvollen Format genauestens aufeinander abzustimmen. Jeder dieser drei Bereiche einer mess- und automatisierungstechnischen Applikation wird im Laufe dieses Seminars behandelt.

Der zweite Teil dieses Seminars befasst sich mit der Aufbereitung der Daten. In diesem Zusammenhang wird NI DIAdem als Datenmanagement-Werkzeug einer näheren Betrachtung unterzogen.

Auswahl der geeigneten Bustechnologie: LAN, USB, GPIB, PCI/PXI

*Evaluierung von Plattformen im Hinblick auf
Leistung und Wiederverwendbarkeit*



ni.com

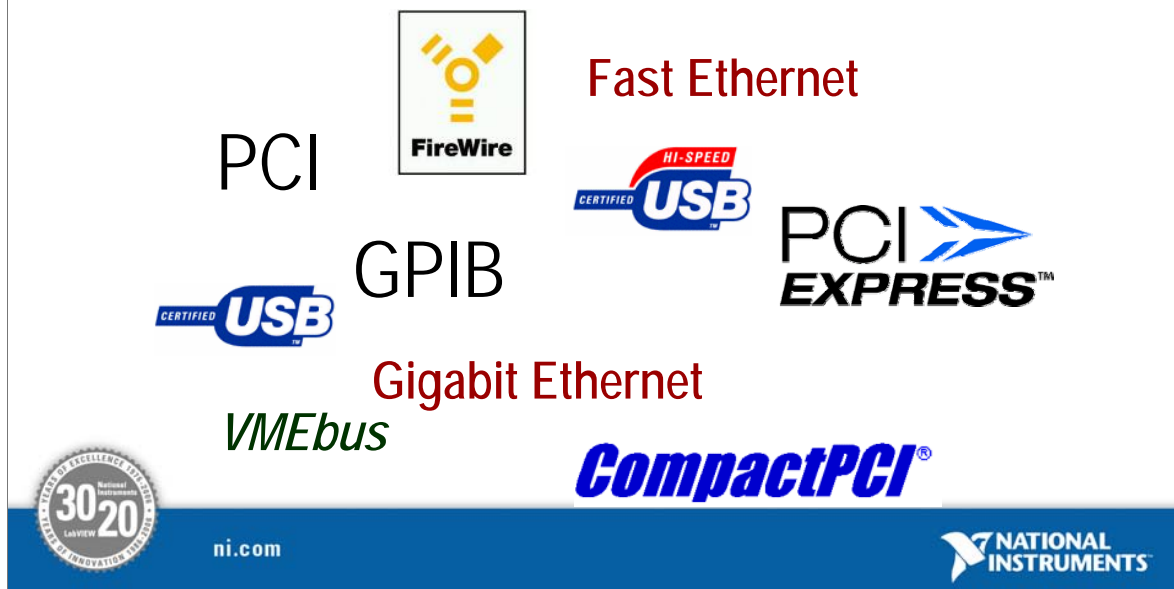


Aber was tun, wenn das Prüfobjekt oder die zu kontrollierende Anlage nicht so kompakt ist wie ein Multimediagerät und man trotzdem nicht auf den Komfort einer einzigen Prüfplattform verzichten will? Wenn möglich, sollte ein Optimum bezüglich der Leistung der Geräte selbst und deren Kommunikation untereinander angestrebt werden.

Nachdem die Wahl des geeigneten Messgeräts schon durch den vielfältigen Markt nicht einfach ist, muss nun auch noch die Kommunikation der Geräte untereinander berücksichtigt werden.

Wir wollen Ihnen deshalb die verschiedenen, in der Messtechnik einsetzbaren Bustechnologien vorstellen und deren Vorteile, aber auch Schwächen, erläutern.

Abstimmung der Bustechnologie auf Ihre Anwendung



Für Mess- und Prüfanwendungen stehen mehrere Hochgeschwindigkeits-datenbusse zur Auswahl. Die Wahl des am besten geeigneten Bussystems kann eine Herausforderung darstellen, da der direkte Vergleich von Bussen durch die Einzigartigkeit jeder Technologie erschwert wird. Mess- und Prüfsysteme umfassen sehr häufig mehrere Busse. Ist dies der Fall, spricht man von einem hybriden System. Diese werden im späteren Verlauf des Seminars noch genauer behandelt.

Es gibt jedoch keine Bustechnologie, die für alle Anwendungen ideal geeignet ist. GPIB hat sich beispielsweise seit 30 Jahren in der Gerätesteuerung bewährt, USB ermöglicht eine einfache Anbindung, Ethernet bietet sich für verteilte Systeme an und Hoch-geschwindigkeitsbusse wie PCI und PCI Express liefern die beste Übertragungsrate und Latenz.

Überlegungen zur Bustechnologie

- Schlüsselfaktoren des Bussystems, die Einfluss auf die Geräteleistung haben
 - Latenz
 - Übertragungsrate
- Weitere Faktoren
 - Timing und Synchronisation
 - Verteilte Netzwerke und dezentrale Überwachung
 - Standard-Software-Frameworks



ni.com



Bei der Auswahl von Messgeräten für ein System evaluieren Anwender Busse oft auf Basis der verfügbaren Messgeräte, um ihre Messanforderungen zu erfüllen. Das Messgerät muss die für die Anwendung notwendige Abtastrate, Übertragungsrate usw. zur Verfügung stellen. Bei diesen Überlegungen ist es jedoch von großer Bedeutung, auch die Fähigkeiten des Bussystems selbst in Betracht zu ziehen, da diese die Leistung des ausgewählten Messgeräts und die Zusammenarbeit von Bus und Messgerät beeinflussen. Faktoren wie Latenz und Übertragungsrate des Busses bestimmen die Leistung des Messgeräts mit.

Die Leistungsmerkmale hinsichtlich Timing und Synchronisation variieren zwischen verschiedenen Bussen und sollten ebenfalls evaluiert werden, da sie die Kommunikation zwischen Messgeräten beeinflussen und von Bedeutung sind, wenn es gilt, Signale genau zu synchronisieren. Außerdem sollten neben Bussystemen auch andere Faktoren beachtet werden.

Manche Systeme erfordern entweder dezentrale Überwachung und Steuerung oder verteilte Netzwerke. In einigen Fällen hilft die Software bei der Verteilung dieser dezentralen Systeme. Jedoch erleichtern auch manche Busse den verteilten Einsatz.

Bei Standardsoftwarearchitekturen: Implementiert die Busspezifikation eine Softwarearchitektur? Softwarearchitekturen stellen sicher, dass der Anwender von Anfang an über eine umfassende, herstellerneutrale Systemlösung verfügt, und verhindern eine Zersplitterung des Marktes aufgrund von konkurrierenden Standards unterschiedlicher Hersteller. Dadurch wird die Interoperabilität gewährleistet.

Einfluss auf die Anwendung

Niedrige Latenz

- Wichtig für Anwendungen mit
 - Digitalmultimetermessungen
 - Schaltvorgängen
 - Gerätekonfiguration
- Serielle Busse haben meist eine höhere (= schlechtere) Latenz

Hohe Übertragungsrate

- Wichtig für Anwendungen, die große Datensets übertragen oder Data Streaming erfordern
 - HF-Applikationen
 - Signalerfassung oder -erzeugung
- Systeme mit hoher Geschwindigkeit oder Kanalanzahl erfordern oft 10 bis 100 MBs/s oder mehr



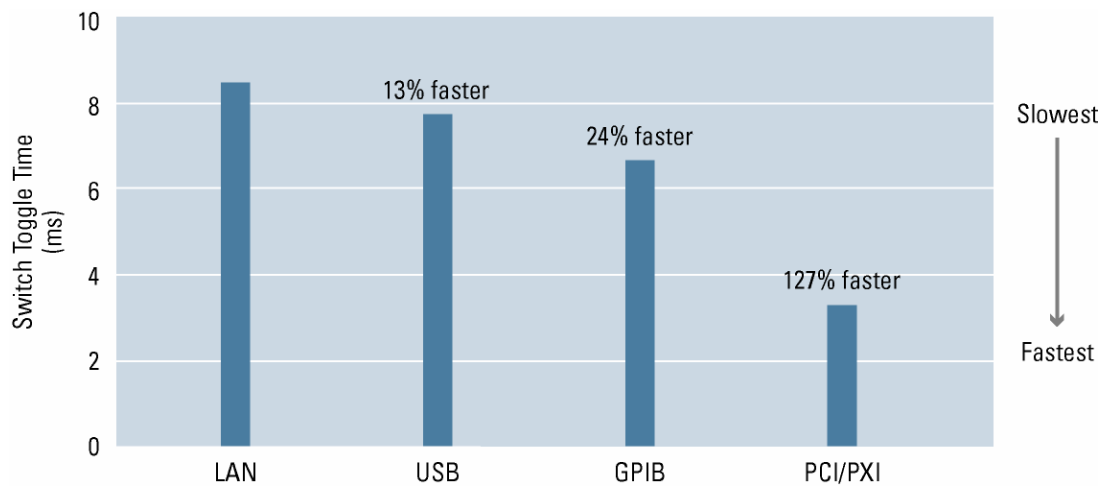
ni.com



Wieso spielen Latenz und Übertragungsrate eine Rolle? Sie helfen dem Anwender dabei zu bestimmen, ob die erforderlichen Messungen überhaupt durchgeführt werden können. Da die Latenz die Verzögerung bei der Datenübertragung ist, sollte für Anwendungen wie etwa Digitalmultimetermessungen, Schaltungen oder Gerätekonfiguration ein Bus mit niedriger Latenz verwendet werden. Serielle Busse besitzen meist eine höhere Latenz. (Eine Ausnahme dabei ist PCI Express. Dieser Bus ist zwar seriell, aber bündelt Daten in Paketen und überträgt Daten mit 2,5 Gb/s sehr schnell, so dass die typische Latenz äußerst niedrig ist.)

Für Anwendungen, bei denen große Datenmengen übertragen werden oder die Daten-Streaming erfordern, wie das häufig bei HF- und Signalerfassungs- bzw. -erzeugungs-applikationen der Fall ist, sollte der Bus eine höhere Übertragungsrate aufweisen. Darüber hinaus ist für Systeme mit hoher Geschwindigkeit und hoher Kanalanzahl eine Übertragungsrate von 10 bis 100 MB/s oder noch mehr notwendig.

Ausführung einzelner Befehle



LAN, USB, GPIB wurden auf Agilent 34980A ausgeführt, PXI auf NI PXI 4070, NI PXI 2532
Bewertung anhand von Umschalten und Kontrollmessungen bei einem Ankerrelais

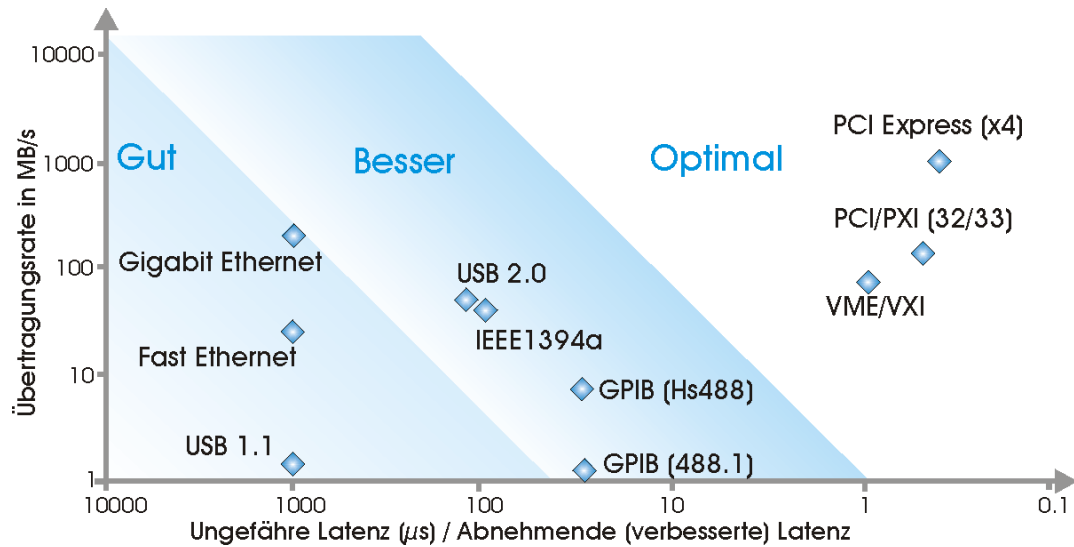


ni.com



Die Grafik stellt den Einfluss der Latenz auf eine Anwendung dar. Als Grundlage diente dabei die Leistung eines Messgeräts als Reaktion auf einen einzigen Befehl. Die Leistung dieser Art von Kommunikation wird von der Latenz direkt beeinflusst. Die Verbesserung der Systemleistung bei Verwendung eines Busses mit niedrigerer Latenz ist hier deutlich sichtbar. PCI/PXI ist in dieser Anwendung um 127 % schneller als LAN.

Übertragungsrate vs. Latenz



ni.com



Beim Vergleich der technischen Möglichkeiten alternativer Busse sind Übertragungsrate und Latenz die beiden wichtigsten Merkmale. Die Übertragungsrate misst die Geschwindigkeit, mit der Daten über den Bus gesendet werden, meist in MB/s, während die Latenz die Verzögerung bei der Datenübertragung über den Bus ist.

Ein Bus mit hoher Übertragungsrate kann also in einem festen Zeitraum mehr Daten übertragen als ein Bus mit niedriger Übertragungsrate. Ein Bus mit niedriger, also guter Latenz, führt zu weniger Verzögerung zwischen dem Absenden der Daten am einen und ihrer Verarbeitung am anderen Ende. Den meisten Anwendern ist die Bedeutung der Übertragungsrate bewusst, da sie Einfluss darauf hat, ob die Daten so schnell übertragen werden können, wie sie erfasst werden und wie viel Onboard-Speicher ihre Messgeräte brauchen werden. Die Latenz ist zwar nicht so deutlich wahrnehmbar, hat aber direkten Einfluss auf Anwendungen wie etwa DMM-Messungen, Schaltungen und Gerätekonfiguration. Sie bestimmt, wie schnell ein Befehl, der von einem Knoten im Bus, z. B. dem PC-Controller, an einem anderen Knoten, z. B. dem Messgerät, ankommt und dort verarbeitet wird.

GPIB / IEEE-488

Max. Übertragungsrate von HS488: 8 MB/s
Max. Übertragungsrate von 488.1: 1,8 MB/s
Verteilung der Übertragungsrate: Aufgeteilt
Bewertung der Übertragungsrate: Gut
Bewertung der Latenz: Besser

- Kompatibilität seit über 30 Jahren
- Robust und zuverlässig
- In der Industrie am weitesten verbreitet
- Größte Basis bestehender Geräte
- Ideal geeignet für:
 - Automatisierung bestehender Ausstattung
 - Hybride Systeme
 - Systeme, die hoch spezialisierte Messgeräte erfordern



ni.com

NATIONAL INSTRUMENTS

Der erste Bus, der näher betrachtet werden soll, ist GBIP, auch als IEEE-488 bekannt. GPIB ist ein bewährter Bus für Messanwendungen. Dank der maximalen Übertragungsrate von ca. 1,8 MB/s eignet er sich am besten für die Kommunikation mit Messgeräten, die auch als Stand-alone-Geräte fungieren. Die aktuellere Hochgeschwindigkeitsversion HS488 hat die Übertragungsrate auf 8 MB/s erhöht. Mehrere GPIB-Geräte können miteinander verbunden werden und alle am Bus angeschlossenen Geräte teilen sich die Übertragungsrate. Obwohl diese relativ gering ist, bietet GPIB eine wesentlich bessere Latenz als Ethernet oder sogar USB.

GPIB wurde speziell für Gerätesteuersystemen konzipiert und hat sich in 30 Jahren als robuster und zuverlässiger Kommunikationsbus bewährt. Aufgrund der niedrigen Latenz wird GPIB auch heute noch gerne für die Gerätesteuerung verwendet. Mit über 10000 auf GPIB basierenden Gerätemodellen ist GPIB sogar der in der Industrie am weitesten verbreitete Busstandard.

GPIB eignet sich hervorragend für die Automatisierung bestehender Ausstattung, auch in hybriden Systemen, in denen oftmals verschiedene Arten von Messgeräten und Bussen zum Einsatz kommen. Auch für Systeme, die sehr spezielle Messgeräte einbinden, ist GPIB die richtige Wahl.

USB

Max. Übertragungsrate: 60 MB/s (USB 2.0)

Verteilung der Übertragungsrate:

Unter allen Anschlüssen aufgeteilt

Bewertung der Übertragungsrate: Besser

Bewertung der Latenz: Besser

- An allen PCs vorhanden
- Einfachste Plug&Play-Anbindung (automatische Erkennung)
- Ideal geeignet für:
 - Mobile Desktop- und Prüfplatzanwendungen
 - Kleine, kostengünstige Systeme



ni.com

NATIONAL INSTRUMENTS

Der Universal Serial Bus, kurz USB, ist in den letzten Jahren zum beliebten Standard für die Anbindung von Computerperipheriegeräten avanciert. Diese Popularität hatte auch Auswirkungen auf die Mess- und Prüftechnik: Immer mehr Hersteller versehen ihre Messgeräte inzwischen mit USB-Anschlüssen. Die maximale Übertragungsrate von USB 2.0 beträgt 60 MB/s und macht den Busstandard damit zu einer interessanten Option für die Geräteanbindung und Gerätesteuerung. Obwohl die meisten Laptops, Desktop-Rechner und Server über mehrere USB-Anschlüsse verfügen, sind diese meist alle mit demselben Host-Controller verbunden, so dass alle Anschlüsse die Übertragungsrate von USB unter sich aufteilen. Die Latenz liegt bei USB im mittleren Bereich.

USB-Geräte eignen sich gut für Anwendungen mit mobilen Messungen, Datenprotokollierung am Laptop- oder Desktop-Rechner und In-Vehicle-Datenerfassung. USB wird auch für die Kommunikation mit Stand-alone-Geräten gerne verwendet, da der Bus auf allen PCs vorhanden und dank Plug&Play-Funktionalität sehr einfach zu bedienen ist. Die Spezifikation der USB Test and Measurement Class (USBTMC) erfüllt die Kommunikationsanforderungen zahlreicher Test- und Messgeräte. USB-Geräte profitieren von der automatischen Erkennung. Im Gegensatz zu anderen Technologien wie etwa LAN werden USB-Geräte vom PC automatisch erkannt und konfiguriert, sobald sie vom Anwender angeschlossen werden. Sogar Datenerfassungsgeräte, die im Gegensatz zu Stand-alone-Messgeräten nicht immer über einen eigenen Display und Prozessor verfügen, integrieren USB immer häufiger, v. a. im Einsatz auf dem Desktop und am Prüfplatz.

LAN / Ethernet

Max. Übertragungsrate von 1000BASE-T:
125 MB/s (Gigabit Ethernet)

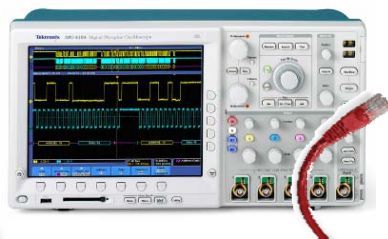
Max. Übertragungsrate von 100BASE-T:
12,5 MB/s (Fast Ethernet)

Verteilung der Übertragungsrate:
Innerhalb des Netzwerks aufgeteilt

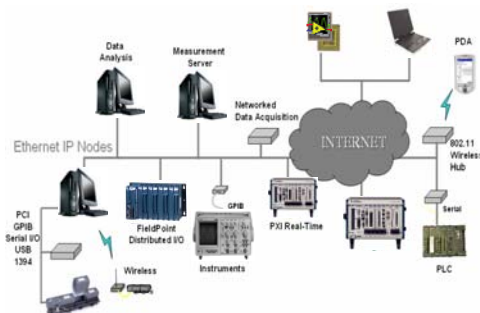
Bewertung der Übertragungsrate: Besser

Bewertung der Latenz: Gut

- Remote-Funktionalität
- An allen PCs vorhanden
- Ideal geeignet für:
 - Verteilte Systeme
 - Dezentrale Überwachung



ni.com



NATIONAL INSTRUMENTS

Ethernet steht seit zehn Jahren für die Gerätesteuerung zur Verfügung. Es handelt sich dabei um eine ausgereifte Bustechnologie, die auch in zahlreichen Anwendungsgebieten außerhalb der Mess- und Prüftechnik eingesetzt wird. 100BASE-T Ethernet bietet eine theoretische maximale Übertragungsrate von 12,5 MB/s. Gigabit Ethernet, oder 1000BASE-T, erhöht diese auf 125 MB/s. Dabei wird die Übertragungsrate jeweils innerhalb des Netzwerks aufgeteilt. Bei 125 MB/s ist Gigabit Ethernet theoretisch schneller als USB 2.0. Diese Leistung wird allerdings schnell vermindert, wenn mehrere Mess- und andere Geräte die Übertragungsrate des gesamten Netzwerks unter sich aufteilen. Die Kommunikation über den Bus basiert auf Nachrichten, wobei die Kommunikationspakete die Geschwindigkeit der Datenübertragung noch weiter beeinträchtigen. Aufgrund dessen besitzt Ethernet von allen hier behandelten Bustechnologien die höchste, d. h. unvorteilhafteste Latenz.

Trotzdem bietet Ethernet eine leistungsstarke Option für die Erstellung eines Netzwerks von verteilten Systemen. 100Base T-Ethernet hat ohne Repeater eine Reichweite von bis zu 85 m. Mit Repeater ist die Reichweite unbegrenzt. Diese Reichweite wird durch keinen anderen Bus ermöglicht. Wie auch USB, stehen LAN-Anschlüsse an praktisch allen modernen PCs zur Verfügung. Damit wird Ethernet zur idealen Option für verteilte Systeme und dezentrale Überwachung. Es wird oft in Verbindung mit anderen Bus- und Plattformtechnologien eingesetzt, um Messknoten in einem System zu verbinden. Diese lokalen Knoten können selbst aus Messsystemen bestehen, die auf PCI und USB basieren.

LXI

Max. Übertragungsrate von 1000BASE-T:
125 MB/s (Gigabit Ethernet)

Max. Übertragungsrate von 100BASE-T:
12,5 MB/s (Fast Ethernet)

Verteilung der Übertragungsrate:
Innerhalb des Netzwerks aufgeteilt

Bewertung der Übertragungsrate: Besser

Bewertung der Latenz: Gut



ni.com

 NATIONAL
INSTRUMENTS

- Neuer Standard für die Instrumentierung über LAN
- Optionales Timing und Triggern
 - Synchronisation über IEEE 1588 (Klasse B)
 - Trigger-Unterstützung (Klasse A)
- Ideal geeignet für:
 - Verteilte Systeme
 - Dezentrale Überwachung

LXI (LAN eXtensions for Instrumentation) ist ein relativ neuer LAN-basierter Standard. LXI definiert eine Spezifikation für Stand-alone-Messgeräte mit Ethernet-Anbindung. Auf LXI basierende Geräte werden in drei Klassen aufgeteilt: Die einfachste LXI-Implementierung, Klasse C, ist im Wesentlichen ein Stand-alone-Messgerät mit einem Ethernet-Anschluss. Bei LXI-Geräten der Klasse B kommt die Synchronisation über IEEE 1588 hinzu, welche die systemweite Synchronisation mit einer Genauigkeit im Mikrosekundenbereich ermöglicht. Geräte der Klasse A verfügen außerdem über Trigger-Unterstützung durch den LXI-Trigger-Bus. Für Synchronisation und Triggerung ist allerdings zusätzliche Hardware erforderlich, welche nicht Teil der typischen LAN-Infrastruktur ist. Zur Zeit sind auf dem Markt ca. 40 LXI-konforme Geräte erhältlich. Wie bei LAN besteht die wichtigste Stärke von LXI in der Möglichkeit, damit verteilte System zu erstellen und dezentrale Knoten zu überwachen.

VME

Max. Übertragungsrate von VME: 80 MB/s
Verteilung der Übertragungsrate: Aufgeteilt
Bewertung der Übertragungsrate: Besser
Bewertung der Latenz: Optimal



ni.com



- Zahlreiche bestehende Systeme im Bereich Militär/Luft- und Raumfahrt
- Spezielle Instrumentierung
- Ideal geeignet für:
 - Bestehende ATE-Systeminfrastruktur im Militär/Luft- und Raumfahrtsektor
 - Verbreitung in hybriden Systemen mit neueren Technologien

Beim VMEbus handelt es sich um eine weitere etablierte Bustechnologie. Die VME-Spezifikation basiert auf dem Versabus und erreicht eine maximale Übertragungsrate von 80 MB/s. Diese wird unter allen am Bus angeschlossenen Geräten aufgeteilt. Die Latenz fällt in die Kategorie „optimal“. Die modulare VME-Technologie kommt v. a. beim Militär sowie in Luft- und Raumfahrt zum Einsatz und ist in diesen Sektoren seit langem ein Standard für automatisierte Testsysteme. Sie profitiert davon, dass ihr sehr spezielle Messgeräte, v. a. solche mit hohen Frequenzen, zur Verfügung stehen. Heute werden VME-basierte Technologien meist in der bestehenden Infrastruktur VME-basierter ATE-Systeme sowie in hybriden Systemen verwendet.

PCI und PCI Express

Übertragungsrate von PCI Express:

(x1) 250 MB/s – (x16) 4000 MB/s

Verteilung der Übertragungsrate bei PCI Express: Für jedes Gerät garantiert

Max. Übertragungsrate von PCI: 132 MB/s

Verteilung der Übertragungsrate bei PCI: Aufgeteilt

Bewertung der Übertragungsrate: Optimal

Bewertung der Latenz: Optimal



ni.com

NATIONAL INSTRUMENTS

- Optimale Übertragungsrate und Latenz
- An allen PCs vorhanden
- Senkt die Kosten für Messgeräte
- Ideal geeignet für:
 - Hochleistungssysteme
 - Datenintensive Systeme
 - Integration verschiedener Gerätetypen

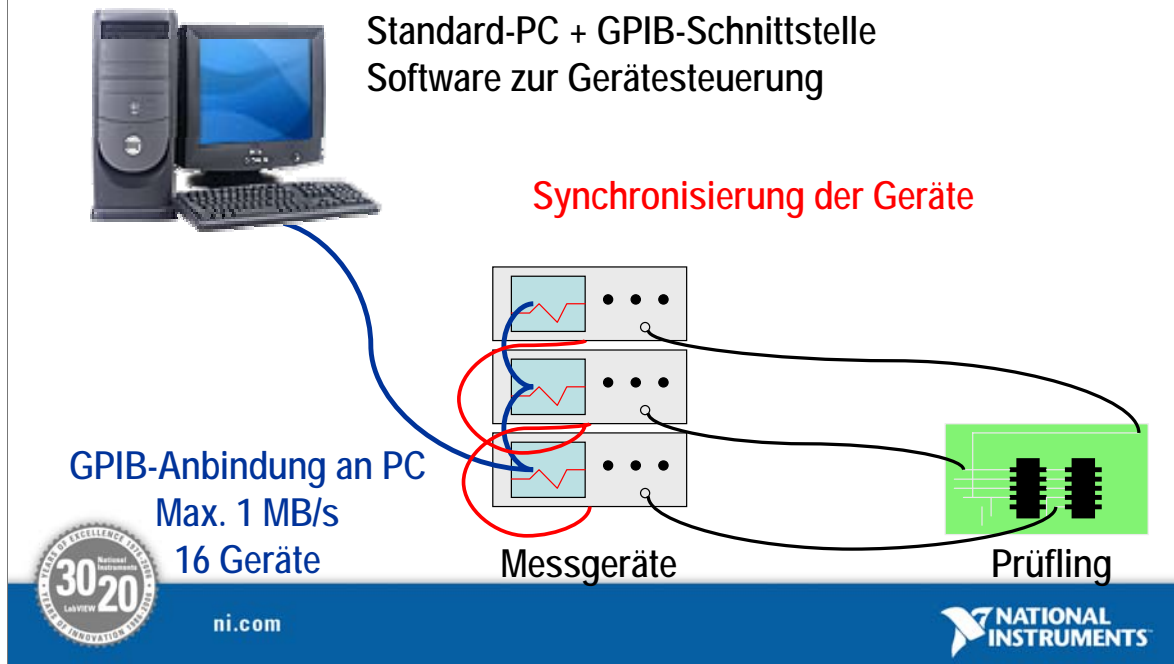
Wie auf dem Diagramm „Übertragungsrate vs. Latenz“, deutlich wurde, erreichen PCI und PCI Express unter allen hier vorgestellten Bussystemen die beste Übertragungsrate und Latenz. Die Übertragungsrate bei PCI beträgt 132 MB/s und wird unter allen Geräten aufgeteilt. Im Gegensatz dazu weist PCI Express jedem am Bus angeschlossenen Gerät eine eigene Übertragungsrate zu. Dies macht PCI Express im Vergleich zu den hier behandelten Bustechnologien einzigartig. Bei GPIB, VME, USB und auch bei LAN wird die Übertragungsrate unter allen angebotenen Peripheriegeräten aufgeteilt.

Bei PCI Express werden Daten mit 250 MB/s und pro Richtung über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen übertragen, die Lanes genannt werden. Jede PCI-Express-Verbindung kann aus mehreren Lanes bestehen. Die Übertragungsrate hängt deshalb davon ab, wie PCI Express an den Steckplatz und ans Gerät angeschlossen wird. Eine Verbindungsbreite von x1 bietet 250 MB/s. Beträgt sie x4, wird das Vierfache, also 1 GB/s erreicht und eine x16-Verbindung ermöglicht eine dedizierte Übertragungsrate von 4 GB/s. PCI Express ist eine neue Weiterentwicklung des PCI-Standards, ähnlich wie Gigabit Ethernet die aktuelle Version des Ethernet-Standards darstellt. Dabei ist wichtig zu wissen, dass PCI Express hinsichtlich der Software vollständig kompatibel zu PCI ist. Das heißt, dass Anwender, die auf den PCI-Express-Standard umstellen, ihre Investitionen wahren können.

Ein Vorteil, den neben Ethernet und USB auch PCI und PXI Express haben, besteht darin, dass sie auf PCs zur Standardausstattung gehören. PCI ist einer der am weitesten verbreiteten Standards in der Geschichte des Computers. Heute besitzt jeder Desktop-PC PCI- und PCI-Express-Steckplätze. Im Allgemeinen helfen PCI-gestützte Geräte bei der Kostensenkung, da sie Stromquelle, Prozessor, Display und Speicher des Host-PCs nutzen und diese Hardware nicht selbst enthalten müssen.

PC-interne Hochgeschwindigkeitsbusse wurden für die schnelle Kommunikation konzipiert. Infolgedessen sind PCI und PCI Express die erste Wahl für datenintensive Hochleistungssysteme, die eine hohe Übertragungsrate erfordern, und für die Integration und Synchronisation mehrerer verschiedener Messgeräte.

System aus externen Messgeräten und PC



Sehr früh schon wurden Lösungen gesucht, um die Daten und Messergebnisse einzelner Messgeräte mittels einer direkten Verbindung auf einen zentralen PC zu übertragen und Mess- und Prüfaufgaben zu automatisieren. So haben sich bereits in den 60er Jahren Bussysteme wie der GPIB-Bus entwickelt. Hierbei werden die Messgeräte über eine spezielle Schnittstelle an den PC angebunden.

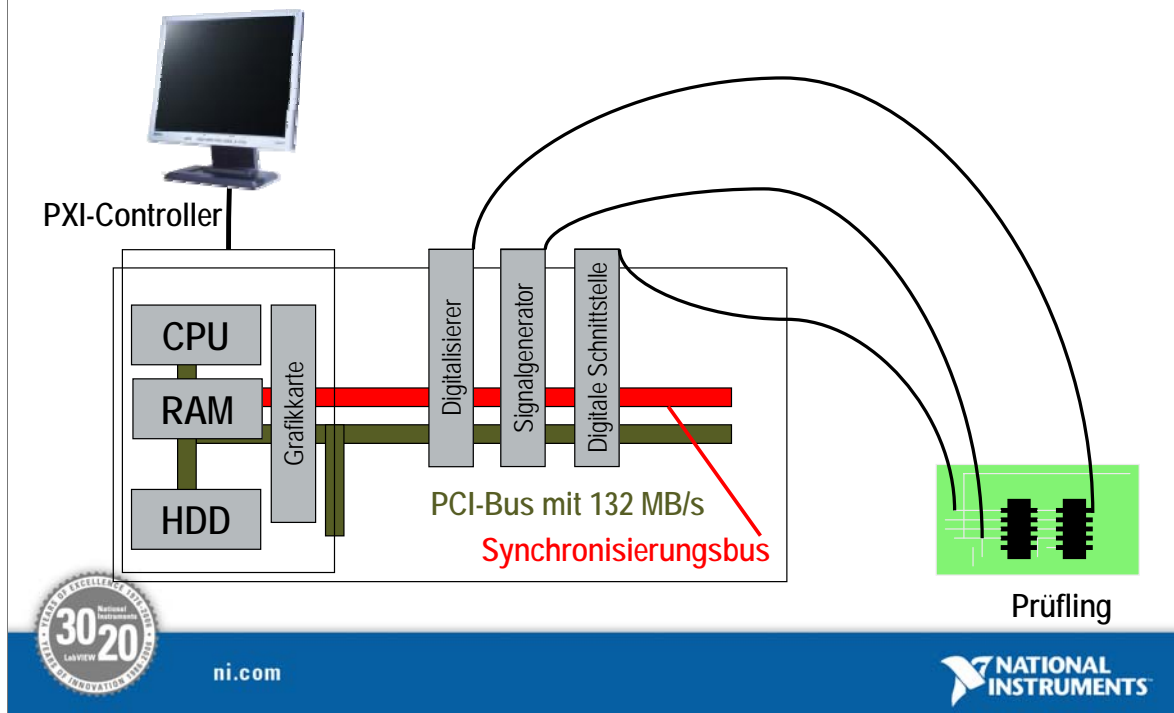
Seit 1976 sorgt National Instruments für eine kontinuierliche Weiterentwicklung von GPIB-Schnittstellenkarten. Als führender Hersteller bietet NI eine Lösung für nahezu jede Workstation, jeden Desktop-, Laptop-, Industrie-PC- und Schnittstellenbus wie PCI, PCI Express, PXI, PCMCIA, USB, Ethernet, VXI, VME sowie für die seriellen Schnittstellen (RS-485 und RS-232).

Die neuesten GPIB-Schnittstellen entsprechen dem Hochgeschwindigkeitsprotokoll HS488, das für Datenübertragungsraten bis zu 8 MB/s sorgt. Die Treibersoftware NI-488.2, bereits zum Industriestandard avanciert, ist mit verschiedenen Produktlinien kompatibel, so dass Prüfprogramme auf einer Vielzahl unterschiedlicher Plattformen ausgeführt werden können.

Eine Synchronisation der einzelnen Messgeräte ist allerdings über diesen Bus nicht möglich und so bedarf es zusätzlicher proprietärer Lösungen, um diese zu realisieren.

In den letzten Jahren haben sich auch im Bereich der Messgeräte neue Bussysteme und Schnittstellen entwickelt und verbreitet, wie beispielsweise USB oder Ethernet. Diese bieten höhere Übertragungsraten und haben außerdem den Vorteil, dass sie einen direkten Anschluss über Standardschnittstellen des PCs erlauben. Allerdings bieten auch diese Systeme keine speziellen Funktionen zur Synchronisierung und Triggerung und weisen aufgrund ihrer hohen Latenzzeiten maßgebliche Nachteile für die Mess- und Prüftechnik auf.

Modulare Plattform: PXI oder VXI

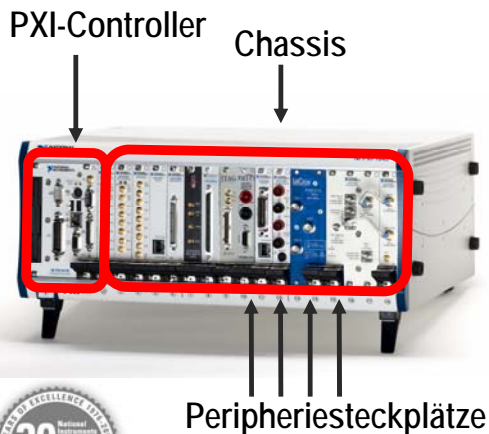


Die Plattform PXI vereint in einem für die Messtechnik optimierten Gehäuse einen Controller und bis zu 18 Steckplätze für Messhardware. Auf der Backplane stehen neben dem PCI-Bus ein spezieller Bus für Timing und Synchronisation zur Verfügung. Alle Module sind komfortabel von außen zugänglich. Für den Anschluss externer Geräte stehen auf dem Controller alle Standardschnittstellen zur Verfügung, die man auch aus der PC-Industrie kennt (Ethernet, GPIB, USB). Weitere Peripheriegeräte können auch über Einsteckmodule integriert werden.

Bei Bedarf kann auf den Controller verzichtet werden. Die Steuerung der Module erfolgt dann über eine MXI-Verbindung zu einem PC, Laptop oder 19“-Rackmount-PC.

PXI und PXI Express

Bus: PCI/PCI Express
Implementierung: Intern
Gerätearchitektur: Modular



- Offene, auf PCI und PCI Express basierende Plattform
- Robustes modulares Gehäuse
- Integrierte Timing- und Triggerfunktionen
- PXI Express bietet zusätzlich:
 - Übertragungsrate bis zu 2 GB/s pro Steckplatz
 - Abwärtskompatibilität
 - Industrieweit beste Synchronisierung
- Ideal geeignet für:
 - Hochleistungssysteme
 - Datenintensive Systeme
 - Synchronisierung von Messungen
 - Integration verschiedener Gerätetypen



ni.com



PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) und PXI Express stellen eine offene, herstellernerneutrale Plattform dar, die auf PCI und PCI Express aufbaut. Die PXI-Architektur ist modular, umfasst ein robustes Chassis und einen Systemcontroller sowie Module für die Instrumentierung, die sich über Peripheriesteckplätze an die Backplane anbinden lassen. Diese basiert auf dem PCI- und/oder PCI-Express-Bus mit zusätzlichen Timing-, Trigger- und Synchronisationsfunktionen, darunter ein 10-MHz-Systemtakt, auf den alle Module Zugriff haben. Der Steuersteckplatz wird entweder von einem Embedded-Controller besetzt, der im Wesentlichen aus einem Industrie-PC oder einem zentralen Steuermodul besteht, das die transparente Steuerung des Chassis von einem Desktop-, Laptop- oder Server-PC aus ermöglicht. Um leicht integriert werden zu können, nutzt PXI Treiber- und Netzwerkstandards, die auf dem Markt für PC-Software erhältlich sind.

PXI Express ergänzt die PXI-Spezifikation um eine Reihe neuer Merkmale. Diese umfassen eine erhöhte Übertragungsrate von 2 GB/s pro Steckplatz, die hier, anders als bei PCI, LAN, USB und GPIB, nicht unter den Geräten aufgeteilt wird. Jedem Gerät wird eine dedizierte Übertragungsrate zugewiesen, so dass auch Anwendungen mit riesigen Datenmengen realisiert werden können und der Systemdurchsatz verbessert werden kann. PXI Express optimiert auch die Timing- und Triggerfähigkeiten von PXI, indem differenzielle Trigger und ein differenzieller 100-MHz-Systemtakt integriert werden, die Jitter reduzieren und die Timing-Genauigkeit erhöhen. Schließlich gewährleistet die Art, wie PXI Express implementiert wird, die Abwärtskompatibilität mit bestehender Software und allen PXI-Modulen.

Als Plattform bieten PXI und PXI Express industrieweit die besten Übertragungsraten und Latenzzeiten. Davon profitieren zahlreiche Anwendungen, darunter Hochgeschwindigkeits-Daten-Streaming, HF-Digitalisierung und DMM-Schaltungen. Eine der größten Stärken von PXI ist die Möglichkeit, unterschiedliche Typen von Messgeräten zu integrieren und zu synchronisieren.

Vergleich der Bussysteme

	GPIB	VXI	1394a	USB	TCP/IP Ethernet LXI	Standard-PCs	PXI
Latenz (μ s)	⊙	●	○	○	○	●	●
Übertragungsrate (MB/s)	○	⊙	○	○	⊙	●	●
Timing und Synchronisierung	○	●	○	○	⊙	○	●
Standardssoftwarearchitekturen	⊙	●	⊙	⊙	⊙	○	●
Verfügbarkeit in der Messtechnik	●	⊙	○	○	○	⊙	⊙
Kanalanzahl	○	⊙	○	○	⊙	●	●
Daten-Streaming	⊙	●	○	○	○	●	●
Verteilte und dezentrale Systeme	○	⊙/● ¹	○	○	●	⊙/● ¹	⊙/● ¹

¹Mit Ethernet-Anbindung an den Controller

○ Gut ⊙ Besser ● Optimal



ni.com



Zahlreiche Faktoren für die Evaluierung von Bustechnologien wurden bereits behandelt. Obige Tabelle bietet einen Überblick und fasst die erwähnten Punkte und einige der wichtigsten Faktoren zusammen, die bei der Auswahl von Bustechnologien berücksichtigt werden sollten. PXI beispielsweise ist die beste Lösung hinsichtlich Latenz, Durchsatz, Timing und Synchronisation. Daher ist es eine gute Wahl für Anwendungen mit hoher Kanalanzahl oder Daten-Streaming.

Vergleich der Instrumentierungsbusse

	GPIB	VXI	1394a	USB	TCP/IP Ethernet	LXI	Standard-PCs	PXI
Latenz (µs)	60-100	0,6-1	100-2000	1000-8000 (USB 1.1) 125-1000 (USB 2.0)	700-1000	700-1000	0,3-0,4	0,3-0,4
Durchsatz (MB/s)	Bis zu 8	40-160 (40 am häufigsten)	50	Bis zu 1,5 (USB 1.1) Bis zu 60 (USB 2.0)	Bis zu 12,5 (100BaseT) Bis zu 125 (1000BaseT)	Bis zu 12,5 (100BaseT) Bis zu 125 (1000BaseT)	132-528 (PCI)	132 – 528 (132 am häufigsten) 2000/Steckplatz (PXI Express)
Übertragungsrate (bit)	8	8, 16, 32, 64	Seriell	Seriell	Seriell	Seriell	8, 16, 32, 64 (PCI)	8, 16, 32, 64
Timing und Synchronisation	Nein	Definiert 10-MHz-Referenztakt 8 TTL-Triggerkanäle 2 ECL-Triggerkanäle Lokaler Bus (Sub-Mikrosekunde)	Nein	Nein	Nein	IEEE-1588 Synchronisationsprotokoll (Sub-Mikrosekunden)	Proprietär	Definiert 10 MHz/100 MHz Referenz-takt 8 TTL Triggerkanäle STAR Trigger Lokaler Bus (Nanosekunde) Differenzielle Trigger
Max. Entfernung ohne Repeater (m)	20	20	4,6	5	200 (100BaseT) 25 (1000BaseT)	200 (100BaseT) 25 (1000BaseT)	0	200
Max. Entfernung mit Repeater (m)	2000	20	500	25	unbegrenzt	Unbegrenzt	200	200
Steuerschleifenfrequenz	Sekunden	Mikrosekunden	Sekunden	Sekunden	Sekunden	Sekunden	Nein	Mikrosekunden
Standard-Software - Framework	VISA verfügbar	VXI-Plug&Play-definiert	VISA verfügbar	VISA verfügbar	VISA verfügbar	VISA verfügbar	Nein	Definiert
EMI-Shielding	Optional	Definiert	Optional	Optional	Optional	Optional	Je nach Karte	Je nach Modul
Modular	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja



ni.com



In dieser Tabelle haben wir die wichtigsten Leistungsmerkmale quantitativ erfasst und für Sie aufgelistet.

Zusammenfassung

- Keine Bustechnologie erfüllt alle Anforderungen
 - GPIB → für Stand-alone-Geräte, spezielle Instrumente
 - PCI/PCI Express → beste Übertragungsrate und niedrigste Latenz
 - USB → automatische Erkennung durch Plug&Play-Anbindung
 - LAN/LXI → verteilte oder dezentrale Systeme
- Modulare Plattformen bieten die größte Flexibilität durch die Software
- Oft sind hybride Systeme nötig, um mehrere Technologien zu integrieren



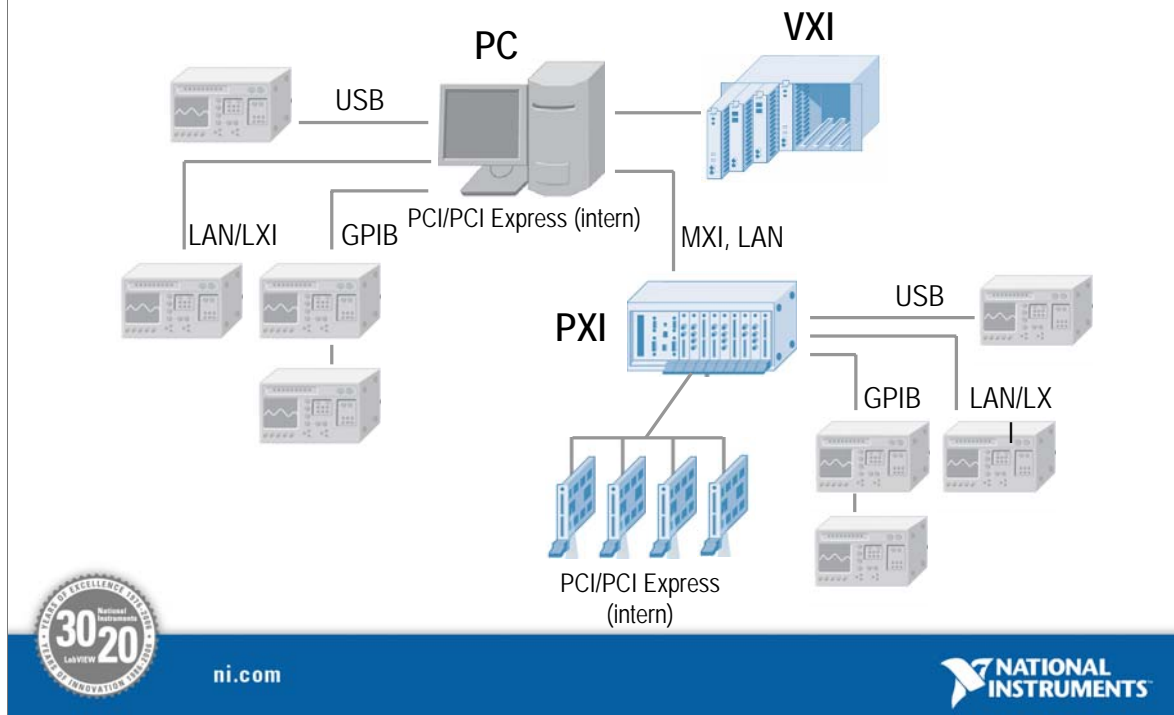
ni.com



Bei der Erstellung eines Mess- und Prüfsystems sollten Anwender immer im Hinterkopf behalten, dass es keine Bustechnologie gibt, die allen Anforderungen gerecht wird. GPIB eignet sich am besten für die Anbindung an Stand-alone-Messgeräte. PCI und PCI Express bieten insgesamt die beste Leistung hinsichtlich Übertragungsrate und Latenz. USB besitzt die einfachste Anbindung mit automatischer Hardwareerkennung und LAN bietet sich für verteilte oder dezentrale Anwendungen an.

Modulare Plattformen wie PXI verfügen über die größte Flexibilität bei Messungen und Analysen, da sie Anwendern statt festgelegter Funktionen offene Software zur Verfügung stellen. Sollte der Entwurf schließlich ein hybrides System voraussetzen, muss eine Softwarearchitektur gewählt werden, welche verschiedene Bustechnologien nahtlos integriert.

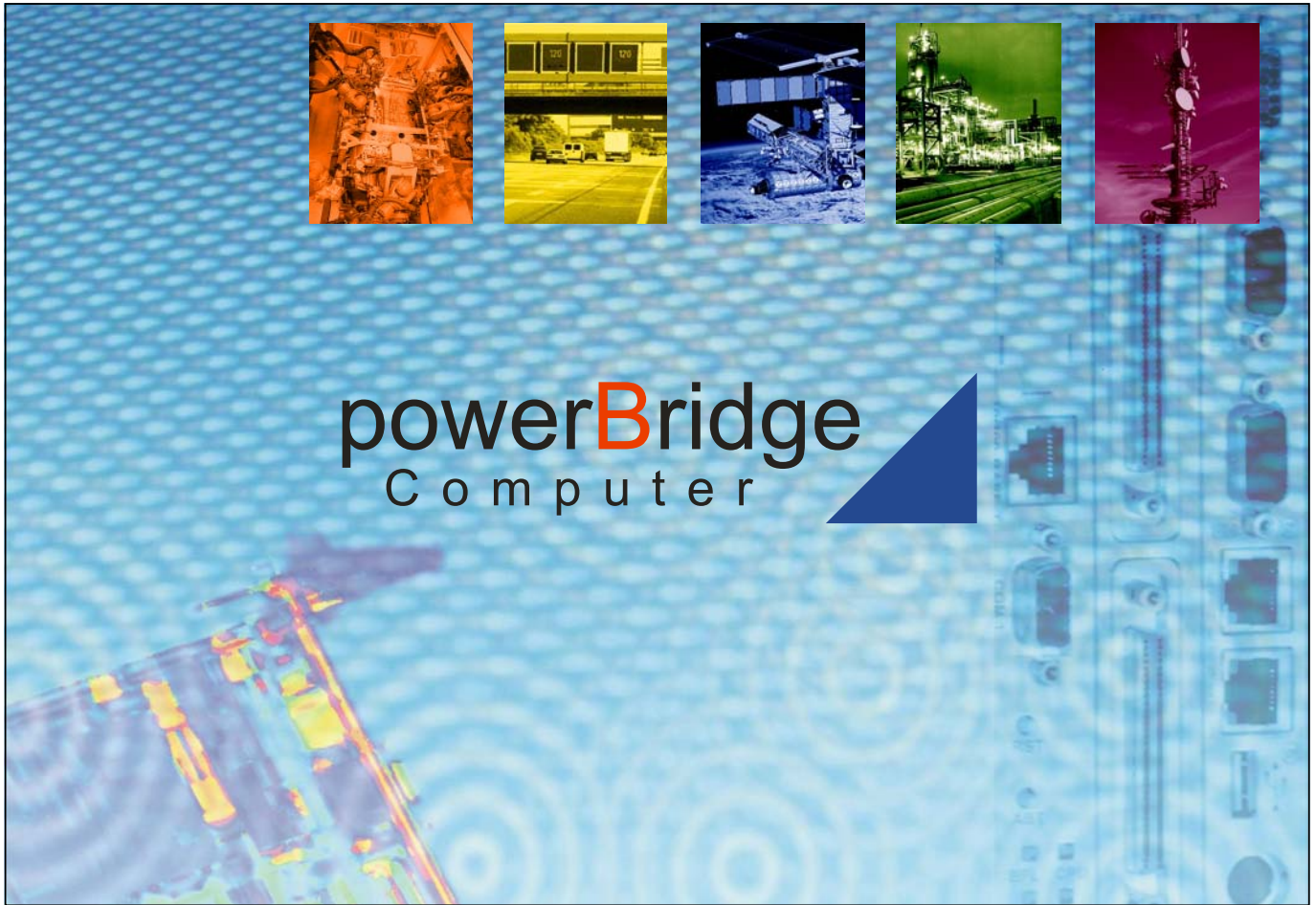
Hybride Systeme



Ungeachtet der Leistung eines Busses oder einer Plattform kann eine einzige Technologie eventuell nicht alle Anforderungen eines Mess- und Prüfsystems erfüllen. Möglicherweise muss bestehende oder spezielle Ausstattung kombiniert werden, die über eine heterogene Busanbindung verfügt. Hybride Mess- und Prüfsysteme kombinieren Komponenten von mehreren ATE-Bussen, wie etwa PCI, GPIB, VME, USB oder LAN. Solche Systeme sind in hohem Maße von einer offenen Softwarearchitektur abhängig, damit die Technologien nahtlos integriert werden können.

Da modulare PXI-Geräte den in der PXI-Backplane integrierten Takt und Trigger-Bus ausnutzen, um Timing und Synchronisation zu erreichen, die zwischen Stand-alone-Geräten nicht möglich wäre, wird PXI oft als Kernstück eines hybriden Systems verwendet. In einer solchen Konfiguration wählen Anwender PXI-Geräte für die Teile des Prüfsystems, bei denen genaues Timing und genaue Synchronisation die größte Rolle spielen, und die Stand-alone-Geräte als Peripheriegeräte anbinden. Ein PXI-System kann auch selbst als Peripheriegerät auftreten, wenn es an einen PC angeschlossen wird, so als wäre es ein Stand-alone-Messgerät. Hybride Systeme ermöglichen zudem die Integration bewährter Technologien wie VXI.

Der Schlüssel für die Erstellung und Wartung eines hybriden Systems ist die Implementierung einer Softwarearchitektur, die auf transparente Weise verschiedene Bustechnologien unterstützt.



powerBridge Computer

- Founded in 1993, Headquartered in Burgwedel / Hanover
- Distribution of computer boards and systems into telecom, industrial automation, traffic control, and defence applications
- World Leading Manufacturers: ADLINK, Interphase, Motorola Embedded Communication Computing Group, Schroff, TEWS, Thales Computers
- Products: Boards, Systems, Systemintegration, OEM-Solutions, Driver, Protocols, Operating systems
- Standards: VMEbus, CompactPCI, microTCA, AMC, PMC, IndustryPack,



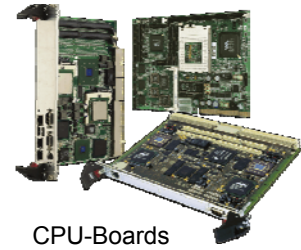
Boards & Systems for Industrial Applications



Communication



I/O-Boards



CPU-Boards



Systemdevelopment
and -integration



VMEbus and CompactPCI
Industrial Chassis



Software



Industrial PC's



Embedded-PCs



AdvancedTCA

PICMG 3.0

Thomas Holzapfel, Kay Klockmann, powerBridge Computer



Standardization Organisation



■ PCI-Bus (Peripheral Component Interconnect Bus)

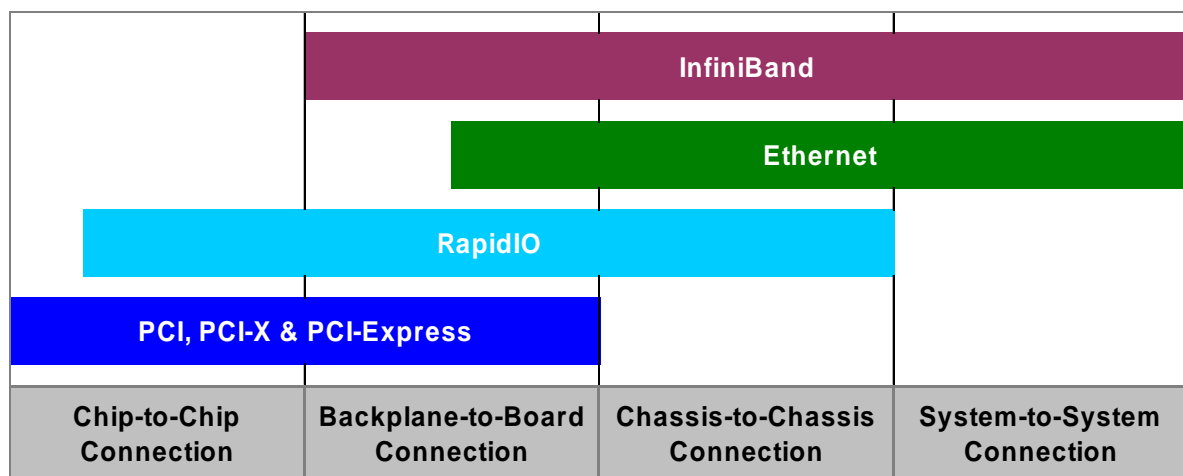
- Standardization: by PICMG (PCI Industrial Computers Manufacturers Group)
- Bus architecture: Parallel 1 to 8 Slots, 32-bit/64-bit, 33/66 MHz
- Standards: PCI, cPCI, PICMG 2.16 / CompactTCA, PXI
- Mezzanines: PMC, PrPMC, PTMC, PC104+, MiniPCI
- Data rate: 132 .. 528MByte/s

■ AdvancedTCA (Advanced Telecommunication Computing Architecture)

- Standardization: by PICMG
- Bus architecture: Serial communication via Ethernet, InfiniBand, ATM, FC, .. 1 to 24 Slots
- Mezzanines: AMC (Advanced Mezzanine Card)
- Data rate: up to 40Gbit/s per Slot



Bus connection overview



Comparison ATCA vs. CPCI

■ PICMG 2.X Limitations

- Max. power per slot 50/100W (cTCA)
- Card format limits functions
- Rear I/O not usable for optical connections
- Weak connectors

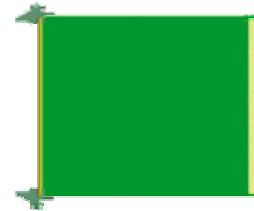
■ PICMG 3.X Advantages

- Max. power per slot 200W
- Bigger form factor 8Ux280mm
- No dedicated rear I/O format
- Robust connectors

CompactPCI®



AdvancedTCA™



powerBridge
Computer

Why ATCA/ ATCA Advantages

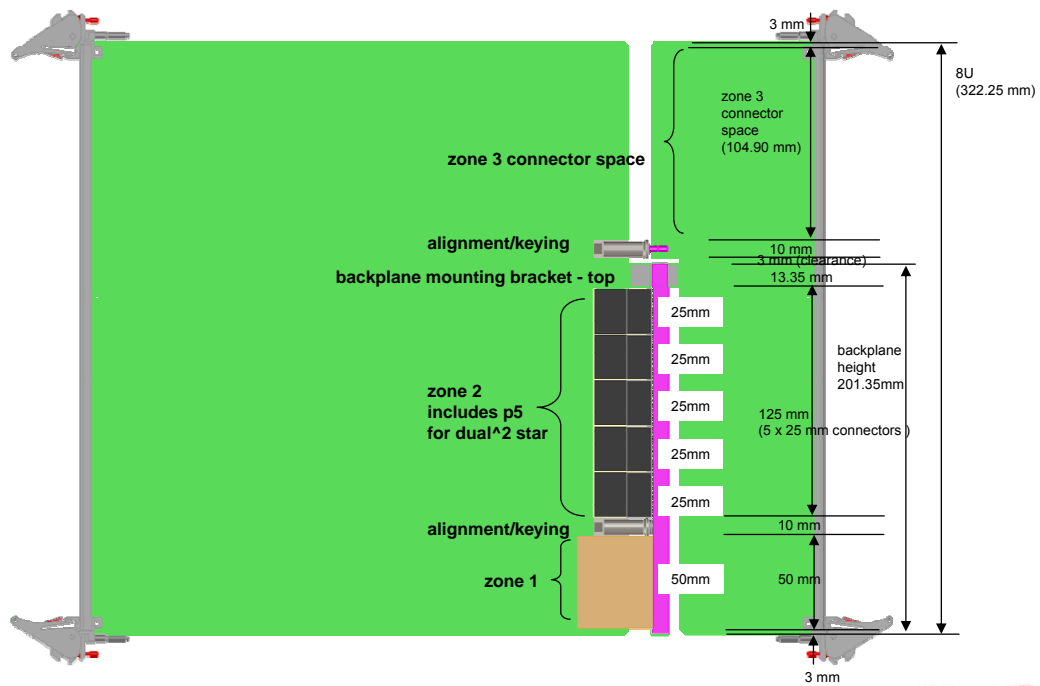
AdvancedTCA™

- ATCA delivers highest availability and processing power
- 200W power dissipation per slot and bigger board form factor (8Ux280mm) enables high-end CPUs and switches
- Originally proposed for telecom applications, ATCA penetrates new applications fields like simulation, and medicine and real-time processing of fast signals
- Worldwide accepted standard (more than 100 companies)

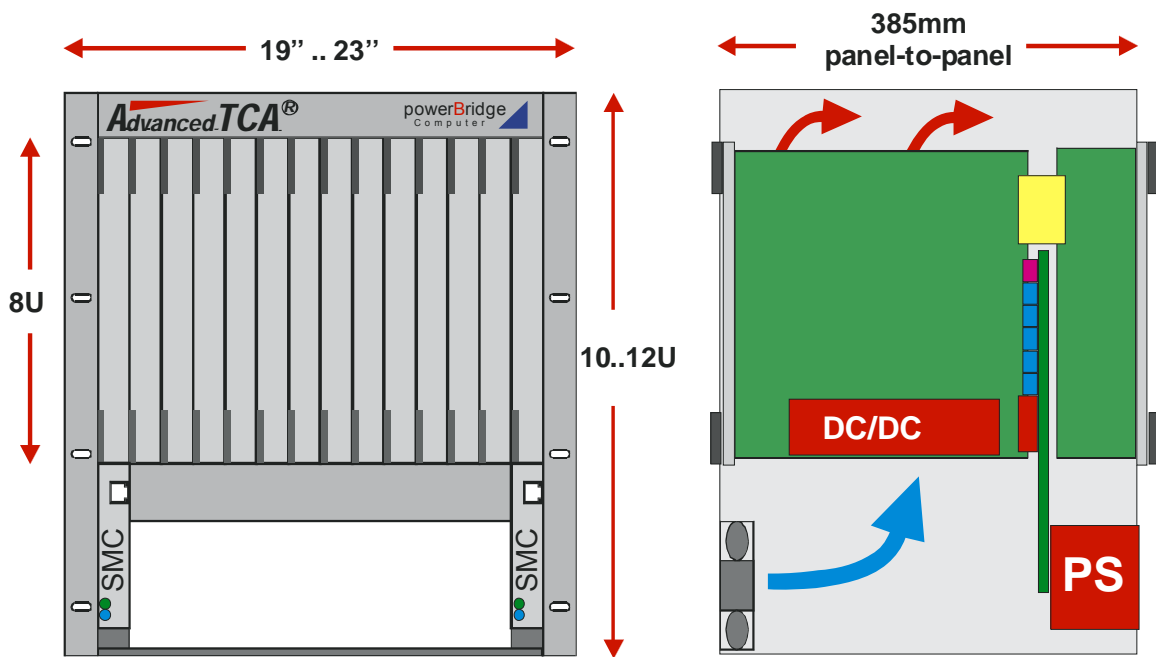
Networkconnection		AdvancedTCA PICMG 3.0	
Description	Topology	PICMG 3.x	Bandwidth
Ethernet und Fibre-Ch	Dual Star	3.1	10Gbits/s
Infiniband	Dual Star or Full Mesh	3.2	30Gbits/s
StarFabric	Dual Star or Partial Mesh	3.3	10Gbits/s
PCI Express/AS	Dual Star or Full Mesh	3.4	10Gbits/s/Lane
Serial RapidIO	Dual Star or Partial Mesh	3.5	10Gbits/s

powerBridge
Computer

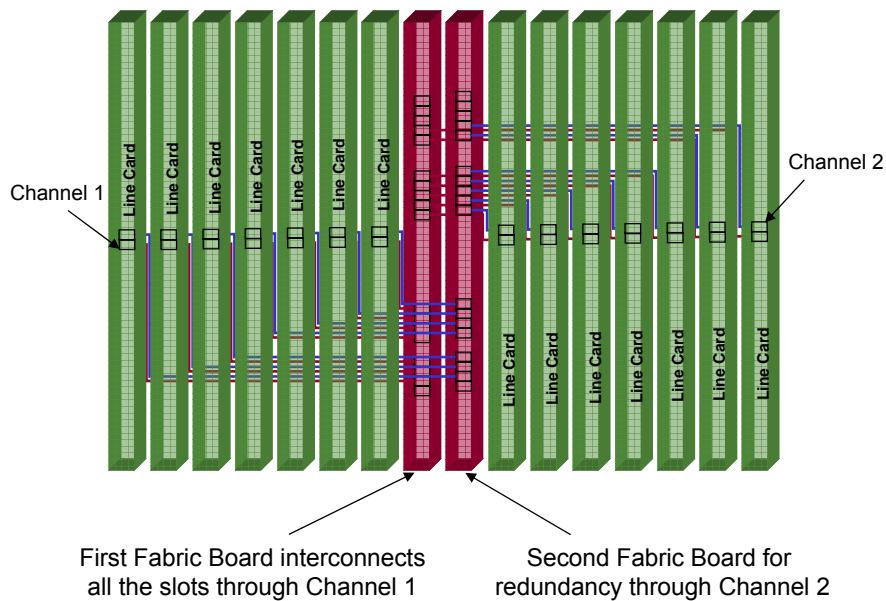
ATCA Formfactor



ATCA Chassis



Dual Star topology, PICMG 3.3/3.4



powerBridge
Computer

Network connections

- InfiniBand
 - Point-to-point connection
 - Switchable connection (no Hubs)
 - Bandwidth not shared
 - "Unlimited" nodes (Size of VC memory is the only limitation)
- PCI-Express
 - Point-to-point connection
 - Switchable connection
 - Limited nodes (limited resources)
- Serial RapidIO
 - High performance, low pin count
 - Intrasystem interface for memory/storage or board-to-board connection
- Ethernet
 - Fast Ethernet
 - Mature/legacy technology
 - GbE
 - Defacto standard in computing
 - 10GbE
 - Uplink/Interlink function in ATCA switches and backbones

powerBridge
Computer

System hardware management

- Chassis Management/System Management Controller
 - Handles complete chassis incl. fans, PSUs
 - IPMI serial bus for access to shelf resources
 - E.g. Pigeon Point SW/ OS independant
 - Manageable via SNMP or local console
- Payload/Device management
 - Hot-swap management
 - Reset and power supply control
 - Thermal and voltage monitoring



ATCA management standards

- SAF (Service Availability Forum)
 - SMS (System Management Specification)
 - Monitoring and control access to AIS and HPI
 - AIS (Application Interface Specification)
 - Interfaces HA applications and middleware
 - HPI (Hardware Platform Interface)
 - Interfaces hardware and middleware
 - PICMG worked with the Service Availability Forum to harmonize SAF's HPI specification with AdvancedTCA



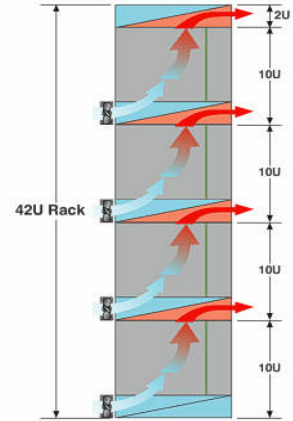
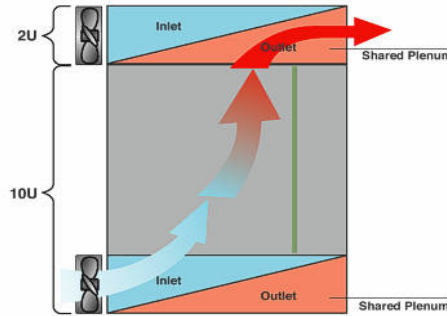
ATCA-8014 AdvancedTCA Rack

AdvancedTCA™

ADLINK
TECHNOLOGY INC.

■ Key Features

- 10HE AdvancedTCA Chassis, Hot-Swap Support, PICMG 3.0 R1 kompatibel,
- Bis zu 4 Chassis pro 19"-Schrank möglich
- 12 Payload und zwei Switch Steckplätze
- Dual-Star, Dual-Dual-Star oder Full-Mesh 10/100/1000BaseT Backplane
- Redundante Stromversorgung: -48 V oder optional 110/240 V
- 200 W pro Slot



powerBridge
Computer

ATCA-6890 High-End AdvancedTCA CPU

ADLINK
TECHNOLOGY INC.

AdvancedTCA™

■ Key Features

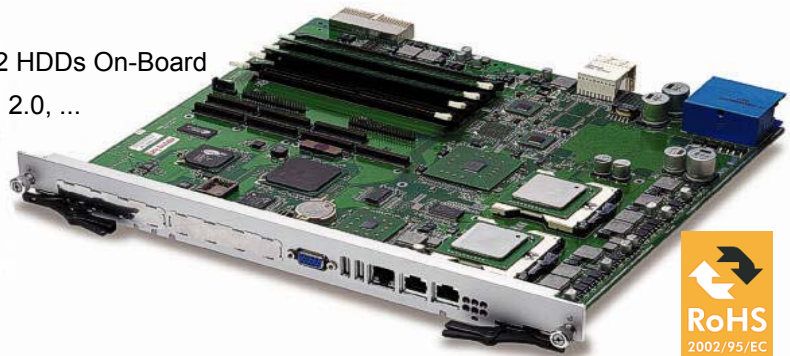
- 8HE/4TE High-Performance CPU-Board
- Dual 3.7 GHz Xeon / NG Xeon Prozessor
- Intel 7520 Server Chipsatz, 800 MHz FSB
- Bis 16 GB Dual Channel SDDC DDR-II RAM (6.4 GB/s)
- Zwei 64-bit PMC-X Steckplätze
- 7 Gigabit Ethernet Ports
- Zwei SATA Ports, optional 2 HDDs On-Board
- ATI-Rage-XL Grafik, 4 USB 2.0, ...

■ Software Support

- LINUX
- VxWorks

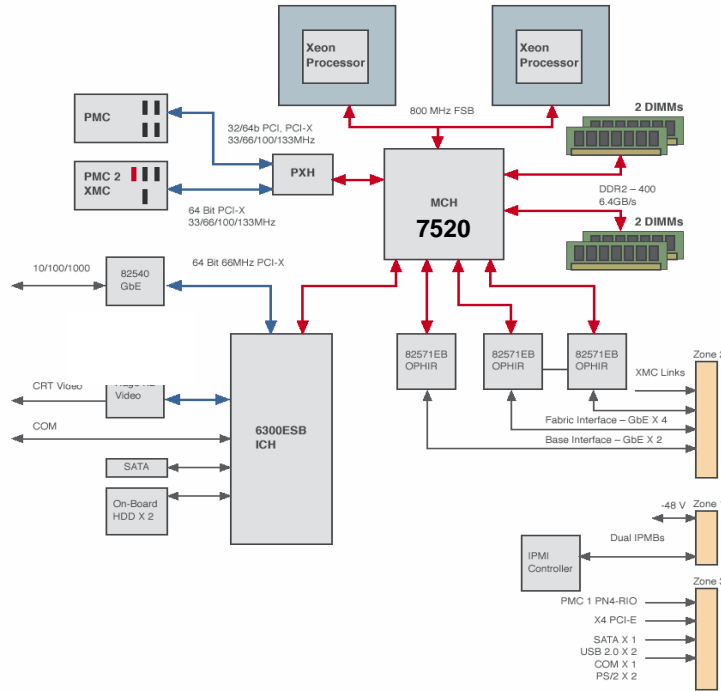
■ Verfügbarkeit

- Ende 2004



powerBridge
Computer

ATCA-6890 Blockschaftbild



AdvancedMC and uTCA

AMC.X

by Thomas Holzapfel, Kay Klockmann, pBc

Architecture

- **AdvancedTCA (Advanced Telecommunication Computing Architecture)**
 - Architecture: Ethernet, InfiniBand™, Star Fabric™, PCI-Express
- **AMC (Advanced Mezzanine Card)**
 - Architecture: Ethernet, serial Rapid IO, PCI-Express (advanced switching)
 - Wide range of I/O-functions
- **μTCA (Micro Telecommunication Computing Architecture)**
 - Defines a system architecture for AMC plugged into a backplane

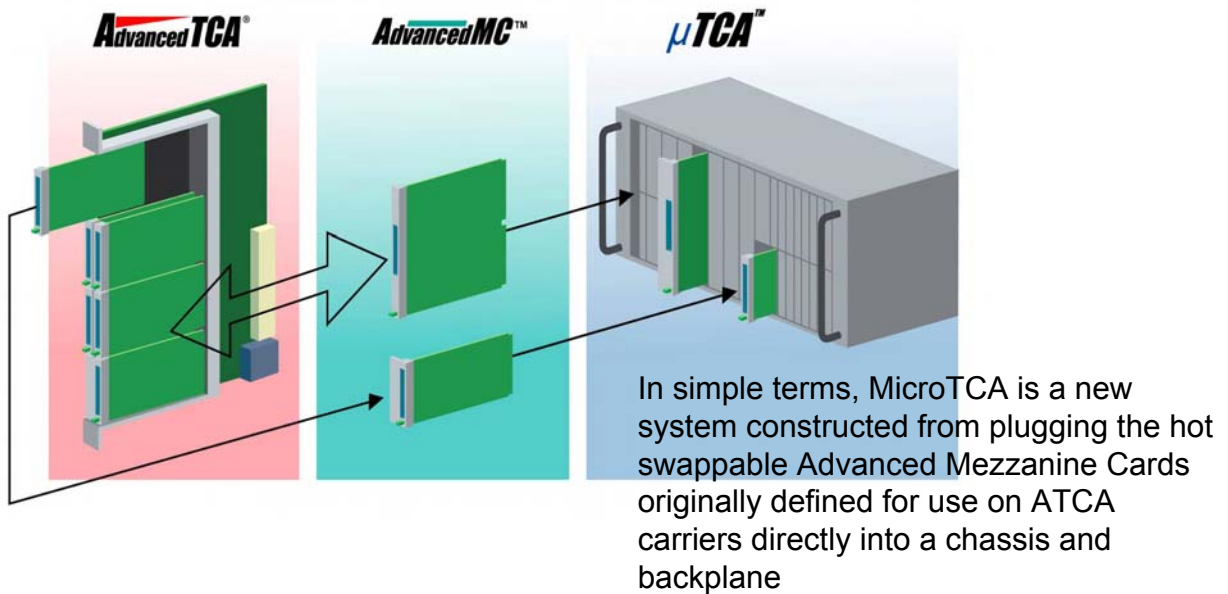


Standardization

- **AMC.0 (Advanced Mezzanine Module)**
 - Define a mezzanine building block approach for the addition of crucial functionality to a PICMG 3.0 carrier card available from a number of third party suppliers.
- **AMC.1 (Advanced Mezzanine Module PCI Express and Advanced Switching)**
 - Defines port usage for PCI Express and Advanced Switching environments on AMC.0
- **AMC.2 (Advanced Mezzanine Module Ethernet)**
 - Defines port usage for Ethernet on AMC.0
- **AMC.3 (Advanced Mezzanine Module Storage)**
 - Defines port usage for Fibre Channel on AMC.0
- **AMC.4 (Advanced Mezzanine Module Serial RapidIO)**
 - Defines port usage for Serial RapidIO on AMC.0



What is MicroTCA ?



powerBridge
Computer

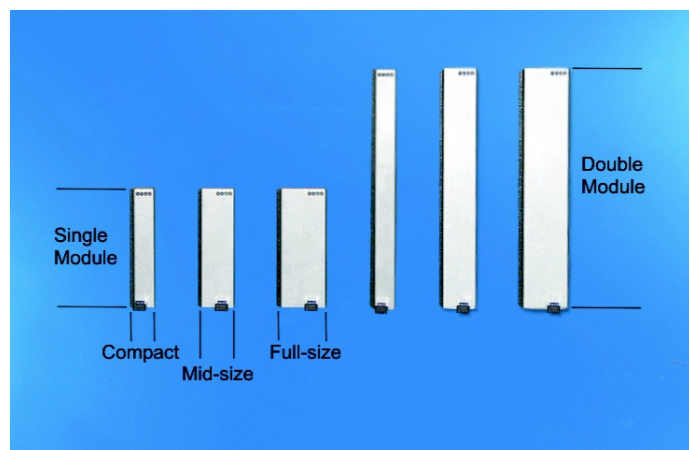
AMC Module Form Factors



■ 6 different form factors are available

- SW (single width) (74 mm)
- DW (double width) (149 mm)
- HH (half height) (15,24 mm)
- MS (mid size) (20,32 mm)
- FH (full height) (30,48 mm)

■ Modules depth 181,5 mm



powerBridge
Computer

Comparison PMC vs. AMC

Comparison	PMC	AMC
Form Factor	Single & Double Wide	Single & Double wide Full height or stacked half height
Connectors	Unshielded P1386	Shielded differential pairs (21 duplex ports)
Interconnect	PCI (66/64) PCI-X (133/64) Ethernet	„Agnostic“ 1 GbE, FC, PCI-Express, IBX, XAUI, 10GbE
Interconnect Speed	PCI: 1 – 4 Gb/s Ethernet: 1 Gb/s	1 to N+12.5 Gb/s
IPMI	None	Dedicated IPMI bus
Hot Swap	Not available	Yes
Power	7,5 – 12 Watts	20/40/60 Watts SW/HH; SW/FH; DW/HH/FH

powerBridge
Computer 

AMC Benefits



- Modularity and flexibility
- Reduced development time and cost (COTS)
- Hot Swap support
- High Speed serial interconnect (LVDS)
- Includes IPMI (limited management functions)
- Max. 60W power dissipation
- Single 12VDC power supply

powerBridge
Computer 

ATCA Carrier Boards for AMC Modules

Conventional Carriers

- Supports full and half height modules
- Up to two double or four single height modules

Cutaway Carriers

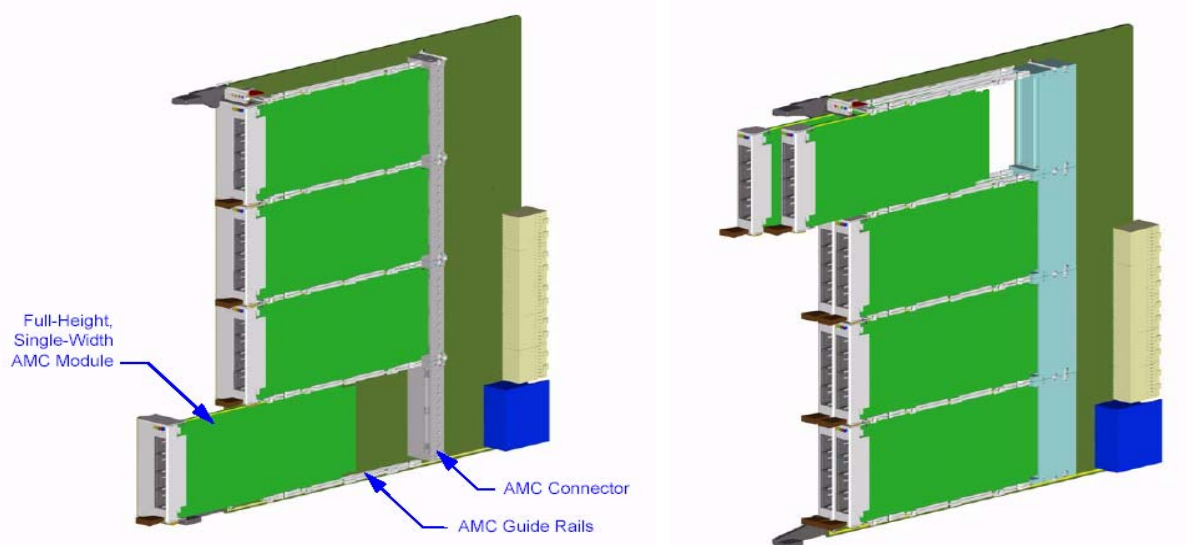
- Up to eight single width, half height modules or
- 4 double width, half height modules
- Full height only in the upper bay

Hybrid Carriers

- Mixture of both above on a single board

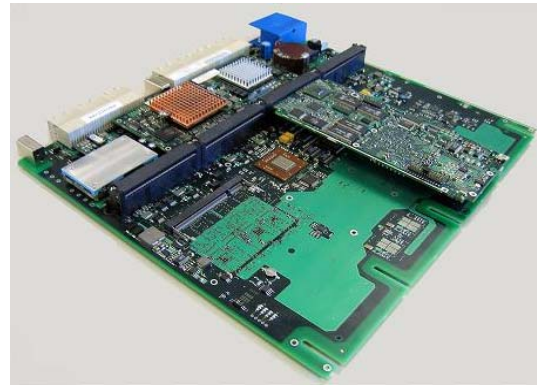


ATCA Carrier Card in Conjunction with AMC Modules



Motorola ATCA-C110

- 4x AMC Sites
- Fabric Interface Module
 - PCI-Express Control Plane
 - 24x Gbe and 2x XAUI Ethernet Switch
 - PICMG 3.0
 - PICMG 3.1
 - S-ATA Mux
- 1GHz 8540 Service Processor
 - 512MB DDR SDRAM
 - 128MB User Flash
 - CompactFlash Interface
- MV CGE Linux 4.0 (2.6)
- BBS Release 2.3 (Centellis Release 3.0)
- Netplane Core Services Release 3.0
- Optional RTM
- Qualified and Tested with PrAMC-7201



powerBridge
Computer

μ TCA

- μ TCA is new
- It's a small form-factor
- It's high volume, low-cost
- Will become an industrial standard
- It's plugged directly into a chassis and backplane
- Are Advanced Mezzanine Cards (as used on ATCA carriers)
- Final Release in 07/2006

μ TCA



powerBridge
Computer

Motorola Storage AMC-S301

■ AMC-S301 Single Disk Module

- Extended duty SATA disk, 80GB



powerBridge
Computer

Interphase AMC Roadmap



■ AMC portfolio

- iSPAN 3639 – quad/octal T1/E1 controller (GA 1Q06)
- SlotOptimizer 364G – quad GE (GA 1Q06)
- iSPAN 3677 – quad OC3/single OC12 interface adapter, WinPath
- iSPAN 3650 – quad OC3/single OC12 plus WinPath, applications SW
 - Possible 3650C for channelized OC3
- iSPAN 3632C – Channelized OC3, quad port
- iSPAN 36NP – Intel IXP 2350 NP with dual GE front and dual GE rear
- iSPAN 3676 – dual active OC3 based on dual Mindspeed
- iSPAN 3683 – Network security processor with Hifn 8350

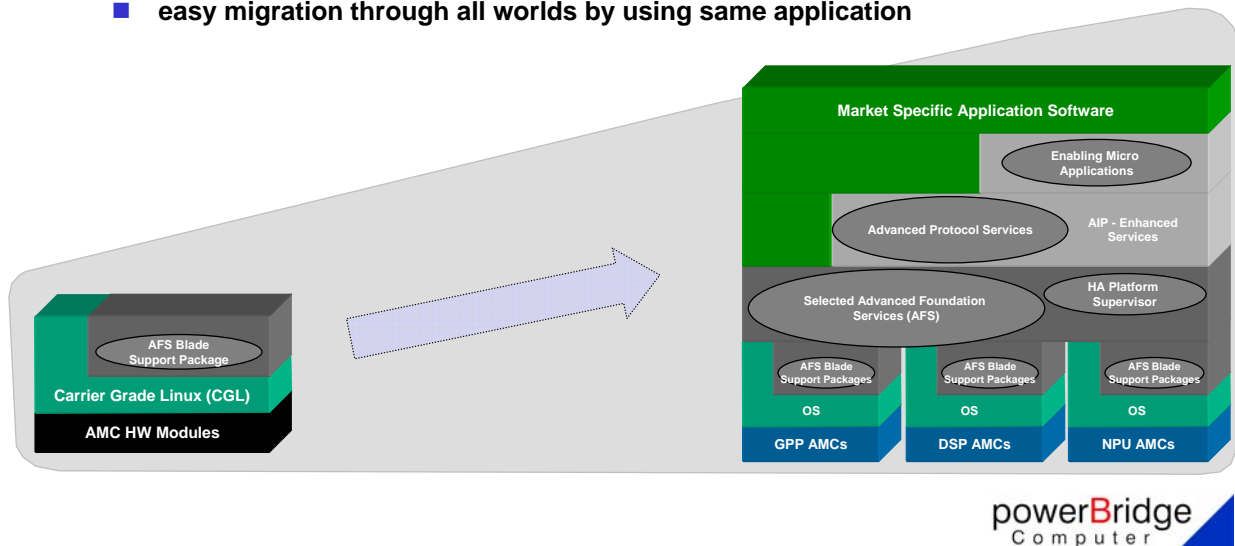


powerBridge
Computer

Application Enabled Plattform

■ Moving up the value chain

- gives the customer the freedom to concentrate on the application
- gives the customer the choice of products
- support seamless interoperability
- easy upgrade of new functions/features
- easy migration through all worlds by using same application



Summary

- 💡 MicroTCA specification is released
- 💡 connects Advanced Mezzanine Card (AdvancedMC) modules through a backplane
- 💡 it builds on the hot-swap and switch fabric capabilities
- 💡 define a modular scaleable computing platform
- 💡 capable of addressing applications that require up to 5 NINES service availability
- 💡 be cost-effective in less demanding applications
- 💡 same basic architecture between AMC, ATCA, and uTCA
- 💡 manageability of MicroTCA systems
- 💡 software migration between platforms (uTCA and ATCA) very easy
- 💡 reuseability of hard- and software
- 💡 improved cost efficiency through economie of scale

"We see MicroTCA being used in telecom edge applications where small physical size and low entry cost are key requirements, such as WiMAX access points, DSLAMs and VoIP access gateways," said Shlomo Pri-Tal, chief technology officer, Embedded Communications Computing, Motorola. "It can also support a variety of applications in medical, industrial and defense segments. The MicroTCA and AdvancedTCA standards will complement each other and together they will be able to address a very broad spectrum of applications with standards-based platforms."

Sources

- www.advancedTCA.org
- www.pcisig.com
- www.picmg.org
- www.powerbridge.de
- www.rapidio.org
- www.saforum.org
- www.starfabric.org

Legals

PICMG, AdvancedTCA, ATCA, AdvancedMC, μ TCA and their logos are trademarks of the PCI Industrial Computers Manufacturers Group

All specifications contained within this presentation are subject to change without notice



Thank you

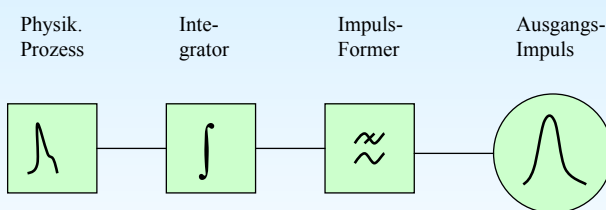


Optimierung von Pulsformern

1. Problemstellung
2. Signalformung
 - 2.1 Pol – Nullstellen Kompensation
 - 2.2 Integration mit Gauß – Impulsen
3. Optimierung
 - 3.1 Approximationen
 - 3.2 Vergleich und Auswahl
4. Schaltungsentwicklung
 - 4.1 Baugruppen
 - 4.2 Messergebnisse
5. Verbesserungen
 - 5.1 Kanalkonzept
 - 5.2 Details
6. Zusammenfassung

1. Problemstellung

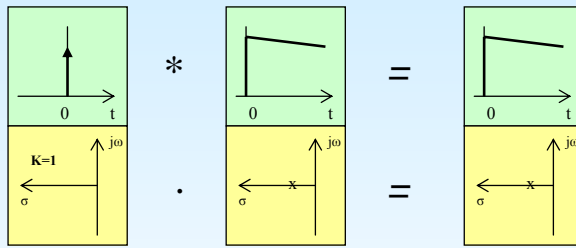
Ortsempfindlicher Neutronendetektor, Signalverarbeitung



Ziel: Prozessgröße (Ladung) soll proportional in eine Impuls-Amplitude umgewandelt werden

- * In einem ortsempfindlichen Detektorrohr werden Ladungen erzeugt
- * Ladungen erzeugen Ströme (ca. 600 ns)
- * Integration der Ströme erzeugt eine ladungsproportionale Spannung
- * Durch Impulsformung entstehen Signale mit endlicher Breite und definierter Form

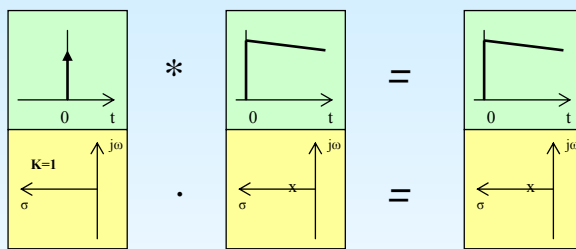
2. Signalformung
2.1 Pol – Nullstellen Kompensation



* Integrator mit großer Zeitkonstante

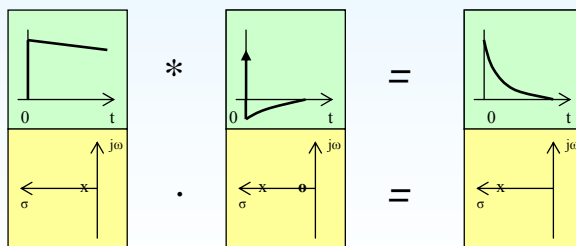
* Pol – Nullstellen Plan im Frequenzbereich

2. Signalformung
2.1 Pol – Nullstellen Kompensation



* Integrator mit großer Zeitkonstante

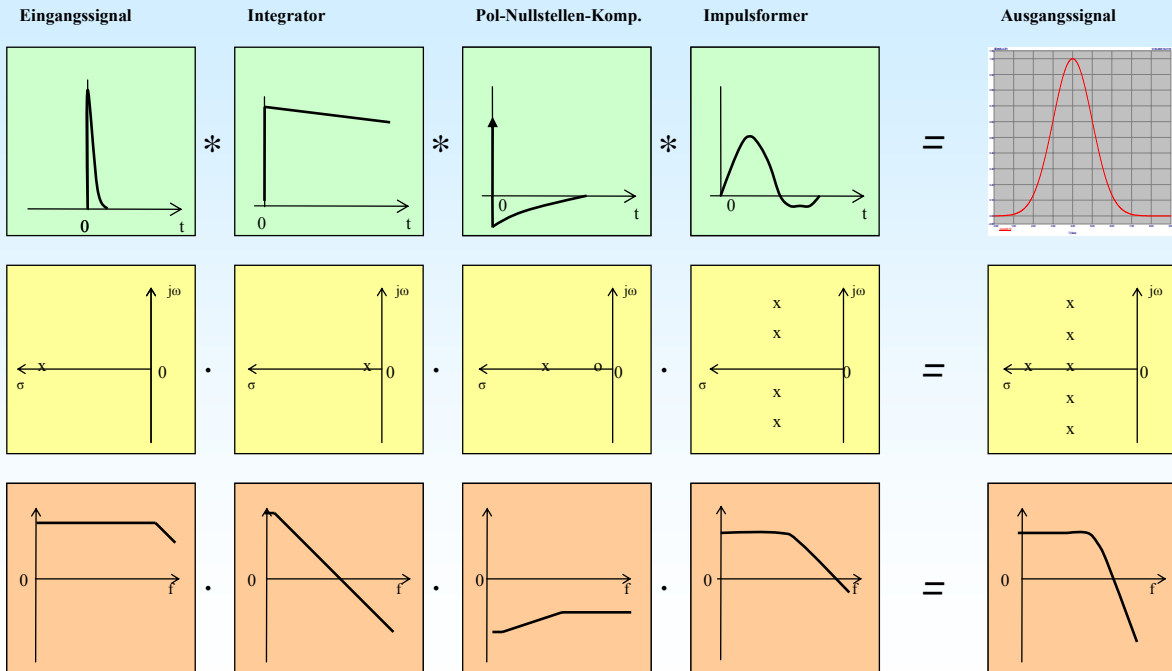
* Pol – Nullstellen Plan im Frequenzbereich



* Pol – Nullstellen Kompensation

* Pol – Nullstellen Plan im Frequenzbereich

2.2 Integration mit Gauß – Impulsen



SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

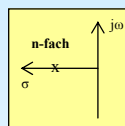
Dr. B. Namaschk

Seite: 5

3. Optimierung

3.1 Approximationen

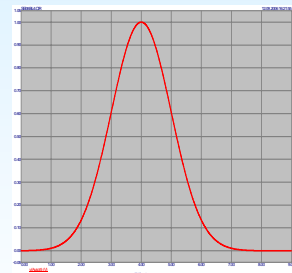
TP n-Pole



- * Einfacher Entwurf, für gute Näherung sind aber hohe Grade n notwendig
- * recht hohe Dämpfung des Eingangssignals

Zielfunktion

$$g(t) = g_0 e^{-at^*t}$$



SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

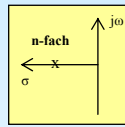
Dr. B. Namaschk

Seite: 6

3. Optimierung

3.1 Approximationen

TP n-Pole

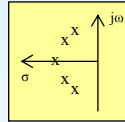


- * Einfacher Entwurf, für gute Näherung sind aber hohe Grade n notwendig
- * recht hohe Dämpfung des Eingangssignals

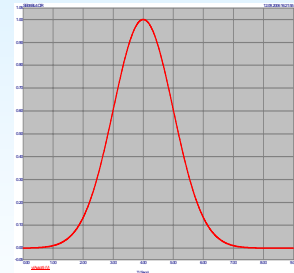
Zielfunktion

$$g(t) = g_0 e^{-at^{*t}}$$

TP Bessel



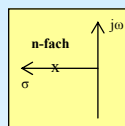
- * Einfacher Entwurf, geringerer Aufwand
- * Lineare Phase, Approximationsfehler in der Dämpfungsfunktion
- * Nachschwinger treten auf



3. Optimierung

3.1 Approximationen

TP n-Pole

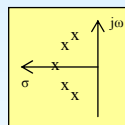


- * Einfacher Entwurf, für gute Näherung sind aber hohe Grade n notwendig
- * recht hohe Dämpfung des Eingangssignals

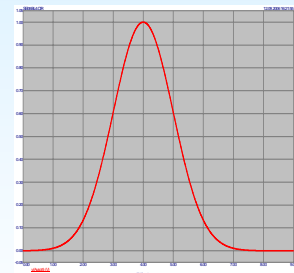
Zielfunktion

$$g(t) = g_0 e^{-at^{*t}}$$

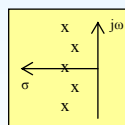
TP Bessel



- * Einfacher Entwurf, geringerer Aufwand
- * Lineare Phase, Approximationsfehler in der Dämpfungsfunktion
- * Nachschwinger treten auf



TP Gauß

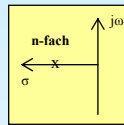


- * Ausschließlich numerischer Entwurf
- * recht hohe Dämpfung des Eingangssignals
- * Nachschwinger treten auf

3. Optimierung

3.1 Approximationen

TP n-Pole

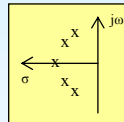


- * Einfacher Entwurf, für gute Näherung sind aber hohe Grade n notwendig
- * recht hohe Dämpfung des Eingangssignals

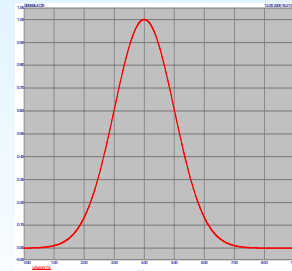
Zielfunktion

$$g(t) = g_0 e^{-at^*t}$$

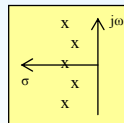
TP Bessel



- * Einfacher Entwurf, geringerer Aufwand
- * Lineare Phase, Approximationsfehler in der Dämpfungsfunktion
- * Nachschwinger treten auf

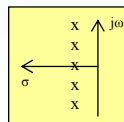


TP Gauß



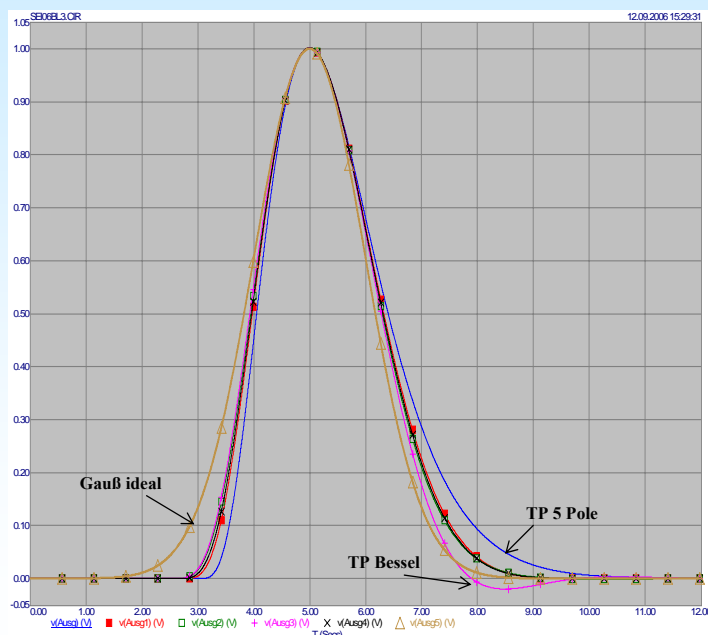
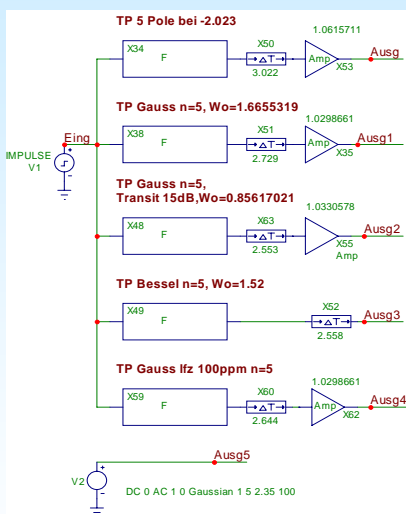
- * Ausschließlich numerischer Entwurf
- * recht hohe Dämpfung des Eingangssignals
- * Nachschwinger treten auf

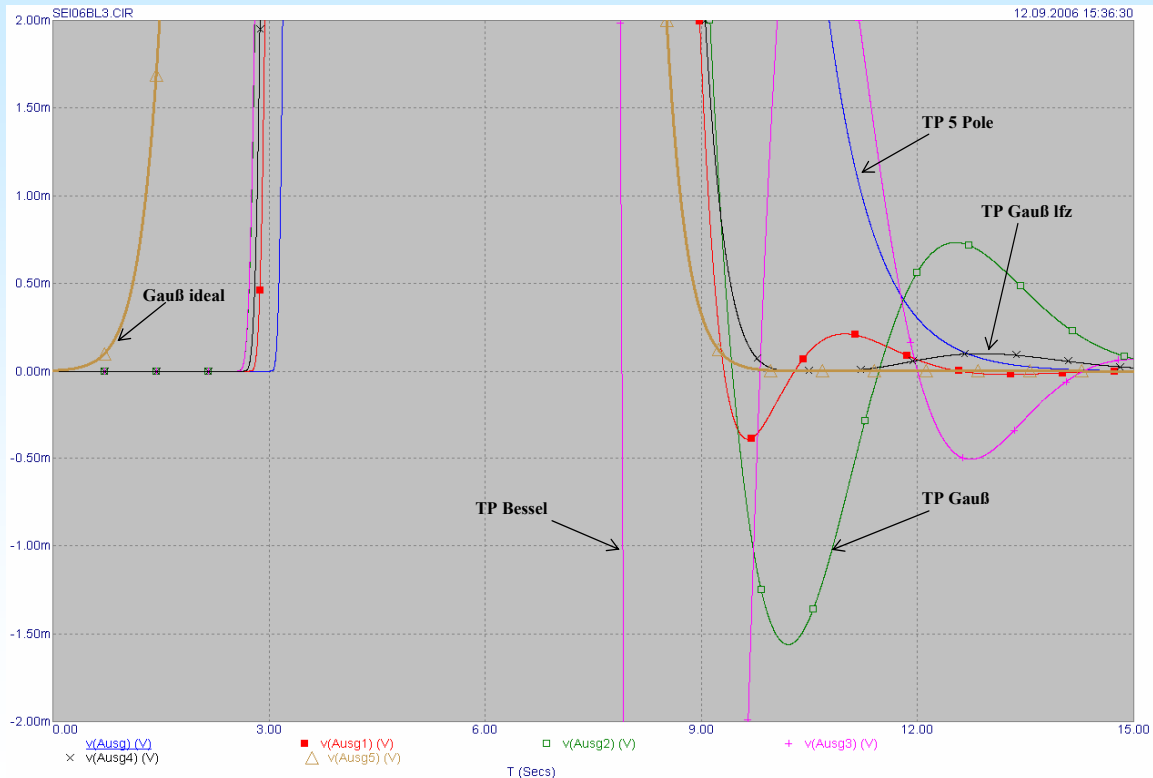
TP Gauß Ifz



- * Einfacher Entwurf
- * Gute Näherung bei geringem Aufwand
- * Nachschwinger lassen sich beliebig verkleinern

3.1 Approximationen





SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 11

3.2 Vergleich und Auswahl

- * Verglichen werden verschiedene Approximationen des Gauß – Impulses mit dem Netzwerkgrad $n = 5$.
- * TP $n = 5$ Pole hat die geringste Approximationsgüte und die größte Grunddämpfung.
- * Die Gewichtsfunktionen von TP Bessel und TP Gauß haben deutliche Nachschwinger, die sich nicht verringern lassen.
- * Die beste Annäherung an die Form der Zielfunktion gelingt mit dem TP Gauß lfz, wobei sich ein auftretender positiver Nachschwinger beliebig klein halten läßt. Diese Form wird für den Einsatz ausgewählt.

SEI-Herbsttagung 2006

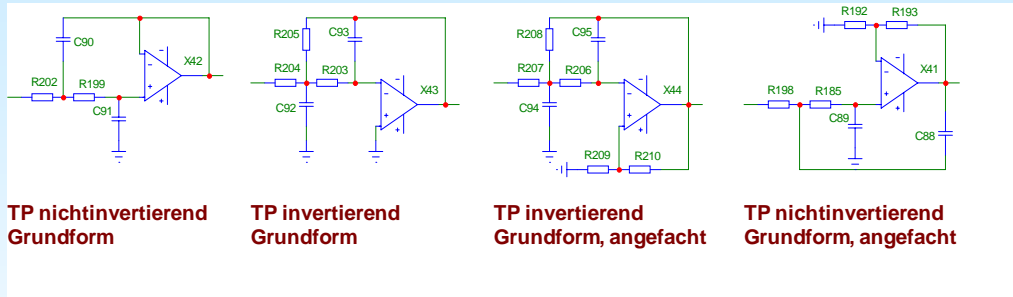
20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 12

4. Schaltungsentwicklung

4.1 Baugruppen



200

300

21.25

42.05

Verstärkungs-
Empfindlichkeits-
Produkt

400

900

7.22

4

maximales
Schaltelemente-
Verhältnis

Entwurfsbeispiel: $Q=10$ $V=1$ $Q_0=1$

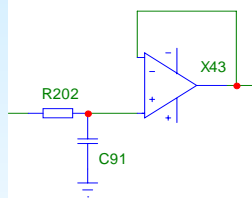
SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

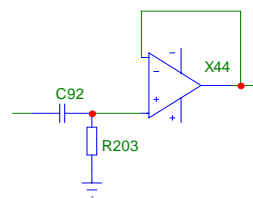
Seite: 13

Einzelpol



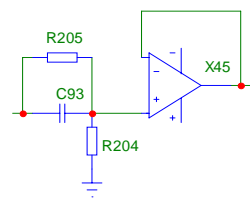
* Diesen Einzelpol erhält man aus der Tiefpass-Approximation

Einzelpol mit Nullstelle bei $f=0$



* Durch Vertauschung der Schaltelemente entsteht eine zusätzliche Nullstelle

Einzelpol mit Nullstelle bei f ungleich 0, Hochpaßtyp



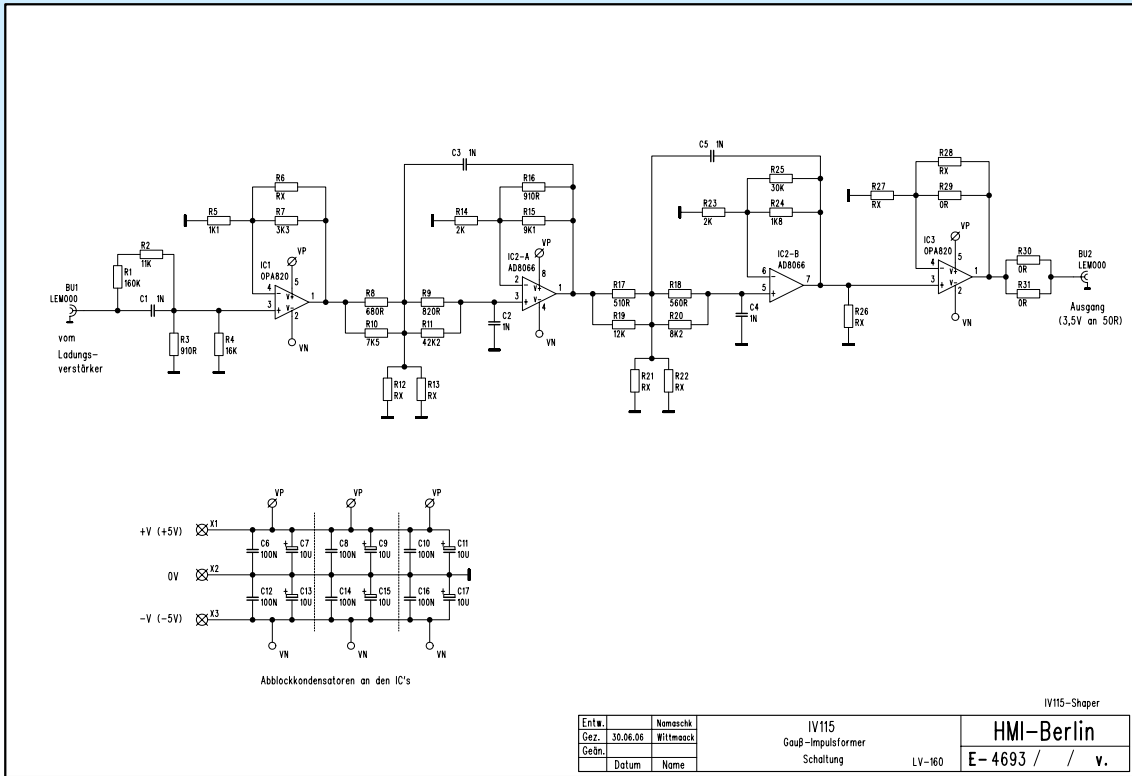
* Der Widerstand parallel zum Kondensator bildet eine reelle Nullstelle, geeignet zur Pol-Nullstellen Kompensation

SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 14



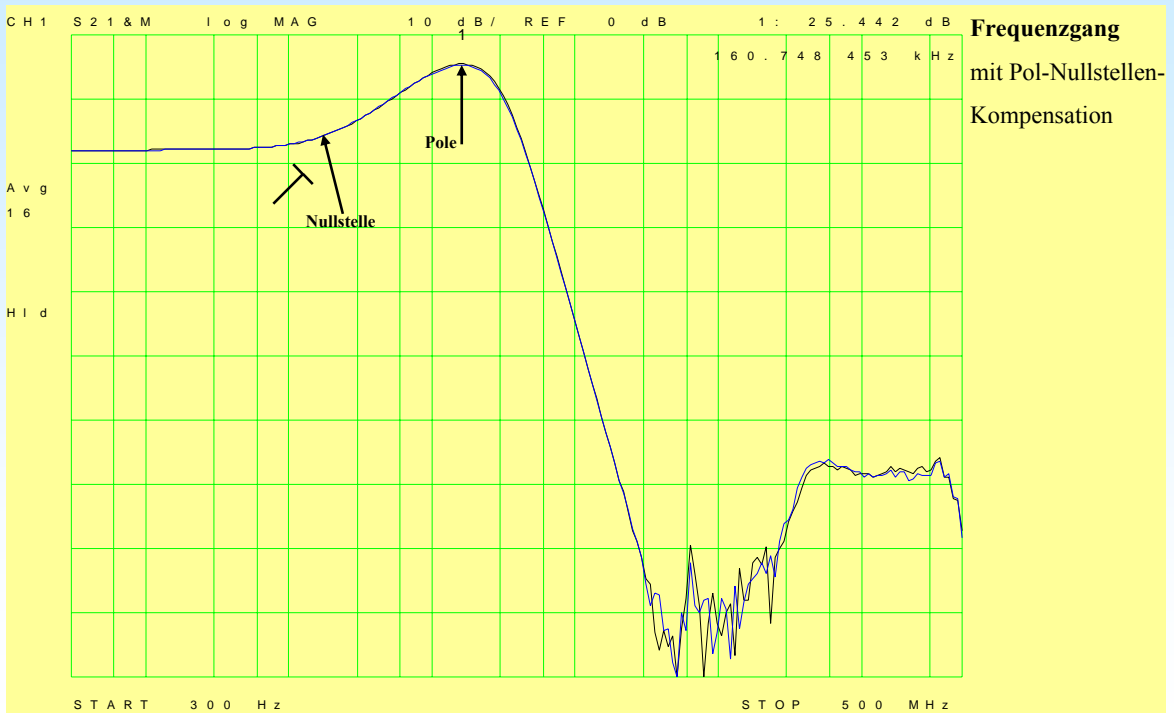
SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 15

4.2 Messergebnisse

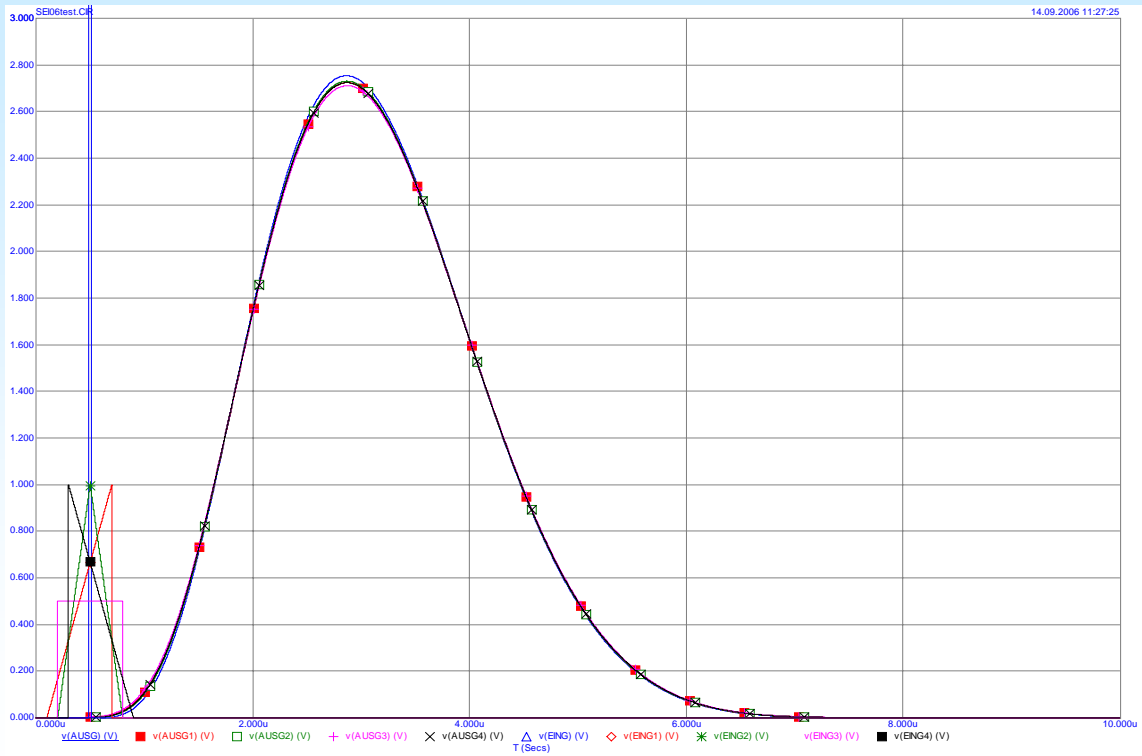


SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 16

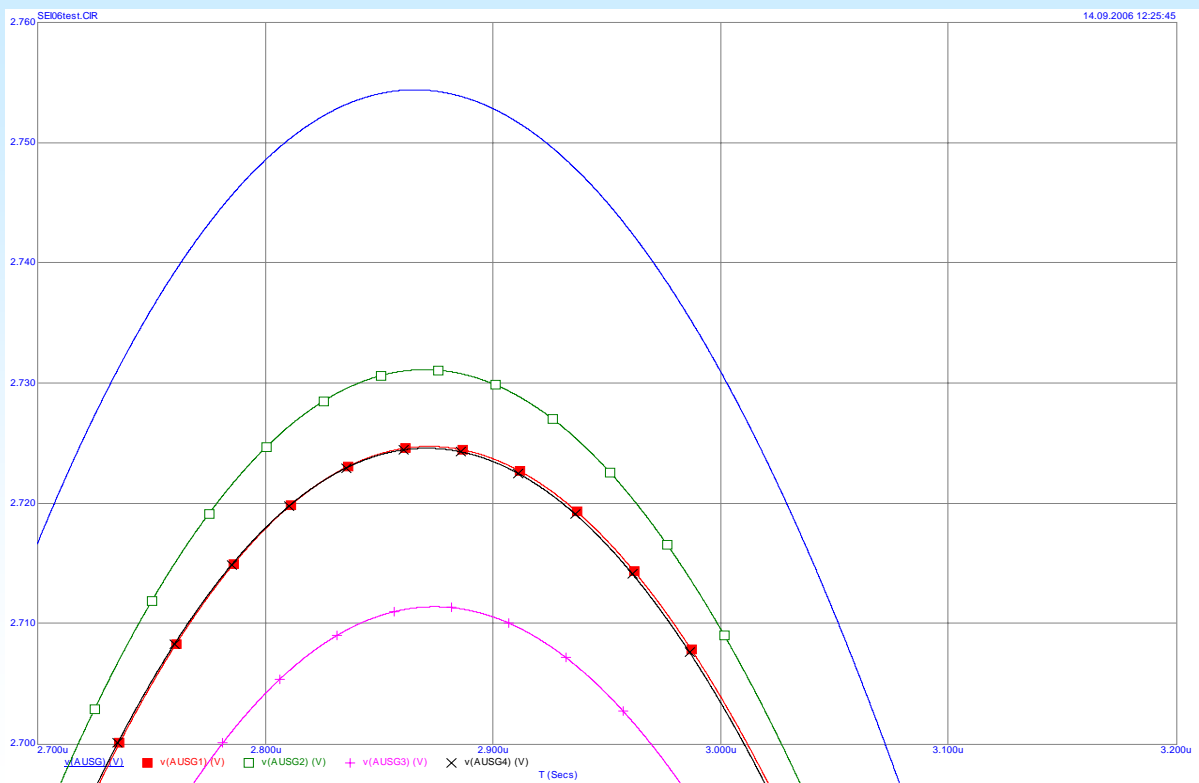


SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 17



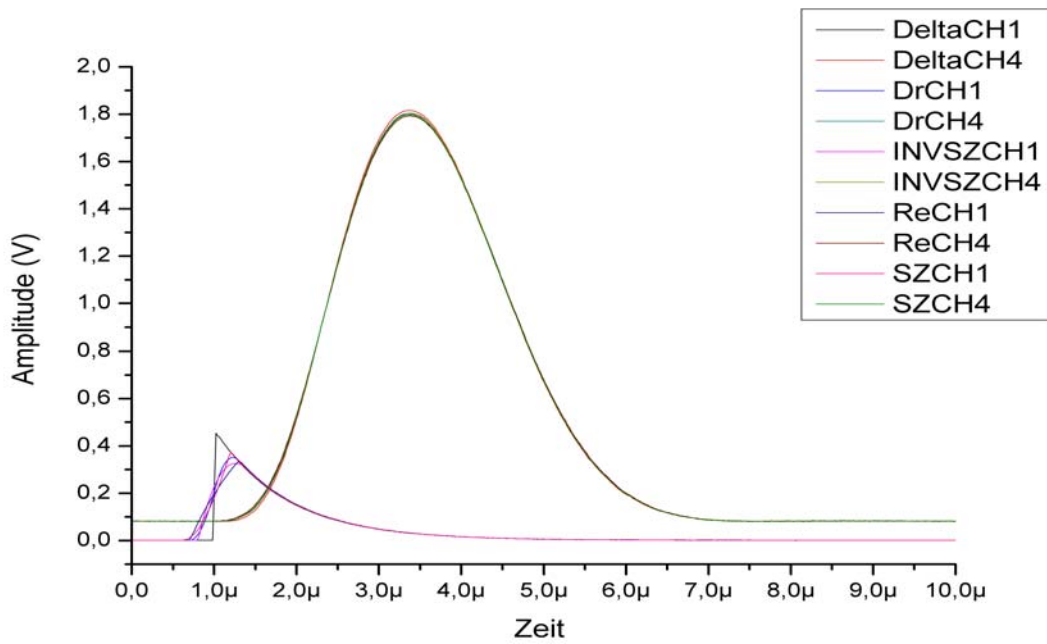
SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 18

6. Ergebnisse



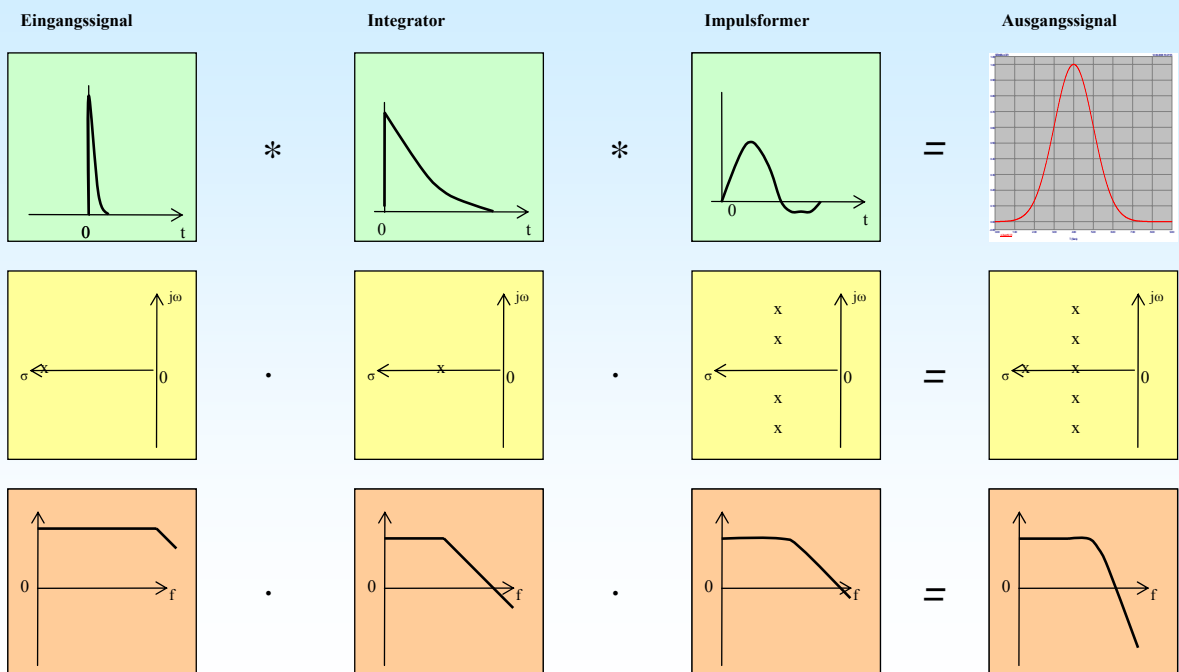
SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 19

5. Verbesserungen 5.1 Kanalkonzept



SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

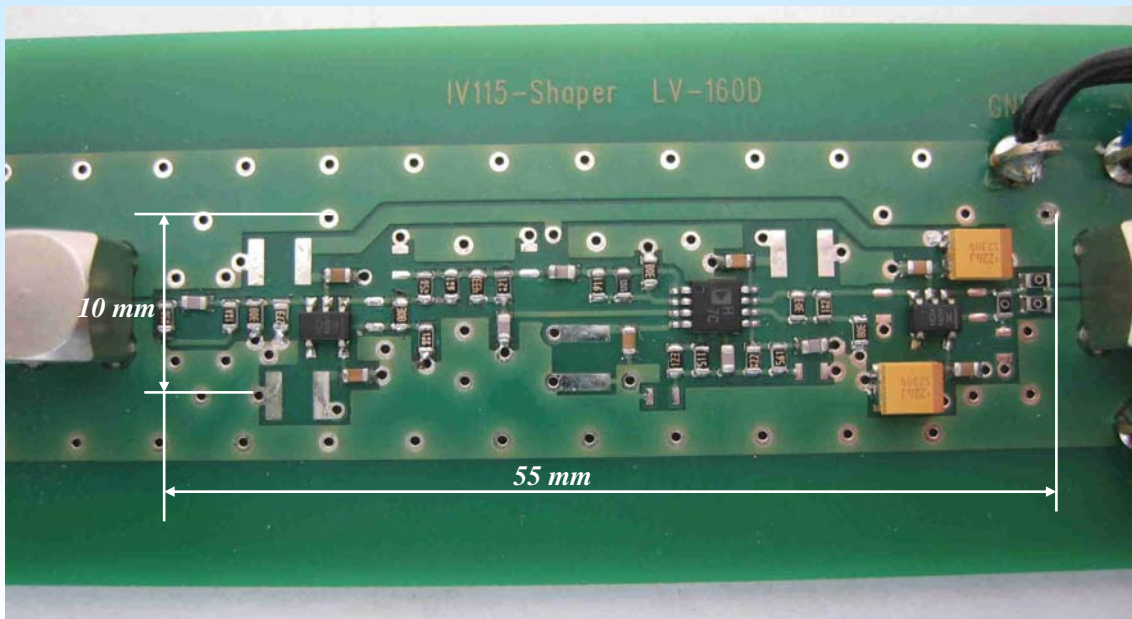
Seite: 20

5.2 Details

- DC Offset am Ausgang ist kleiner als ± 15 mV.
- Bandbreite der Verstärker ist ca. $1000 f_g$ (f_g Bandbreite des Impulsformers), dieser Wert verhindert nennenswertes Unterschwingen direkt nach einem Ausgangsimpuls.
- Die Gesamtverstärkung ist zwischen 2 und 20 wählbar.
- Der Ausgang treibt direkt 50 Ohm. Der 0.1 dB Kompressionspunkt liegt bei mehr als $2V_s$ an 50 Ohm.
- Die Spannungsversorgung erfolgt mit ± 5 V, Stromaufnahme ca. 25 mA.
- Alle Kondensatoren haben den gleichen Wert und den Temperaturkoeffizienten NP0.

6. Zusammenfassung

- Gauß-Impulsformer dienen zur zeitlichen Begrenzung integrierter Signale in Impulsmesssystemen, damit definierte Zählraten erreicht werden können.
- Eine gute Approximation eines gaußförmigen Ausgangssignals erhält man durch den Einsatz von Laufzeitfiltern bereits mit einem Netzwerkgrad von 5.
- Die Beeinflussung der Amplitude des Ausgangssignals durch die Form des Eingangssignals hängt nur vom Verhältnis der Impulsbreite
- von Ausgangs- zu Eingangssignal ab. Je größer das Verhältnis, umso kleiner ist der Einfluß.
- Es ist daher möglich, den reellen Pol aus dem Impulsformer herauszulösen und als Integrator mit relativ kurzer Abklingzeit zu verwenden. Dadurch ist Pol-Nullstellen-Kompensation nicht mehr erforderlich.
- Messungen mit Testsignalen bestätigten die durch Simulation ermittelten Beeinflussungen der Amplitude der Ausgangssignale qualitativ und quantitativ.
- Die Gesamtschaltung einschließlich Leitungstreiber und Trennverstärker findet auf einer Leiterkartenfläche von ca. 1 cm x 5 cm Platz.



SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 23



High Performance, 145 MHz
FastFET™ Op Amps
AD8065/AD8066

FEATURES

- FET input amplifier
- 1 pA input bias current
- Low cost
- High speed: 145 MHz, -3 dB bandwidth (G = +1)
- 180 V/μs slew rate (G = +2)
- Low noise
- 7 nV/√Hz (f = 10 kHz)
- 0.6 fA/√Hz (f = 10 kHz)
- Wide supply voltage range: 5 V to 24 V
- Single-supply and rail-to-rail output
- Low offset voltage: 1.5 mV maximum
- High common-mode rejection ratio: -100 dB
- Excellent distortion specifications
- SFDR -88 dBc @ 1 MHz
- Low power: 6.4 mA/amplifier typical supply current
- No phase reversal
- Small packaging: SOIC-8, SOT-23-5, and MSOP-8

GENERAL DESCRIPTION

The AD8065/AD8066¹ FastFET amplifiers are voltage feedback amplifiers with FET inputs offering high performance and ease of use. The AD8065 is a single amplifier, and the AD8066 is a dual amplifier. These amplifiers are developed in the Analog Devices, Inc. proprietary XFCB process and allow exceptionally low noise operation (7.0 nV/√Hz and 0.6 fA/√Hz) as well as very high input impedance.

With a wide supply voltage range from 5 V to 24 V, the ability to operate on single supplies, and a bandwidth of 145 MHz, the AD8065/AD8066 are designed to work in a variety of applications. For added versatility, the amplifiers also contain rail-to-rail outputs.

Despite the low cost, the amplifiers provide excellent overall performance. The differential gain and phase errors of 0.02% and 0.02°, respectively, along with 0.1 dB flatness out to 7 MHz, make these amplifiers ideal for video applications. Additionally, they offer a high slew rate of 180 V/μs, excellent distortion (SFDR of -88 dBc @ 1 MHz), extremely high common-mode rejection of -100 dB, and a low input offset voltage of 1.5 mV maximum under warmed up conditions. The AD8065/AD8066

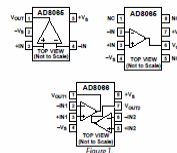
¹Protected by U.S. Patent No. 6,262,633.

Res. G information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringement of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

APPLICATIONS

- Instrumentation
- Photodiode preamps
- Filters
- A/D drivers
- Level shifting
- Buffering

CONNECTION DIAGRAMS



operate using only a 6.4 mA/amplifier typical supply current and are capable of delivering up to 30 mA of load current.

The AD8065/AD8066 are high performance, high speed, FET input amplifiers available in small packages: SOIC-8, MSOP-8, and SOT-23-5. They are rated to work over the industrial temperature range of -40°C to +85°C.

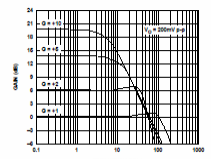


Figure 2. Small Signal Frequency Response

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 © 2006 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

SEI-Herbsttagung 2006

20. September 2006

Dr. B. Namaschk

Seite: 24



OPA820



SBO6303A - JUNE 2004 - REVISED JULY 2004

Unity-Gain Stable, Low-Noise, Voltage-Feedback Operational Amplifier

FEATURES

- HIGH BANDWIDTH (240MHz, G = +2)
- HIGH OUTPUT CURRENT ($\pm 110\text{mA}$)
- LOW INPUT NOISE ($2.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$)
- LOW SUPPLY CURRENT (5.6mA)
- FLEXIBLE SUPPLY VOLTAGE
 - Dual $\pm 2.5\text{V}$ to $\pm 6\text{V}$
 - Single $+5\text{V}$ to $+12\text{V}$
- EXCELLENT DC ACCURACY
 - Maximum 25°C Input Offset Voltage = $\pm 750\mu\text{V}$
 - Maximum 25°C Input Offset Current = $\pm 400\text{nA}$

APPLICATIONS

- LOW-COST VIDEO LINE DRIVERS
- ADC PREAMPLIFIERS
- ACTIVE FILTERS
- LOW-NOISE INTEGRATORS
- PORTABLE TEST EQUIPMENT
- OPTICAL CHANNEL AMPLIFIERS
- LOW-POWER, BASEBAND AMPLIFIERS
- CCD IMAGING CHANNEL AMPLIFIERS
- OPA650 AND OPA620 UPGRADE

DESCRIPTION

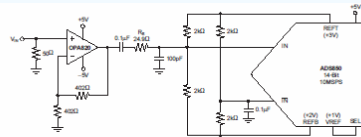
The OPA820 provides a wideband, unity-gain stable, voltage-feedback amplifier with a very low input noise voltage and high output current using a low 5.6mA supply current. At unity-gain, the OPA820 gives $> 800\text{MHz}$ bandwidth with $< 1\text{dB}$ peaking. The OPA820 complements this high-speed operation with excellent DC precision in a low-power device. A worst-case input offset voltage of $\pm 750\mu\text{V}$ and an offset current of $\pm 400\text{nA}$ give excellent absolute DC precision for pulse amplifier applications.

Minimal input and output voltage swing headroom allow the OPA820 to operate on a single $+5\text{V}$ supply with $> 2\text{V}_{\text{pp}}$ output swing. While not a rail-to-rail (RR) output, this swing will support most emerging analog-to-digital converter (ADC) input ranges with lower power and noise than typical RR output op amps.

Exceptionally low dG/dP ($0.01\%/0.03^\circ$) supports low-cost composite video line driver applications. Existing designs can use the industry-standard pinout SO-8 package while emerging high-density portable applications can use the SOT23-5. Offering the industry's lowest thermal impedance in a SOT package, along with full specification over both the commercial and industrial temperature ranges, gives solid performance over a wide temperature range.

RELATED PRODUCTS

SINGLES	DUALS	TRIPLES	QUADS	FEATURES
OPA354	OPA354	—	OPA4354	CMOS RR Output
OPA690	OPA3690	OPA3690	—	High Slew Rate
—	OPA2652	—	—	SOT23-5
—	OPA2622	—	—	Low Noise
—	—	—	OPA820	Quad OPA620



AC-Coupled, 14-Bit ADS850 Interface

Caution: Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCT DATA INFORMATION IS CURRENT AS OF PUBLICATION DATE. PRODUCTS MAY BE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THIS DOCUMENT IS UNCLASSIFIED. PRODUCTION PROCESSING DOES NOT NECESSARILY INDICATE TESTING OF ALL PARAMETERS.



Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

Messungen am 2. Prototyp des ortsauflösenden Neutronendetektors für EXED

SEI-Tagung Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg 2006

HMI-Berlin, I/DE

Dr. Sven Bönisch
Sascha Dube
Thomas Kleisch
Dr. Bernhard Namaschk
Dr. Friedrich Wulf
Winfried Altmann

HMI-Berlin, BENSIC Detektorlabor

Dr. Thomas Wilpert
Dr. C.-M. Herbach

14.11.2006

Seite: 1

Ziele

- Verständnis der Systemeigenschaften von Detektorrohr und Auswerteelektronik
- Bestimmung der Systemfehler über der gesamten Rohrlänge
- Ableitung von Optimierungsstrategien für das Systemdesign

14.11.2006

Seite: 2

Inhalt

- 16-Rohr Detektorbank, Prototyp Nr. 2
- Meßaufbau am V13
- Ergebnisse
- Optimierungsstrategien für das Systemdesign
- Zusammenfassung

14.11.2006

Seite: 3

16-Rohr Detektorbank, Prototyp Nr. 2

- 16 square-shaped ($\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ ") Multi-Tube Proportional Counters
- 90 cm active length
- 6.8 k Ω (1-8) and 4.8 (9-16) k Ω resistive wire
- Gas composition:

3.75 bar	Helium-3	(loss after leak)
1.27 bar	CF4	(loss after leak)
8.48 bar	Helium-4	(completed to 13.5 bar)



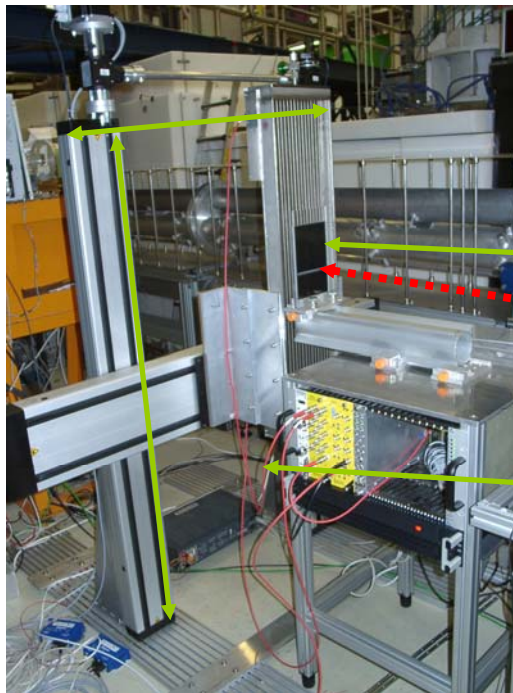
Quelle: Th. Wilpert / HMI-Berlin, BENSIC Detektorlabor

14.11.2006

Seite: 4

Meßaufbau am V13

XY Positioning:
 1100 mm x 1100 mm
 20 µm accuracy
 (Thanks to DH workshop!)



1 mm (1x1 mm²) Slit/Diffuser
 Neutrons (cold, white beam)

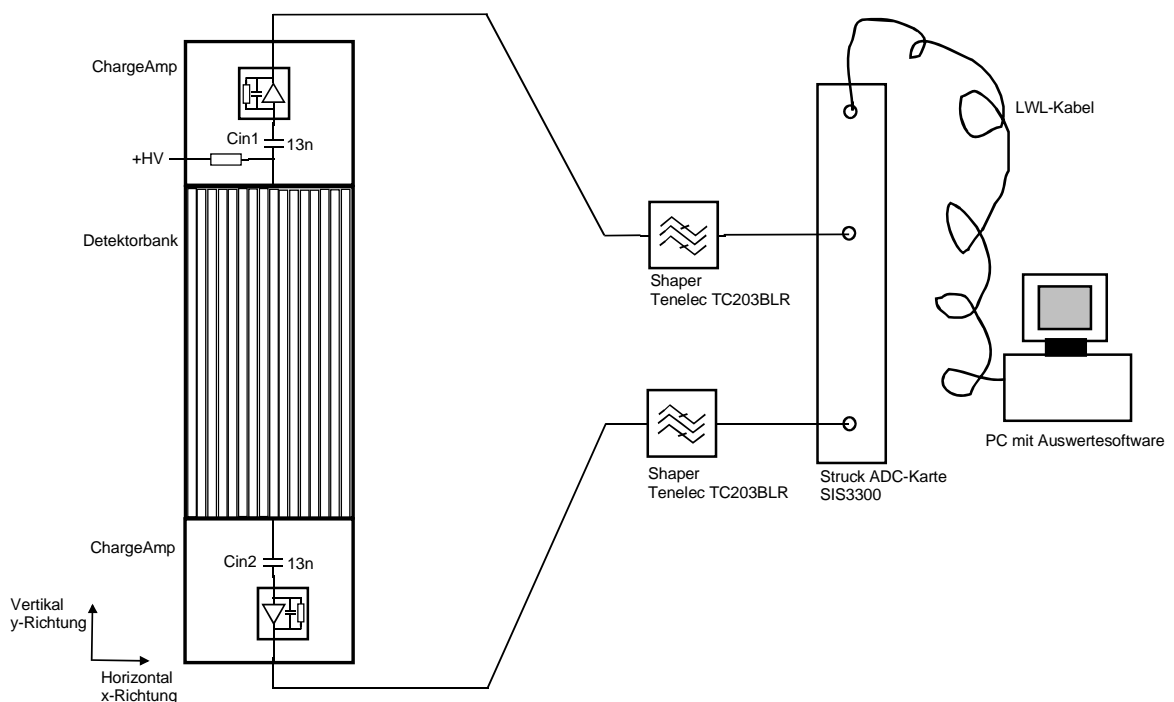
2 m long cables between tube ends and pre amps (only in test phase)

Quelle: Th. Wilpert /
 HMI-Berlin, BENSC
 Detektorlabor

14.11.2006

Seite: 5

Meßaufbau Elektronik



14.11.2006

Seite: 6

Mechanische Parameter Detektorrohr

Used Tube



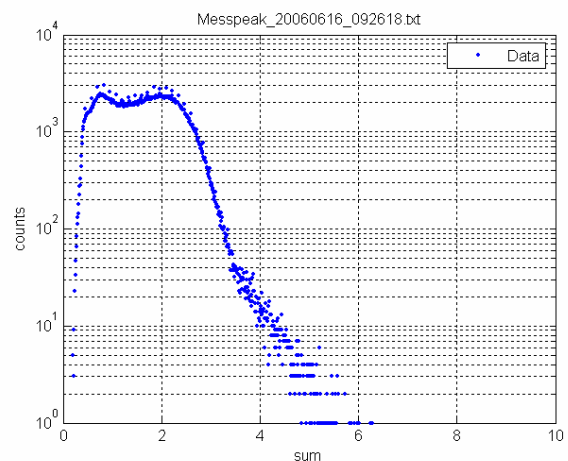
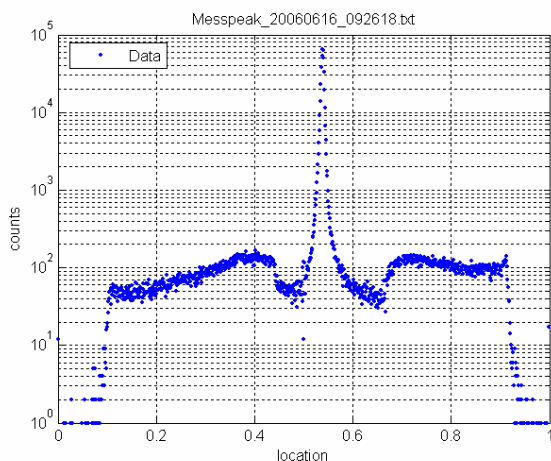
Tube #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Resistance [kOhm]	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Wire Diameter [µm]	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
Tension [g]	10,1	10,0	9,6	11,5	11,6	4,6	8,6	13,2	17,0	16,0	16,8	13,5	23,7	6,4	13,0	16,0
Design position [mm]	214,5	200,7	186,9	173,1	159,3	145,5	131,7	117,9	104,1	90,3	76,5	62,7	48,9	35,0	21,2	7,4
Actual position [mm]	211,0	196,5	186,5	173,5	160,0	145,5	132,5	118,0	105,5	91,0	78,5	63,5	51,0	37,5	25,0	12,0
Diviation [mm]	-3,5	-4,2	-0,4	0,4	0,7	0,0	0,8	0,1	1,4	0,7	2,0	0,8	2,1	2,5	3,8	4,6

Quelle: Th. Wilpert / HMI-Berlin, BENSIC Detektorlabor

14.11.2006

Seite: 7

Meßdaten mit Untergrund



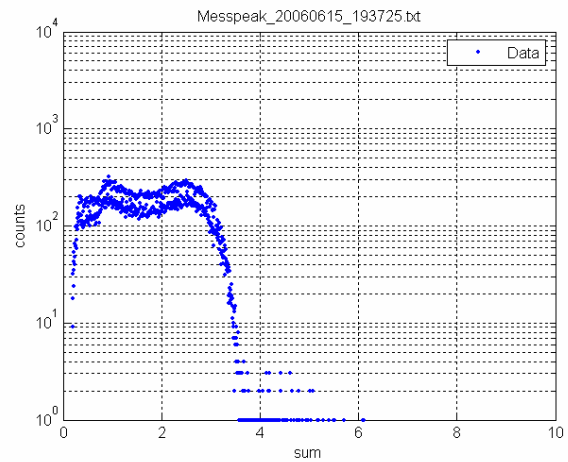
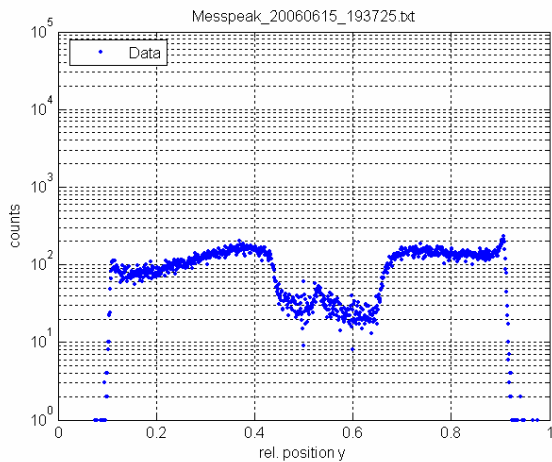
Position: H=-608.0mm V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Zeit: 9:26

Meßdauer: 1min
 Counts: 491000
 Bins: 1000
 Ort: ?
 Breite: ?

14.11.2006

Seite: 8

Untergrund für x-scan bei xrel=-9.5mm



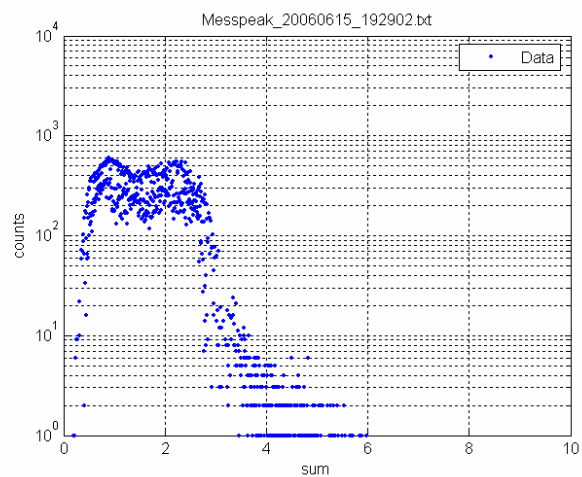
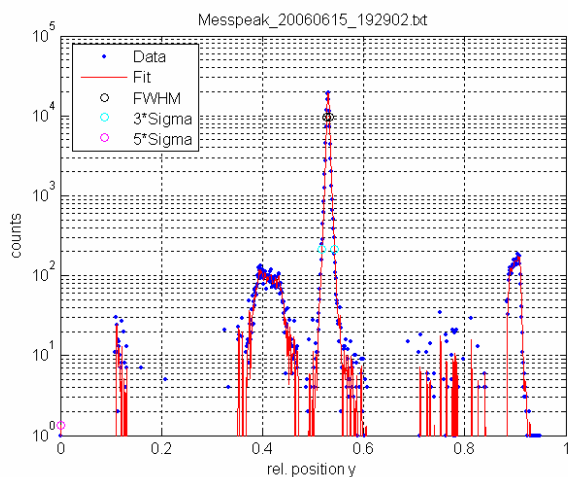
Position: H=-608.0mm V=-376mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Zeit: 19:37

Meßdauer: 1min
 Counts: 88500
 Bins: 1000
 Ort: ?
 Breite: ?

14.11.2006

Seite: 9

Daten nach Untergrundkorrektur und Spline-Fit



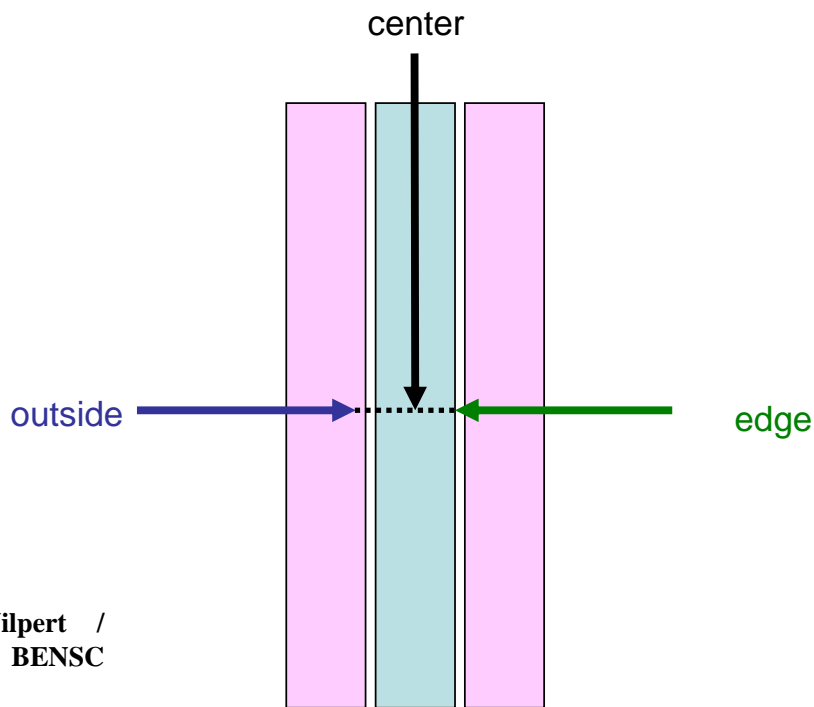
Position: H=-608.0mm V=-381mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Zeit: 19:29

Meßdauer: 1min
 Counts: 121000
 Bins: 1000
 Ort: 0.529
 Breite: 0.56%

14.11.2006

Seite: 10

Horizontal scan (x-direction)

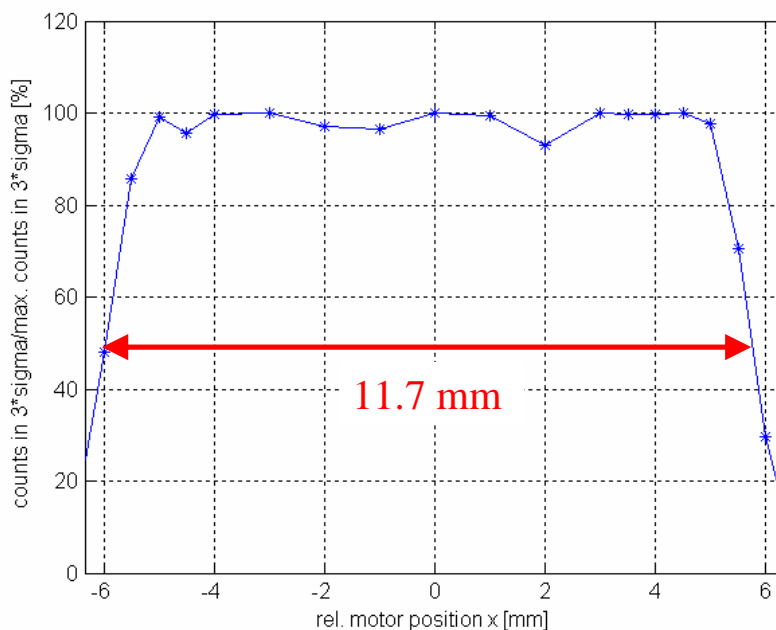


Quelle: Th. Wilpert /
HMI-Berlin, BENS
Detektorlabor

14.11.2006

Seite: 11

Efficiency across the tube (Rohr 6 6.8k)



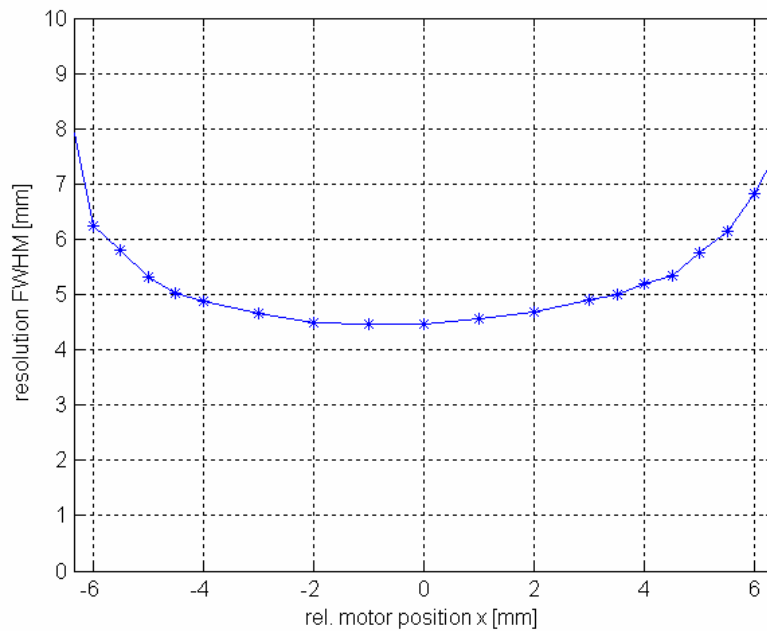
Position: H=-608.0mm
UHV: 1852V
ChargeAmp: LV-156
Shaping: Tennelec 1µs
Meßdauer: 1min
Max. Counts: 134000
Bins: 1000
Trigger: 1.7%

Untergrund 19:37, -9.5mm
3*sigma Integral

14.11.2006

Seite: 12

Resolution across the tube (Rohr 6 6.8k)



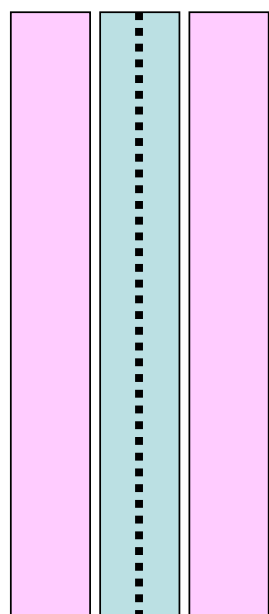
Position: H=-608.0mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min
 Max. Counts: 121000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%

Untergrund 19:37, -9.5mm
 Bezogen auf 900mm/1000ch

14.11.2006

Seite: 13

Vertical scan (y-direction)



915 mm (motor position)

460 mm (motor position), ~center

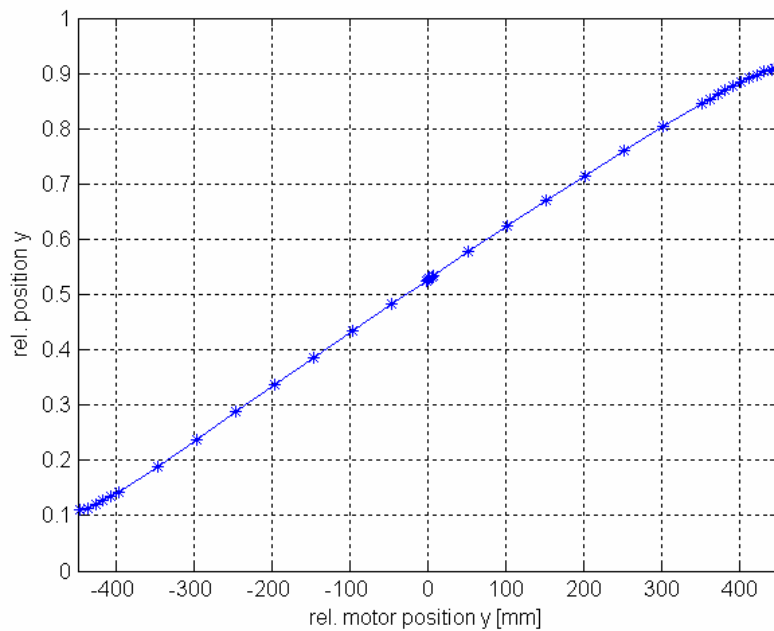
0 mm (motor position)

Quelle: Th. Wilpert /
 HMI-Berlin,
 Detektorlabor
 BENSC

14.11.2006

Seite: 14

Tube linearity (Rohr 6 6.8k)



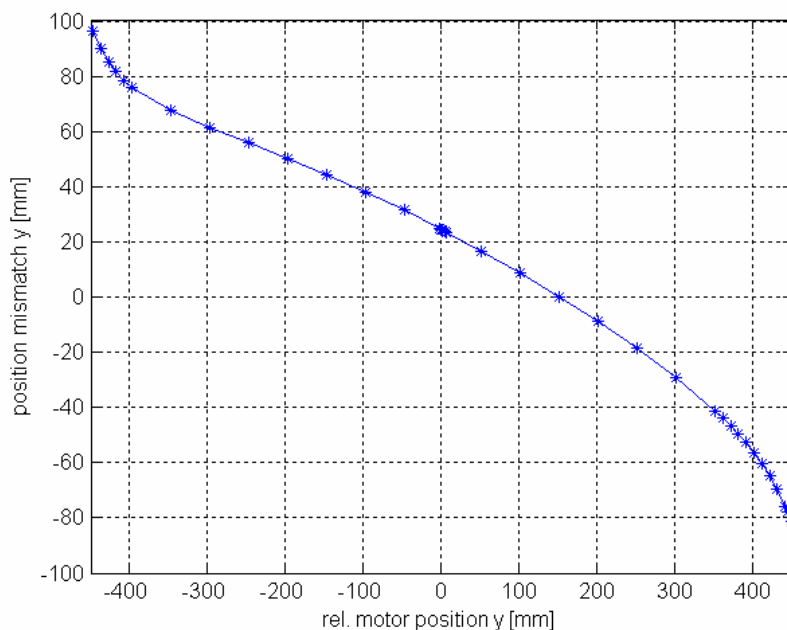
Position: V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min
 Max. Counts: 163000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%

Untergrund 22:16, -465mm
 Bezogen auf 900mm/1000ch

14.11.2006

Seite: 15

Position mismatch (Rohr 6 6.8k)



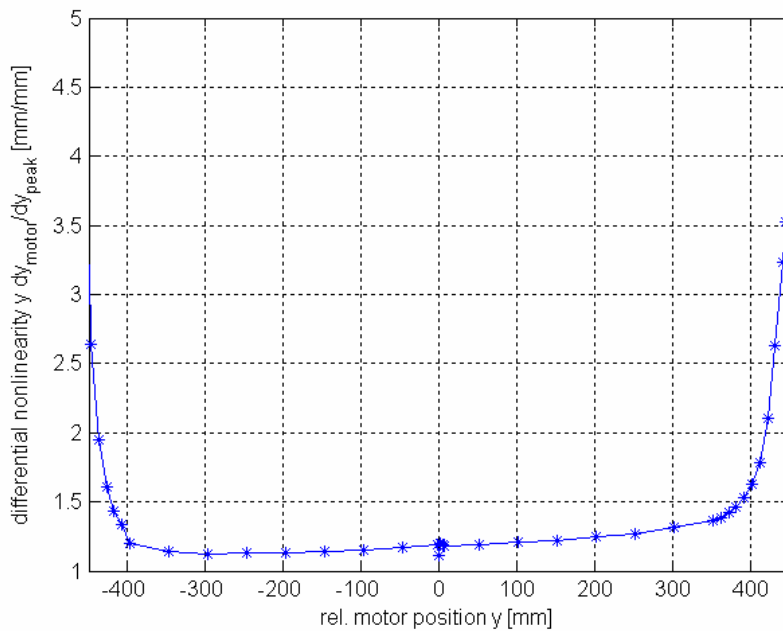
Position: V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min
 Max. Counts: 163000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%

Untergrund 22:16, -465mm
 Bezogen auf 900mm/1000ch

14.11.2006

Seite: 16

Differential nonlinearity (Rohr 6 6.8k)



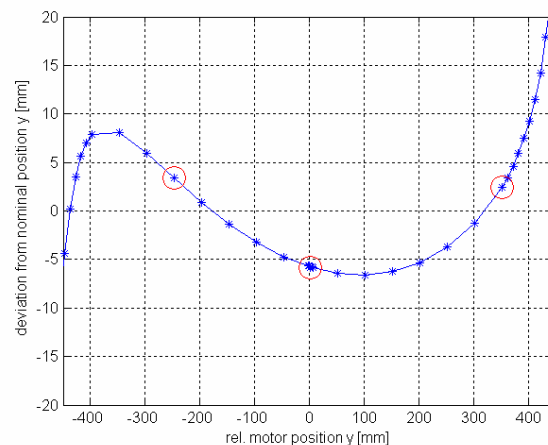
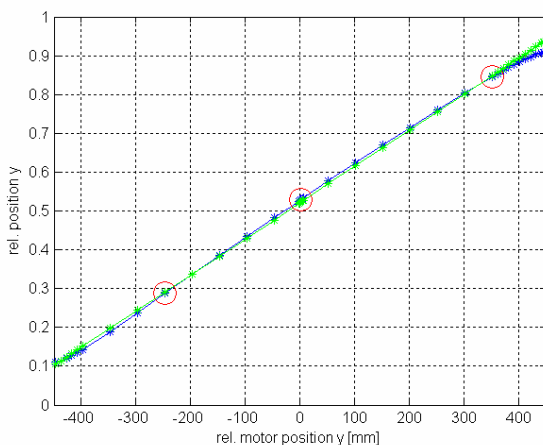
Position: V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min
 Max. Counts: 163000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%

Untergrund 22:16, -465mm,
 Bezogen auf 900mm/1000ch

14.11.2006

Seite: 17

Position deviation with calibration Linear calibration given by Th. Wilpert (Rohr 6 6.8k)



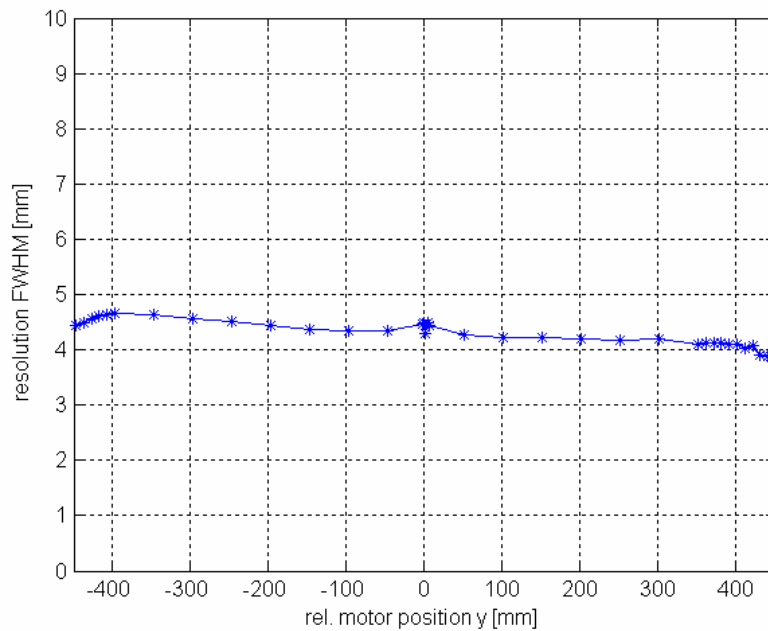
Position: V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min

Max. Counts: 163000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%
 Cal. points: -300mm,
 0mm, +300mm

14.11.2006

Seite: 18

Resolution along the tube (Rohr 6 6.8k)



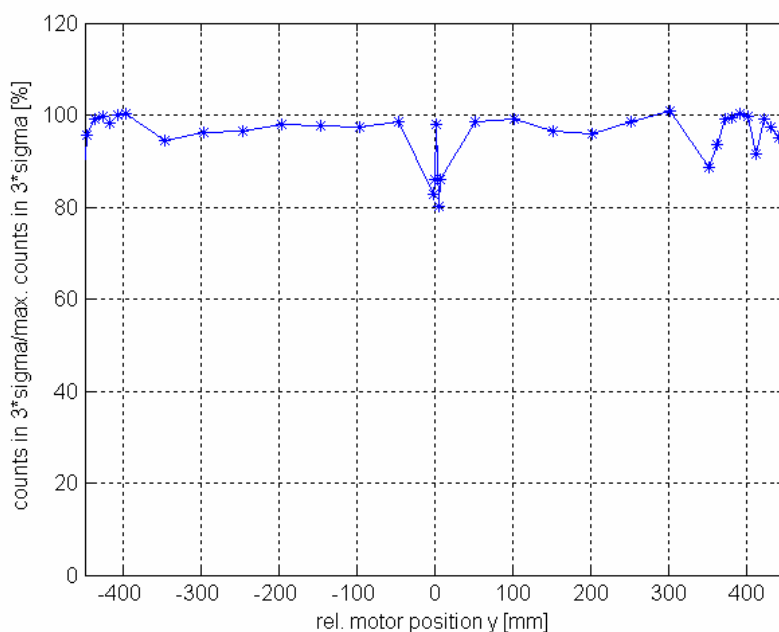
Position: V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min
 Max. Counts: 163000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%

Untergrund 22:16, -465mm
 Bezogen auf 900mm/1000ch

14.11.2006

Seite: 19

Efficiency along the tube (Rohr 6 6.8k)



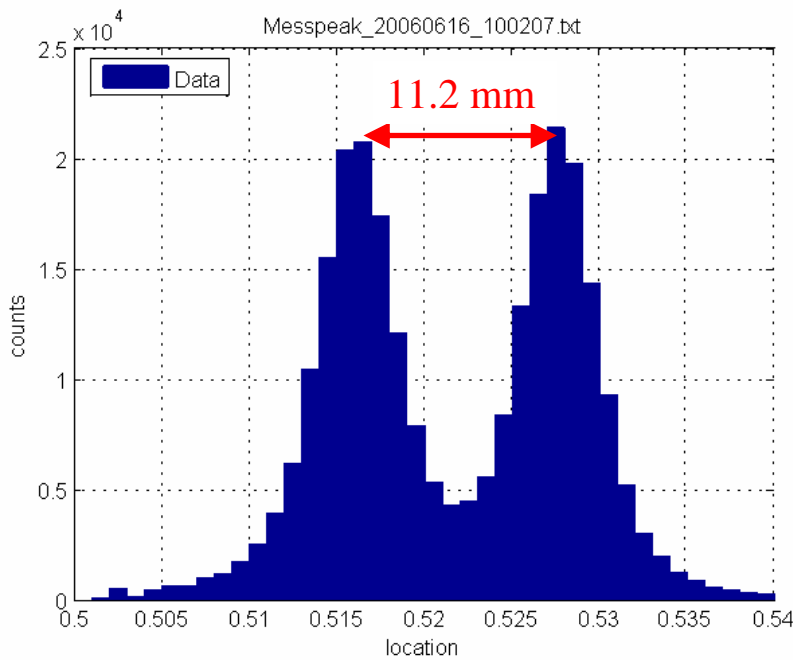
Position: V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min
 Max. Counts: 153000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%

Untergrund 22:16, -465mm
 3*sigma Integral

14.11.2006

Seite: 20

Rohr 6, 1.+5. Reihe 15 Löcher a 0.6mm, 12mm distance



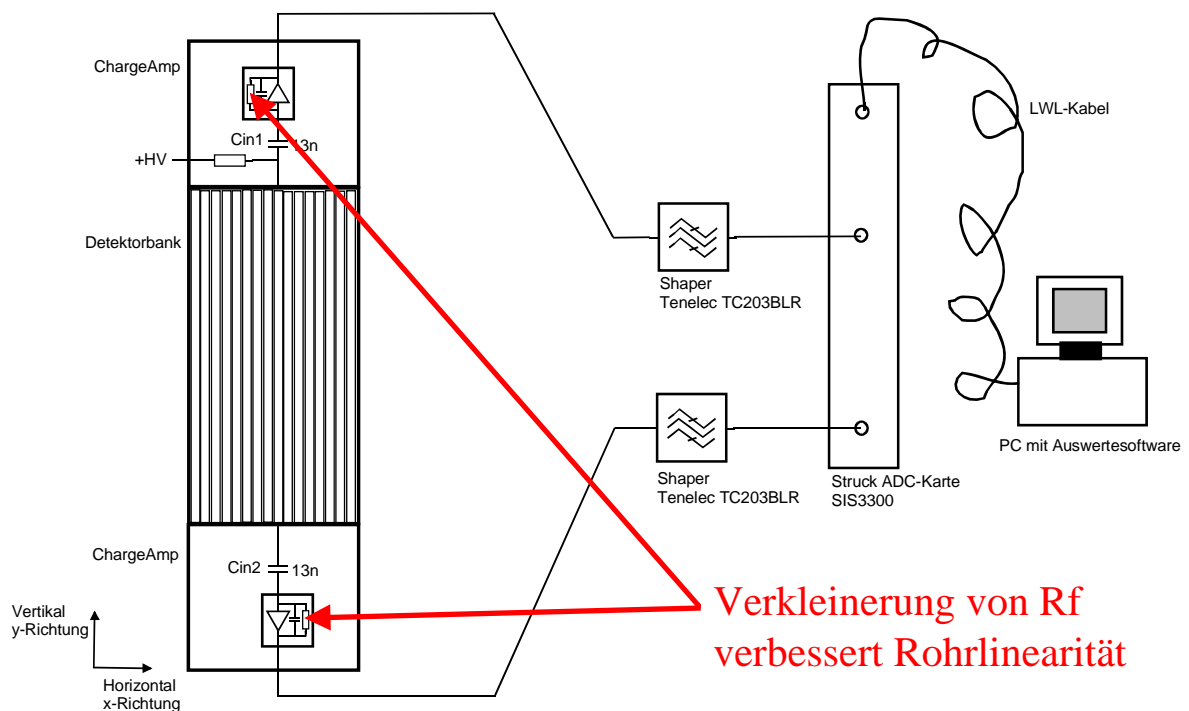
Position:
 H=-608.0mm V=-385.5mm
 UHV: 1852V
 ChargeAmp: LV-156
 Shaping: Tennelec 1µs
 Meßdauer: 1min
 Max. Counts: 346000
 Bins: 1000
 Trigger: 1.7%

Ohne Untergrundkorrektur,
 Bezogen auf 900mm/1000ch

14.11.2006

Seite: 21

Optimierung der Rohrlinearität



**Verkleinerung von Rf
 verbessert Rohrlinearität**

14.11.2006

Seite: 22

Zusammenfassung und Ausblick

- Auflösung besser als gefordert
- Efficiency-Verlauf an Rohrrändern ist vergleichbar zum Mesytec-Meßsystem
- Integrale Nichtlinearität aufgrund des ADC-Meßverfahrens mit linearer Kalibration korrigierbar
- Differentielle Nichtlinearität des Rohres muß verbessert werden
- Verstärkungsdifferenz zwischen einzelnen Kanälen muß auf $\pm 0.1\%$ kalibriert werden
- Geändertes Shaping-Verfahren nötig

Messungen am 2. Prototyp des ortsauflösenden Neutronendetektors für EXED

Dr. S. Bönisch, S. Dube, Th. Kleisch, Dr. B. Namaschk, Dr. F. Wulf,
W. Altmann, Dr. Th. Wilpert, Dr. C.-M. Herbach
Hahn-Meitner-Institut Berlin

Zusammenfassung

Für den Aufbau des Experiments EXED (extreme environment diffractometer) in der Neutronenleithalle II am HMI wurden an einem 2. Prototypen eines ortsempfindlichen Neutronendetektors an einer weißen Neutronenquelle (BER-II, V13) mittels der am HMI entwickelten analogen Auswerteelektronik umfangreiche Messungen durchgeführt. Dabei sollten die Systemeigenschaften für die Kombination bestehend aus Detektorrohr und Auswerteelektronik untersucht und die Fehler bezüglich Effizienz, Auflösung sowie Rohrlinearität quantifiziert werden. Ausgehend davon sollen Optimierungsstrategien für das Systemdesign abgeleitet werden.

Aus der Detektorbank mit ihren insgesamt 16 Einzelrohren wurde Rohr 6 mit 6.8k Ω Rohrwidestand, ca. 13pF Rohrkapazität, 15 μ m Drahtdurchmesser bei 1852V und einer daraus resultierenden Gasverstärkung von etwa 300 vermessen. Auf einem XY-Positionierer konnte das Rohr bezüglich des feststehenden Neutronenstrahls verschoben werden. Der Neutronenstrahl wurde kollimiert und mit Hilfe von Schlitzblenden eine Strahlfläche von 1x1mm erzeugt. Die ladungsempfindlichen Vorverstärker wurden direkt auf der Detektorbank montiert. Das Signal-Shaping erfolgte mit 2 Shapern Tenelec TC203BLR (1 μ s-Shapingzeit). Eine ADC-Karte der Fa. Struck (SIS3300) mit integrierter Peakwerterfassung und Pile-up Unterdrückung sowie ein PC mit Meßsoftware ermöglichten die Datenaufnahme und Abspeicherung der Meßwerte.

Bei der Messung wurde das Rohr jeweils getrennt in x- und y-Richtung verfahren und dabei an mehreren Punkten über jeweils 60s Meßdauer eine Orts- und Summenverteilung bei Bestrahlung mit Neutronen ermittelt. Von den so gewonnenen Histogrammen (Ort- und Summensignal) wird eine vorher bestimmte Untergrundverteilung abgezogen. Nach einem Spline-Fit können Effizienz, Auflösung und Rohrlinearität ermittelt werden. Der horizontale Scan (x-Richtung) erfolgte in der Mitte des Rohres mit ca. 18 Meßpunkten mit 1mm Abstand über die gesamte Rohrbreite (12.7mm). Der vertikale Scan (y-Richtung) erfolgte auf der Rohrachse mit ca. 32 Meßpunkten mit 50mm Abstand innen bzw. 10mm Abstand in der Nähe der Rohrenden über die gesamte Rohrlänge (900mm).

Ergebnisse des horizontalen Scans (x-Richtung):

Die Effizienz, bewertet die Gleichmäßigkeit der Erfassung von Neutronen über der Rohrbreite. Interessant ist hier insbesondere der Bereich an den Seiten des Rohres. Die Effizienz wird hier definiert als Anzahl der Counts in einem Intervall $\pm 3\sigma$ am jeweiligen Meßpunkt bezogen auf die maximale Anzahl der Counts in einem Intervall $\pm 3\sigma$ von allen angefahrenen Meßpunkten auf der Rohrbreite. Die Effizienz zeigt ein gutes quadratisches Profil mit ca. 11.7mm Breite (FWHM). Die Auflösung bezogen auf die Rohrlänge von 900mm und 1000 Histogrammklassen (channels) ist auf der gesamten Rohrbreite < 8 mm.

Ergebnisse des vertikalen Scans (y-Richtung):

Die Effizienz ist fast über die gesamte Rohrlänge $\geq 95\%$. An den Rohrenden, ab ca. 50mm Abstand vom Rohrende, ist ein Abfall auf ca. 80% zu verzeichnen. Die Auflösung bezogen auf die Rohrlänge von 900mm und 1000 Histogrammklassen (channels) ist auf der gesamten Rohrlänge $< 5\text{mm}$. Die Rohrlinearität kann durch eine integrale und eine differentielle Nichtlinearität beschrieben werden. Beide Ansätze sind im wesentlichen gleichbedeutend. Hier werden grobe Abweichungen von der idealen Linearität durch eine integrale Nichtlinearität d.h. wesentlichen durch die Verstärkungsdifferenz der 2 analogen Kanäle bestimmt. Dies kann an der etwa 10%igen Abweichung der gemessenen rel. Position (hier 0.55) bei Einstrahlung auf die Rohrmitte (rel. Y-Position 0.5, bzw. Motorposition $y=0$) erkannt werden. Abhilfe kann ein genauer Abgleich der Verstärkungen der beiden Verstärkerkanäle bringen. Die differentielle Nichtlinearität deckt weitere Schwachstellen an den Rohrrändern auf, die ihre Ursache im Ladungsausgleich haben. An den Rohrrändern, ab ca. 50mm Abstand vom Rand steigt die differentielle Nichtlinearität zusätzlich um etwa 50% an. D.h. hier ist mit Ortsfehlern in der Größenordnung von 50mm zu rechnen. Abhilfe kann die Verringerung der Anfallzeitkonstante des Vorverstärkers durch Verringerung des Rückkoppelwiderstandes bringen.

Da das hier untersuchte Rohr (Nr. 6) mit $6.8\text{k}\Omega$ Drahtwiderstand nicht in der Endversion des Neutronendetektors von EXED eingesetzt werden wird, müssen weitere Messungen mit einem 3. Prototyp an Rohren mit einem Rohrwiderstand von $4.8\text{k}\Omega$ durchgeführt werden. Dabei sollen die hier gewonnenen Erkenntnisse zur Optimierung der Auswerteelektronik einfließen, um insbesondere eine hinreichend kleine differentielle Nichtlinearität ($\leq 2\%$) über die gesamte Rohrlänge zu gewährleisten. Außerdem sind mit einer optimierten Datenerfassung die Zählverluste zu bestimmen.

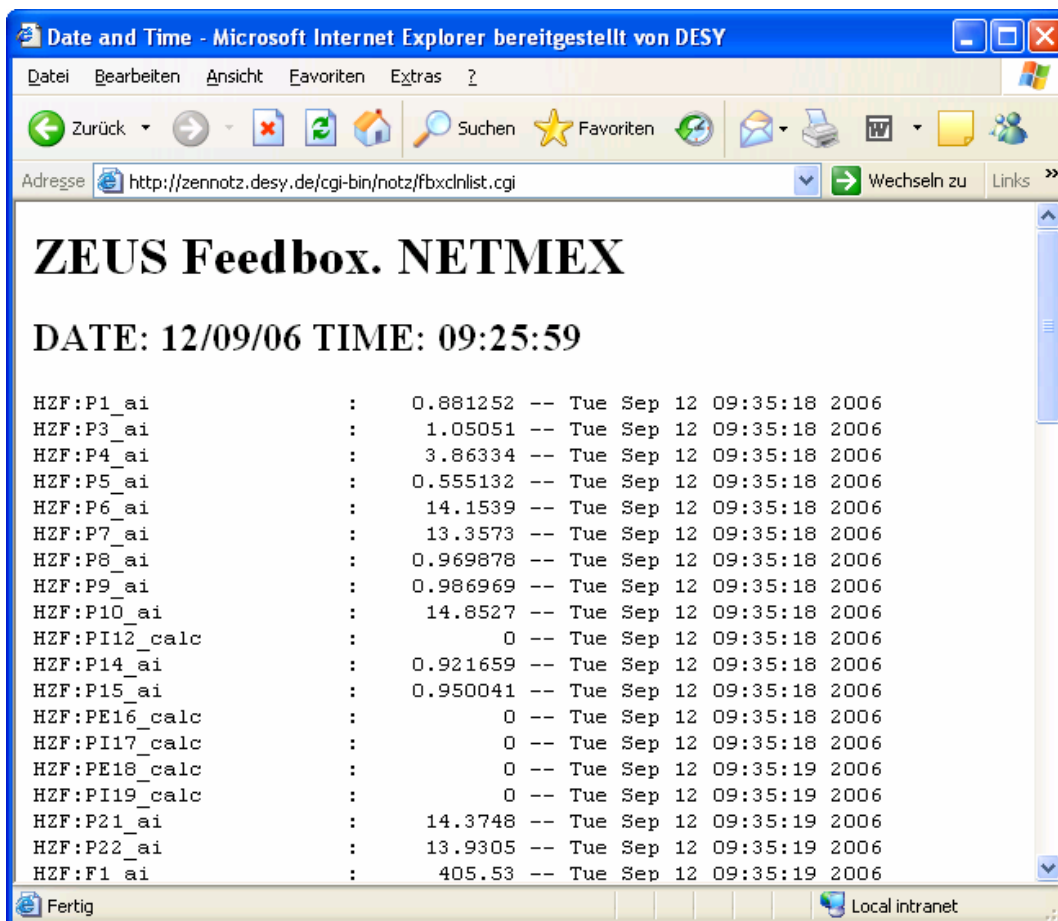
AJAX – Ein nützliches WEB Werkzeug

Dieter Notz
Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY, Hamburg, Germany
EMAIL: Dieter.Notz@desy.de
SEI Tagung Heidelberg, 18. 9. – 20. 9. 2006

Zusammenfassung

Wenn man Messdaten im WWW sehen möchte, kann man einfach die Web-Adresse in das Adressfeld eingeben und sich das Ergebnis ansehen. Es wird eine vollständige Seite übertragen. Mit AJAX – Asynchroner Transfer mit JavaScript und XML ist es möglich, nur die Daten zu übertragen, die sich auch geändert haben. Und zwar zu dem Zeitpunkt der Änderung. Der Benutzer kann einfach vor dem Bildschirm sitzen und das Geschehen beobachten.

Wir beginnen mit einigen Beispielen. Im Experiment ZEUS am Beschleuniger HERA bei DESY kann man sich die Daten der Kältebox für den supraleitenden Solenoiden ansehen:



The screenshot shows a web browser window with the following content:

ZEUS Feedbox. NETMEX

DATE: 12/09/06 TIME: 09:25:59

HZF:P1_ai	:	0.881252	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P3_ai	:	1.05051	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P4_ai	:	3.86334	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P5_ai	:	0.555132	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P6_ai	:	14.1539	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P7_ai	:	13.3573	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P8_ai	:	0.969878	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P9_ai	:	0.986969	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P10_ai	:	14.8527	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:PI12_calc	:	0	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P14_ai	:	0.921659	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:P15_ai	:	0.950041	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:PE16_calc	:	0	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:PI17_calc	:	0	--	Tue Sep 12 09:35:18 2006
HZF:PE18_calc	:	0	--	Tue Sep 12 09:35:19 2006
HZF:PI19_calc	:	0	--	Tue Sep 12 09:35:19 2006
HZF:P21_ai	:	14.3748	--	Tue Sep 12 09:35:19 2006
HZF:P22_ai	:	13.9305	--	Tue Sep 12 09:35:19 2006
HZF:F1_ai	:	405.53	--	Tue Sep 12 09:35:19 2006

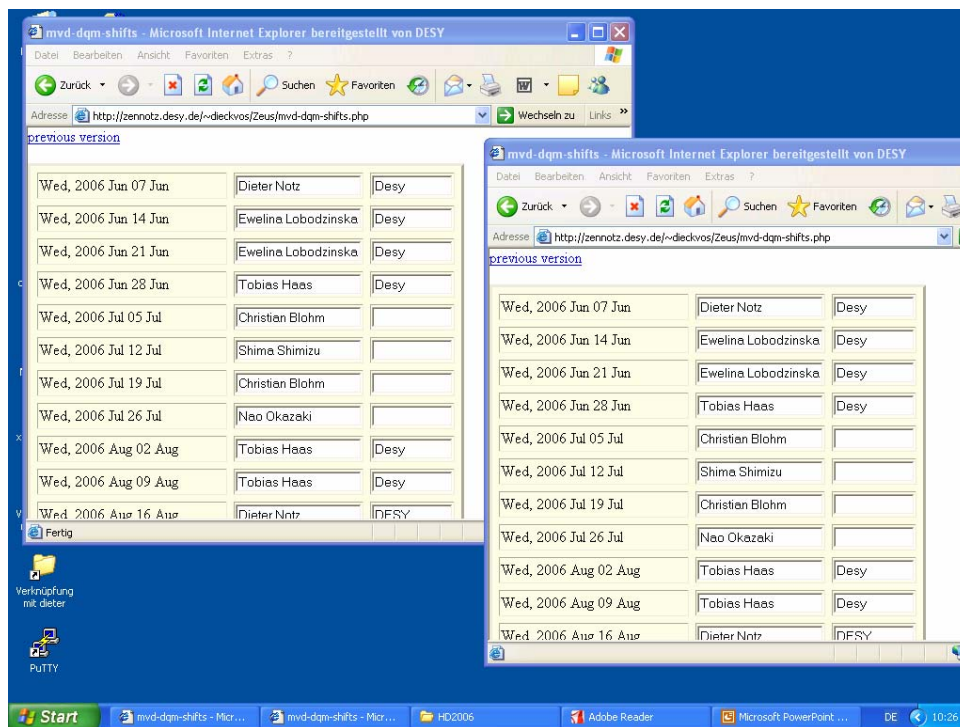
The browser window title is "Date and Time - Microsoft Internet Explorer bereitgestellt von DESY". The address bar shows "http://zennotz.desy.de/cgi-bin/notz/fbxchnlist.cgi". The status bar at the bottom indicates "Fertig" and "Local intranet".

Die Daten sind statisch. Neue Daten werden mit einem neuen Aufruf angezeigt. Ruft man eine Web-Seite auf, die AJAX unterstützt, so werden die Daten, die sich gerade geändert haben, angezeigt. Es wird nicht eine ganze Seite zurückgeschickt, sondern es werden nur die Felder geschickt, in denen sich die Messdaten geändert haben.

data are 12s old

P1	0.881	P3	1.051	P4	3.909	P5	0.555
P6	14.143	P7	13.347	P8	0.970	P9	0.987
P10	14.842	P12	0.000	P14	0.922	P15	0.950
P16	0.000	P17	0.000	P18	0.000	P19	0.000
P21	14.364	P22	13.930	F1	0.372	F2	0.272
F5	10.185	F6	2.987	F9	0.860	F10	0.220
F12	0.018						
T1	6.282	T1C	73.150	T4	7.325	T4C	0.000
T5	7.055	T5C	27.603	T9	7.472	T9C	27.218
T10	79.995	T11	48.679	T16	82.947	T17	48.592
T18	80.971	T20	7.147	T20C	0.000	P30T	4.333
L1	100.092	VV2	0.000	VV3	0.000	V9	1.000
V17	0.000	V18	0.000	V22	0.000	V27	0.000
V31	1.000	V32	0.000	V55	0.000	V57	0.000
C4	0.336	C5	0.306	C6	0.000	C7	0.709
C8	0.000	C4M	0.336	C5M	0.306	C16M	0.304
C19M	0.155	C16	0.304	C19	0.155	C24M	0.376
C26M	0.229	C24	0.376	C26	0.229	C28	0.270
C28M	0.270	C30	0.176				
LS	90.978	MALS	1.000	FALS	1.000	TKAU	302.096

In einem anderen Beispiel werden Informationen ausgetauscht. Ein Benutzer schreibt etwas in ein Textfeld. Oder er editiert eine Datei. Wenn sich die Inhalte der Datei ändern oder wenn auch nur auf die Datei zugegriffen wurde (z. B. um die Eigenschaften der Datei anzuzeigen), dann wird bei allen Web-Benutzern der aktuelle Inhalt der Datei angezeigt:



Wenn der linke Benutzer einen Eintrag z. B. in eine Schichtliste macht, dann erfährt das auch der rechte Benutzer. Eine andere Anwendung ist das Führen eines elektronischen Logbuches, in das verschiedene Benutzer, z. B. auch der Fachmann, der gerade im Urlaub ist und Zugang zu einem Internet Cafe hat, etwas eintragen oder Rat erteilen können – und alle können mitlesen.

Wie funktioniert das alles?

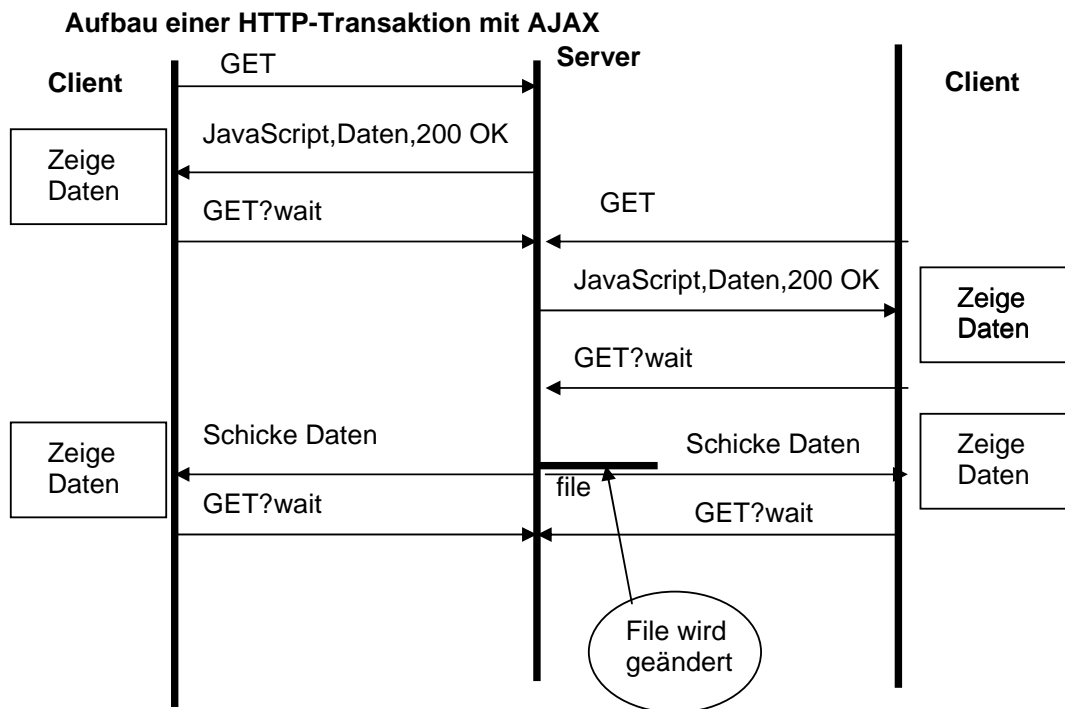
Die Schlagworte, die wir jetzt brauchen, lauten:

JavaScript. Wurde ursprünglich von Netscape entwickelt. Mit Java hat JavaScript nur begrenzt etwas gemeinsam.

PHP steht für Hypertext Preprocessor. Die Sprache wurde von Rasmus Lerdorf erstellt. *AJAX* heißt Asynchronous JavaScript + XML. Das Schlagwort stammt von Jesse James Garret.

XMLHttpRequest ist ein Objekt, das auf einem Clienten läuft.

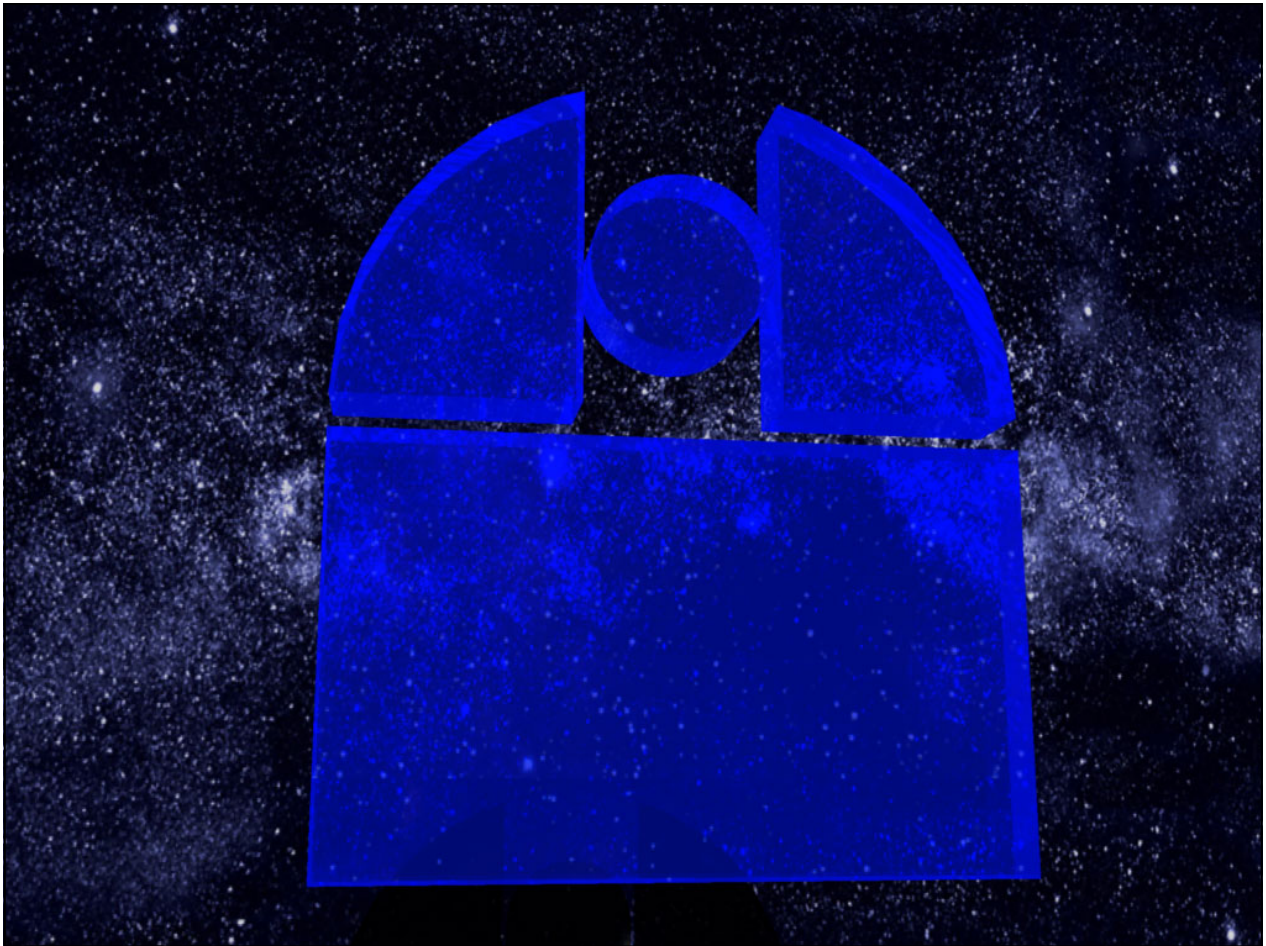
ActiveXObject wird gestartet, wenn der Client den Internetexplorer von Microsoft benutzt.



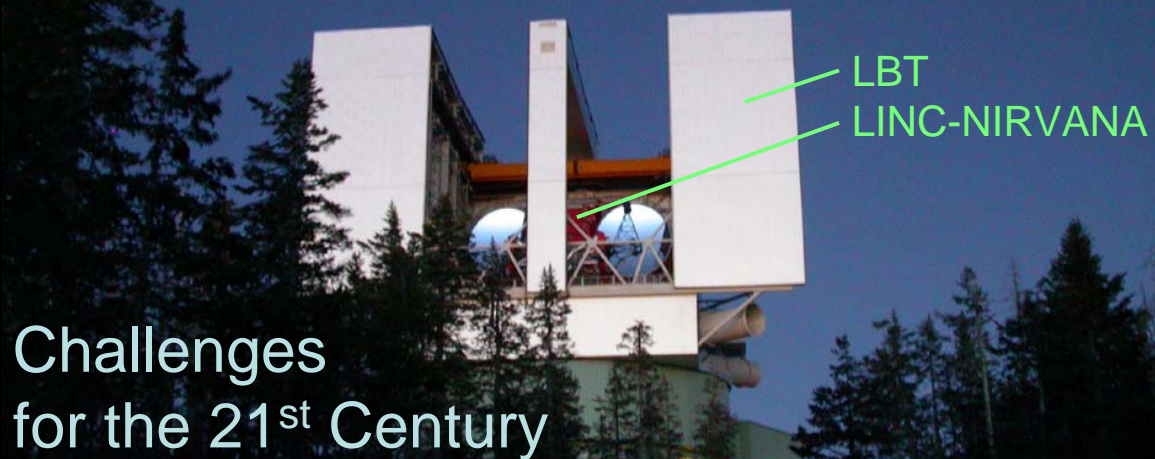
Die Abbildung zeigt einen HTTP Server Rechner in der Mitte. Und rechts und links je einen Clienten. Der linke Client setzt einen Transfer zum Host auf. Auf dem Host läuft ein php-Programm. Dieses generiert ein JavaScript Programm, das an den Clienten geht mit der Aufforderung, ein XMLHttpRequest Object zu generieren. Danach wartet der linke Client. Der rechte Client macht das gleiche. Nun warten beide Programme, bis die Datei geändert wird. In diesem Falle werden beide Clienten benachrichtigt, die dann die neuen Daten anzeigen. Danach warten beide wieder. Das Ändern der Datei kann auch durch einen Clienten mit GET ...?change TEXT geschehen.

Referenzen:

- T. Hauser, C. Wenz, F. Maurice: Das Website Handbuch, Markt + Technik, 2006
- Ralph Steyer: AJAX mit PHP, Addison-Wesley, 2006



Large Telescopes and their Instruments



Tom Herbst, MPIA



why...

Why Build Telescopes?

- ★ • to collect light
 - faint objects → large area
- ★ • to magnify
 - high resolution → large diameter



growth...

Telescope Power



1609 - $1/1400 \text{ m}^2$



2009 - 1400 m^2

2 million times more collecting area



another revolution...

Large (> 4 m) Telescopes

2005



Palomar 5 m



KPNO 4 m



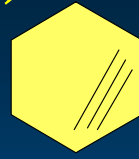
CTIO 4 m



Russian 6 m



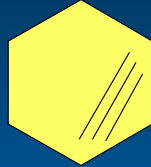
WHT 4.2 m



Keck I 10 m



Keck II 10 m



HET 11 m



Gemini N 8.0 m



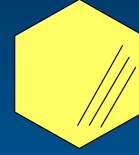
Gemini S 8.0 m



MMT 6.5 m



Subaru 8.2 m



GTC 10 m



Magellan 1 6.5 m



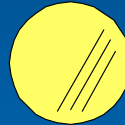
Magellan 2 6.5 m



VLT 1 8.2 m



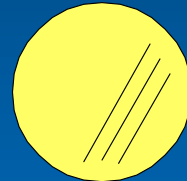
VLT 2 8.2 m



VLT 3 8.2 m



VLT 4 8.2 m

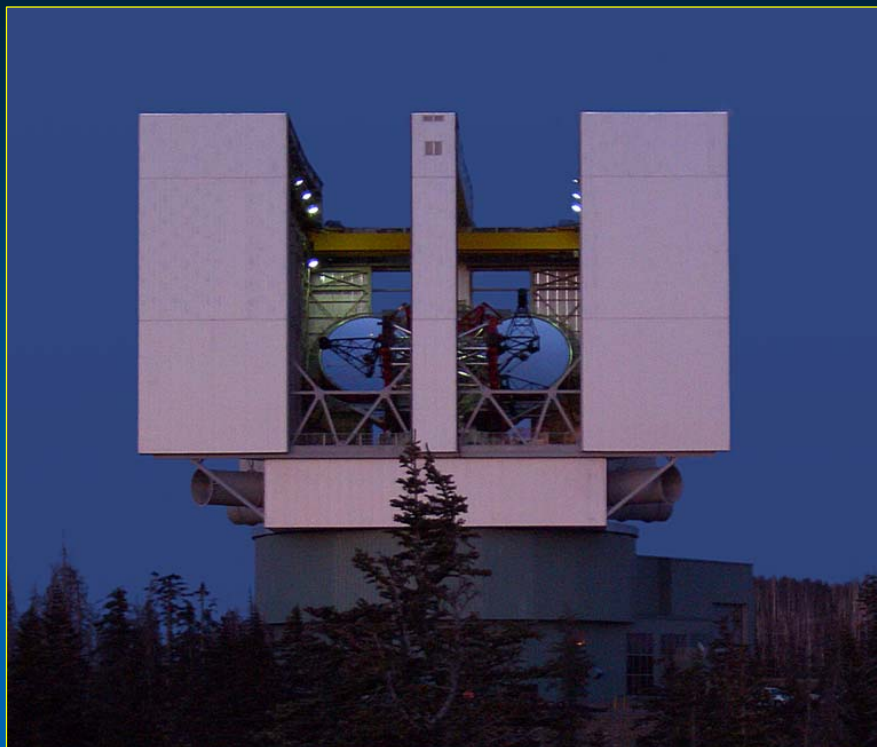


LBT 11.8 m



the newest...

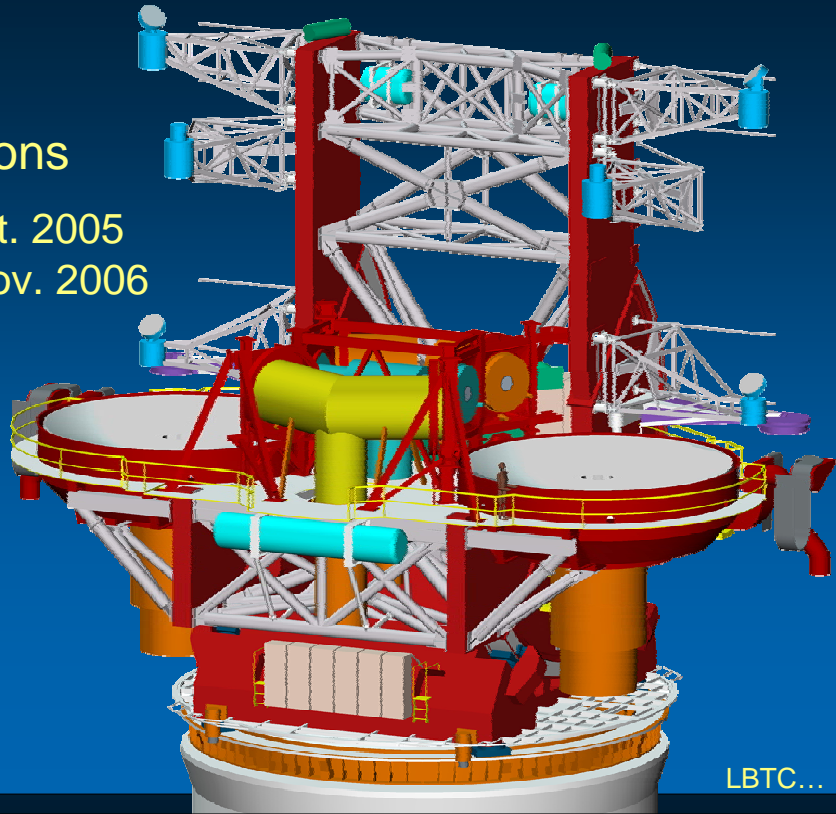
The Large Binocular Telescope



The Large Binocular Telescope

- 2 x 8.4 m
- flexible
- 10 focal stations

First Light - Oct. 2005
 Second Light - Nov. 2006

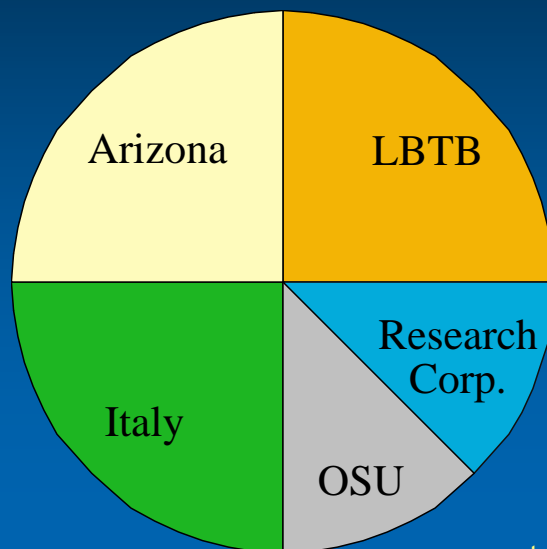


LBTC...

The LBT: A European - USA Collaboration

	University of Arizona Research Corporation Ohio State University
	Instituto Astrofisico di Arcetri, Firenze
	MPIA, Heidelberg MPIE, Garching MPIfR, Bonn AIP, Potsdam LSW, Heidelberg

1989 - Feasibility study
 1997 - Germany Joins
 2005 - First Science



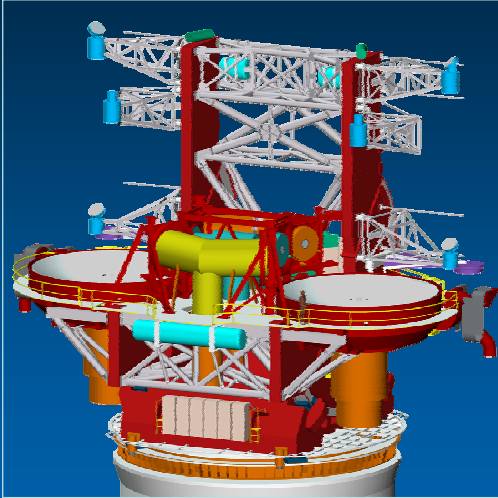
construction...



Telescope Construction

Design

Mt. Graham, 18 January 2006



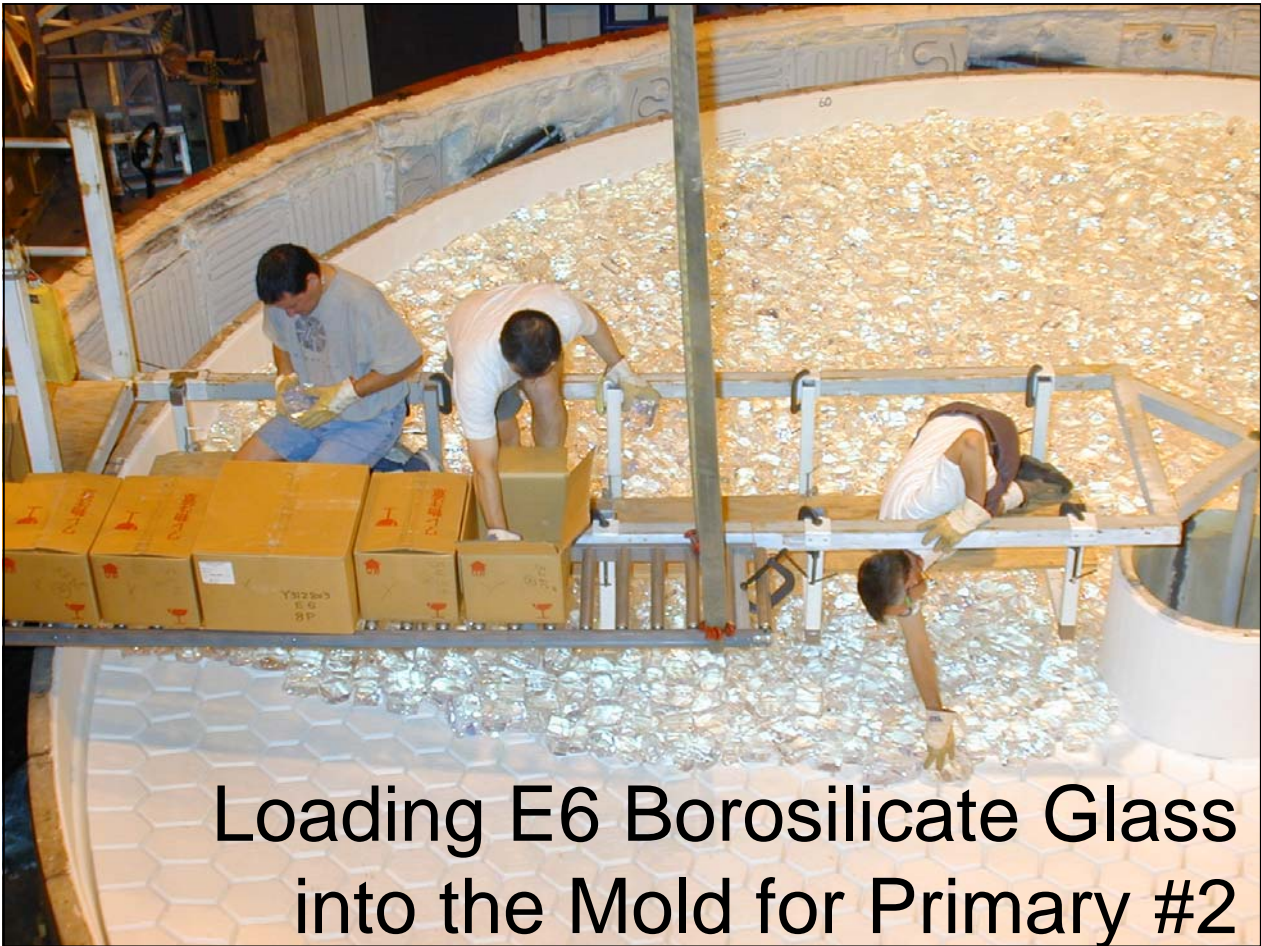
Essentially complete



building big mirrors...



Producing 8.4m Borosilicate
Honeycomb Mirrors
a brief photographic essay
(thanks to John Hill)

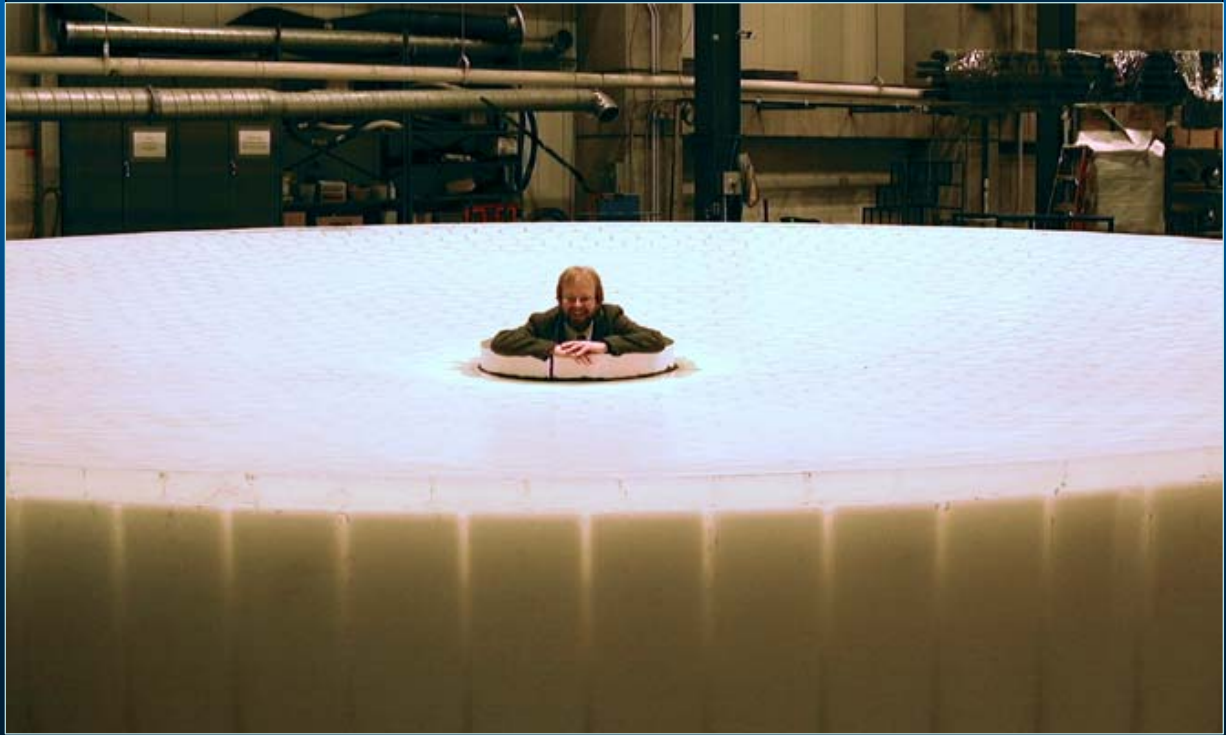


Loading E6 Borosilicate Glass
into the Mold for Primary #2



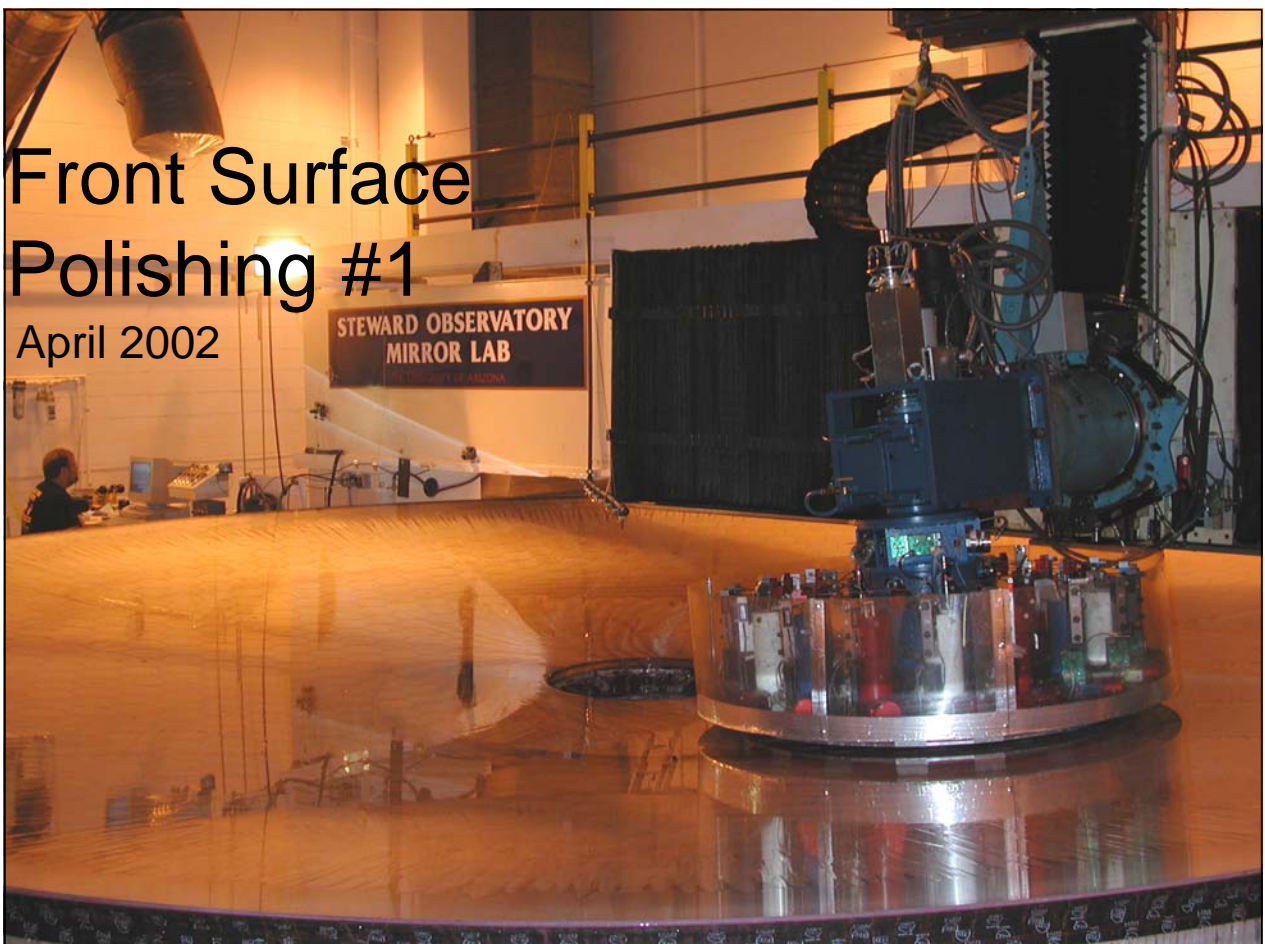
View Inside the Furnace
May 20, 2000

The Result...



Front Surface Polishing #1

April 2002



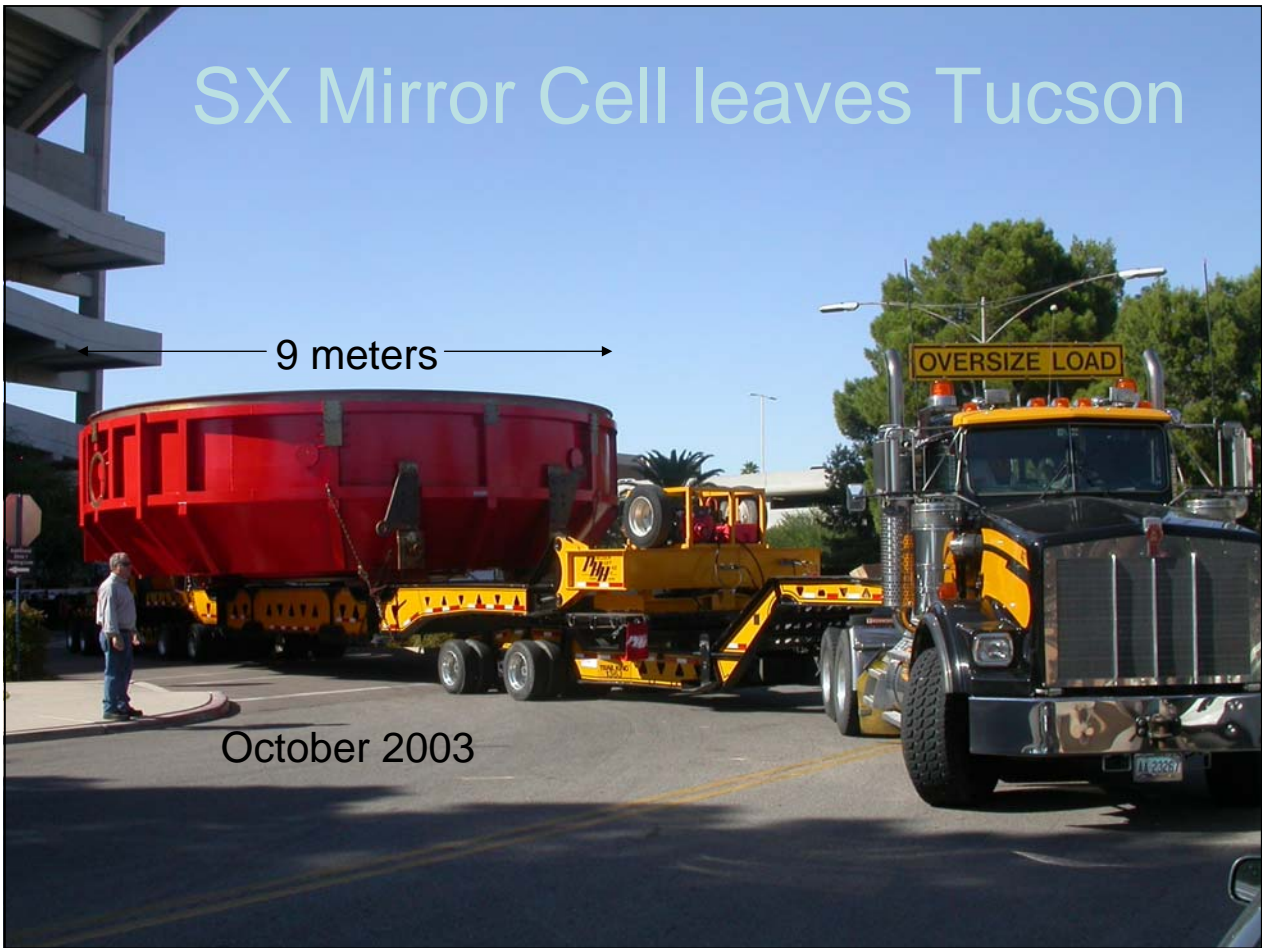
Installing #1 in Cell



Moving the 8.4m Mirror to the
LBT Enclosure on Mt. Graham
.....Carefully!



SX Mirror Cell leaves Tucson



October 2003

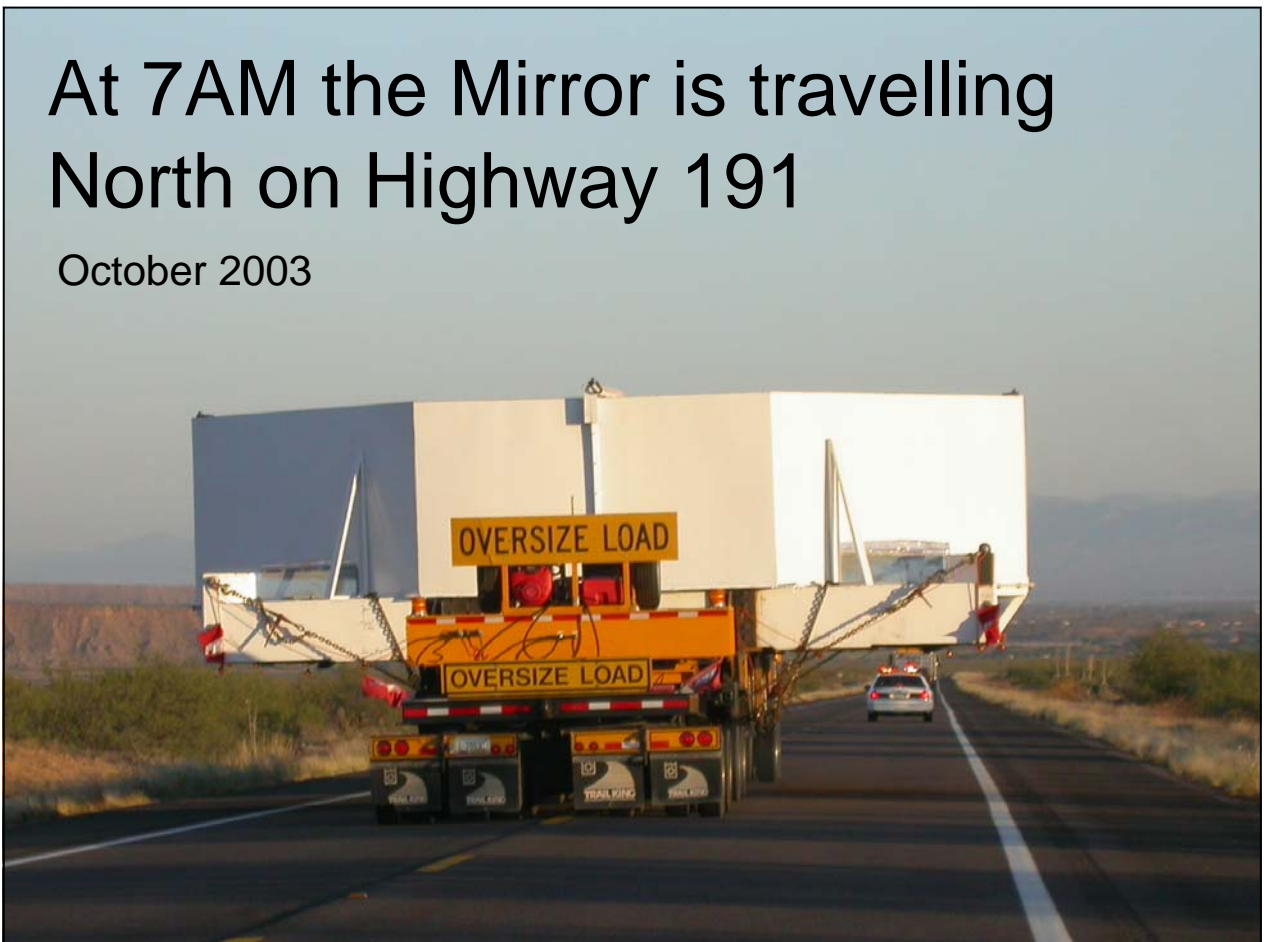


Mirror in Box departs from the Mirror Lab at 3AM



At 7AM the Mirror is travelling North on Highway 191

October 2003



Transloading Mirror Box to the Goldhofer trailer

October 2003



Mirror goes up the mountain... 48 km in 3 days



October 2003



Installation of Primary Mirror #1



Test with dummy mirror 17 November 2003

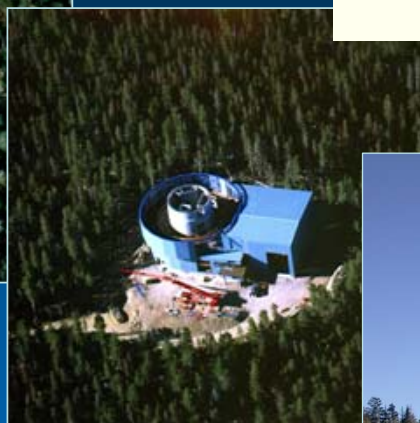


enclosure...

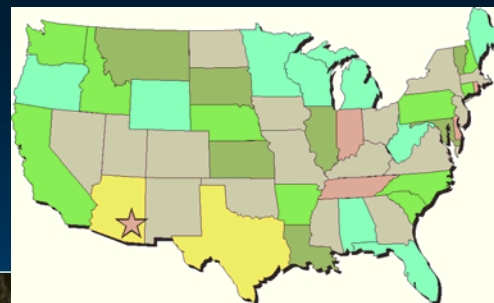
Enclosure Progress



Spring 1994



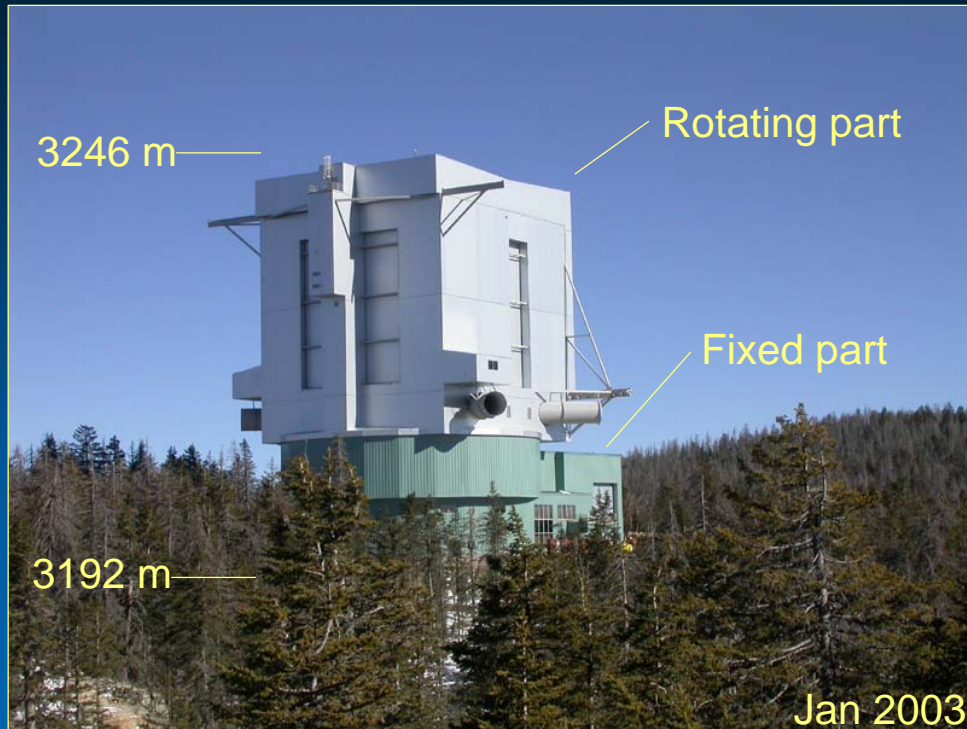
May 1998



January 2003 how it looks...

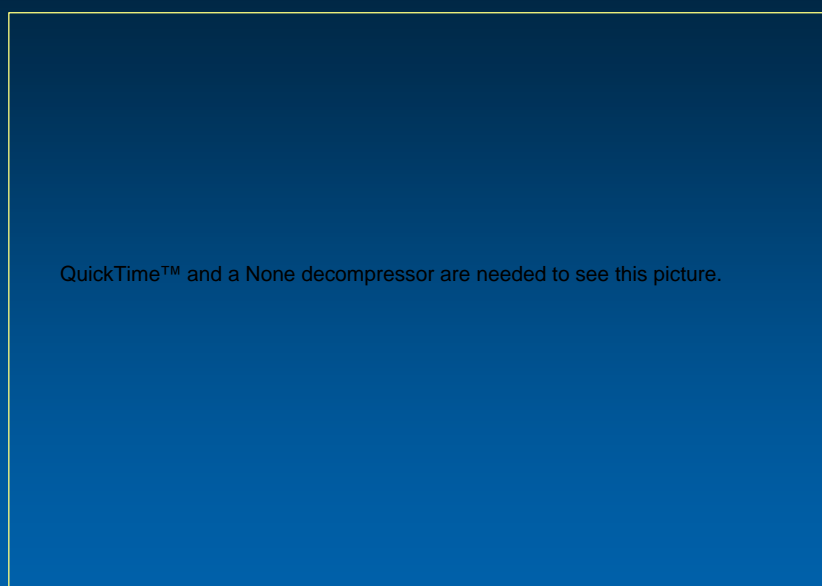


LBT Enclosure on Mt. Graham



how it works...

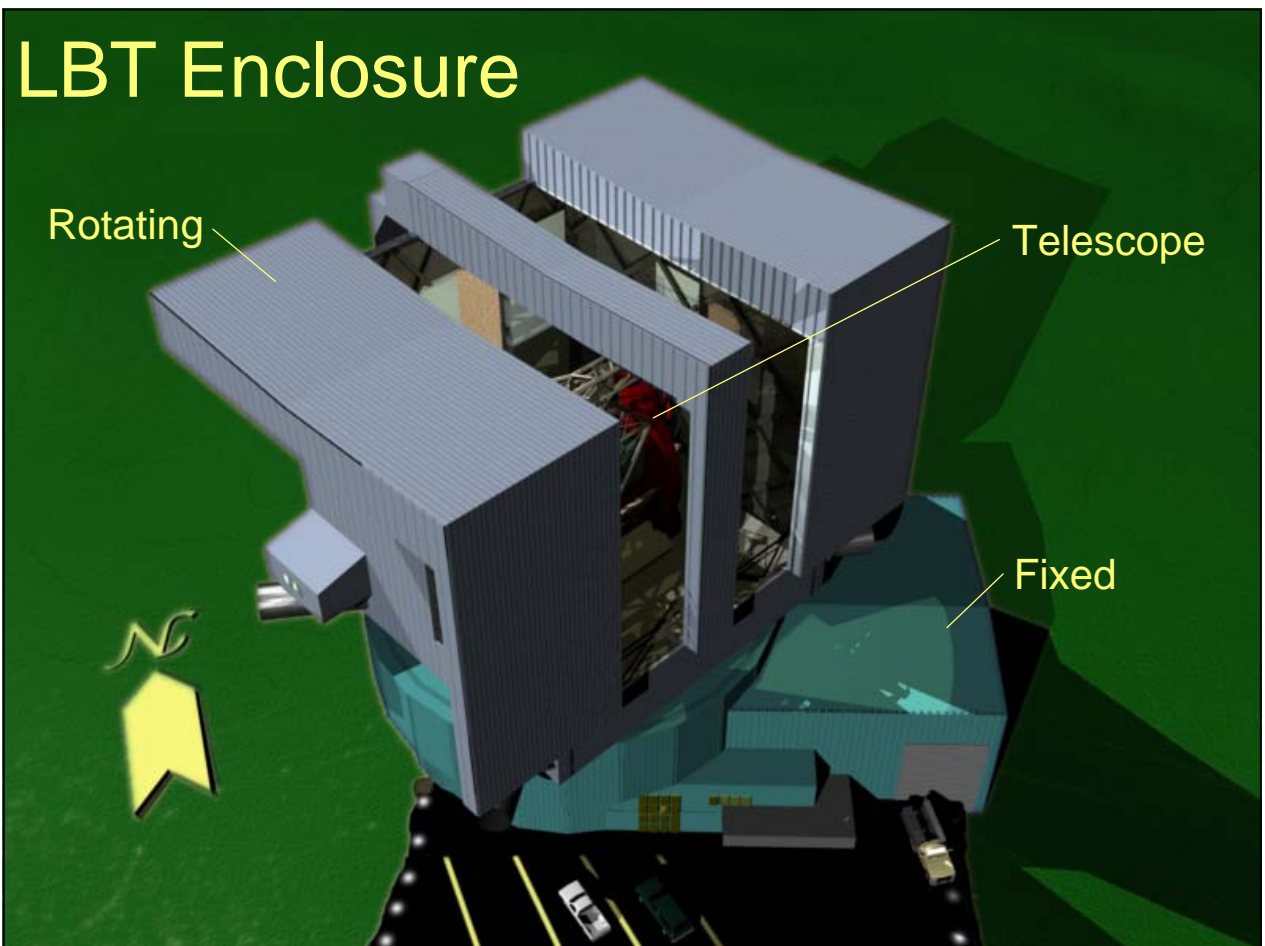
LBT Enclosure on Mt. Graham



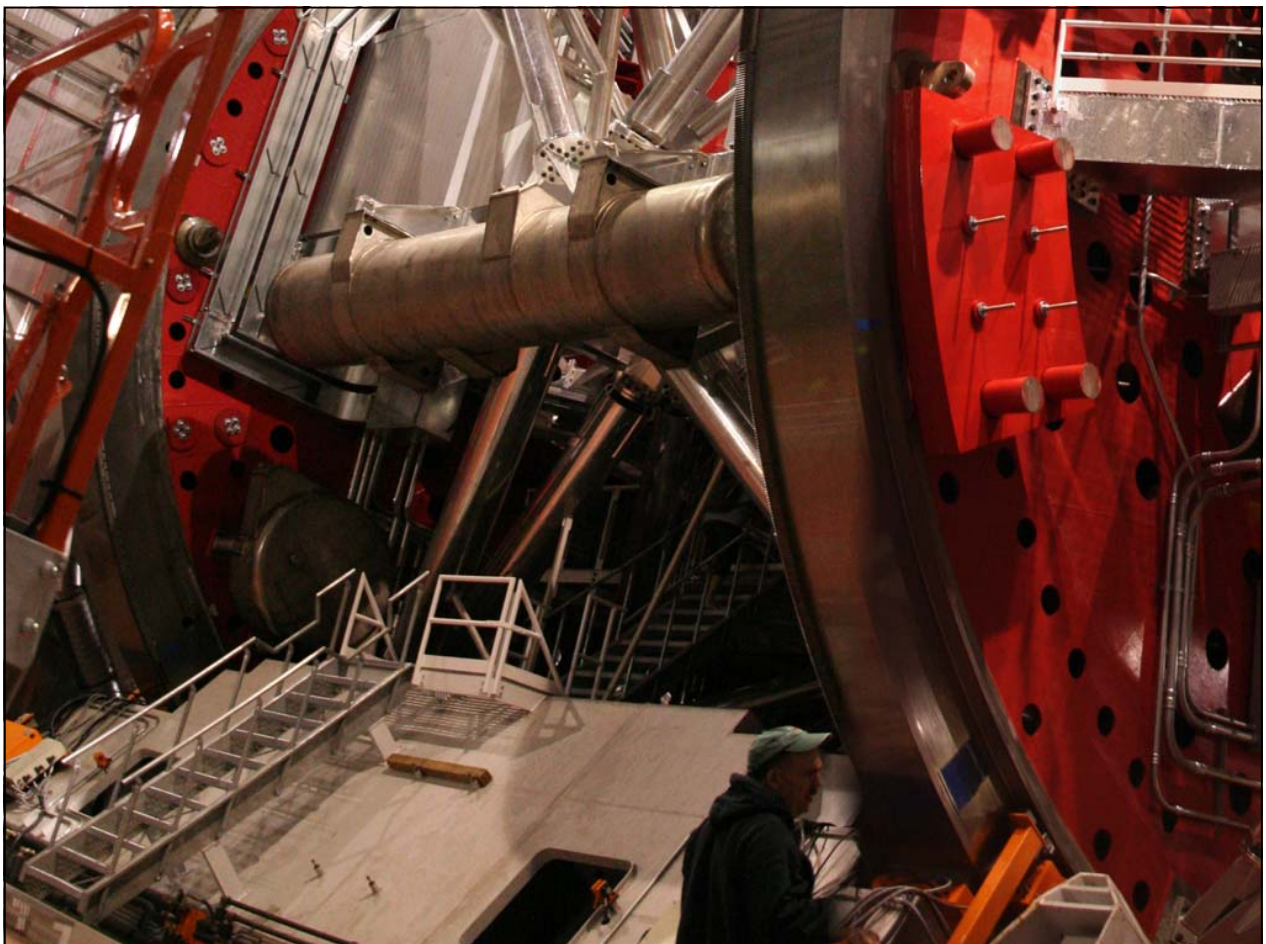
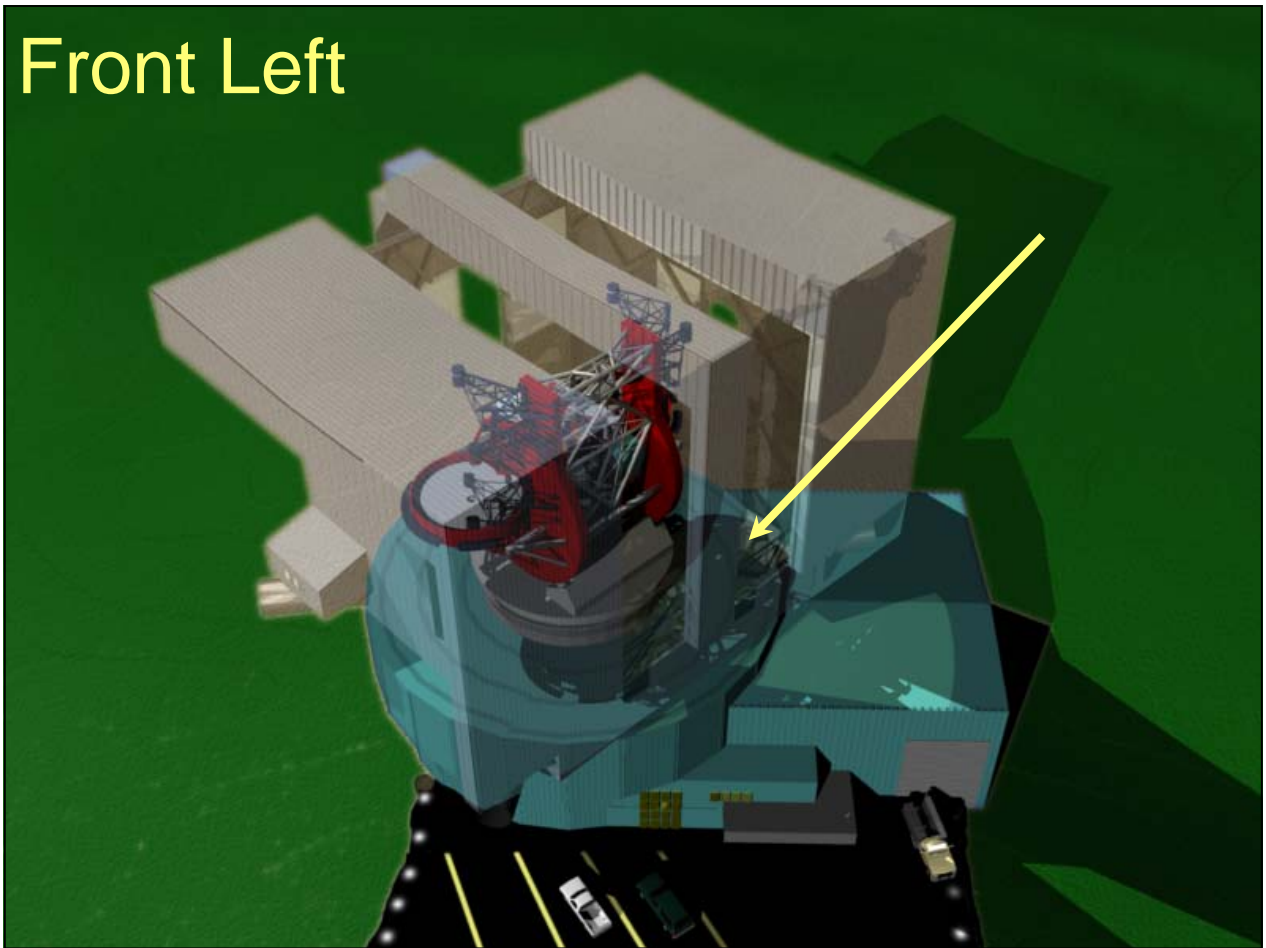
June 2002

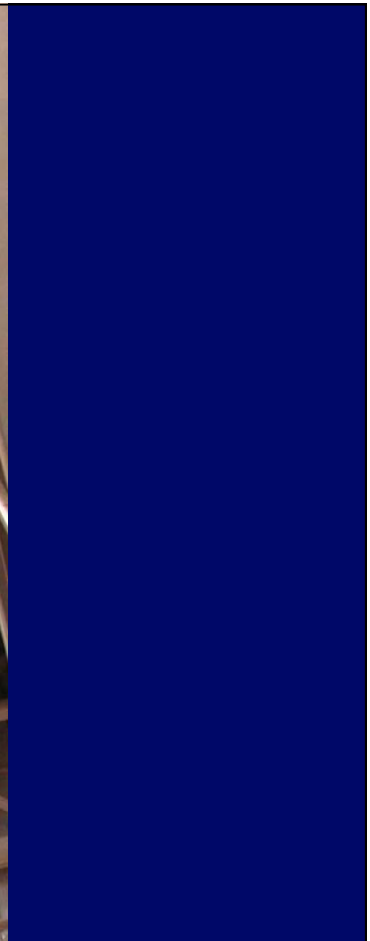
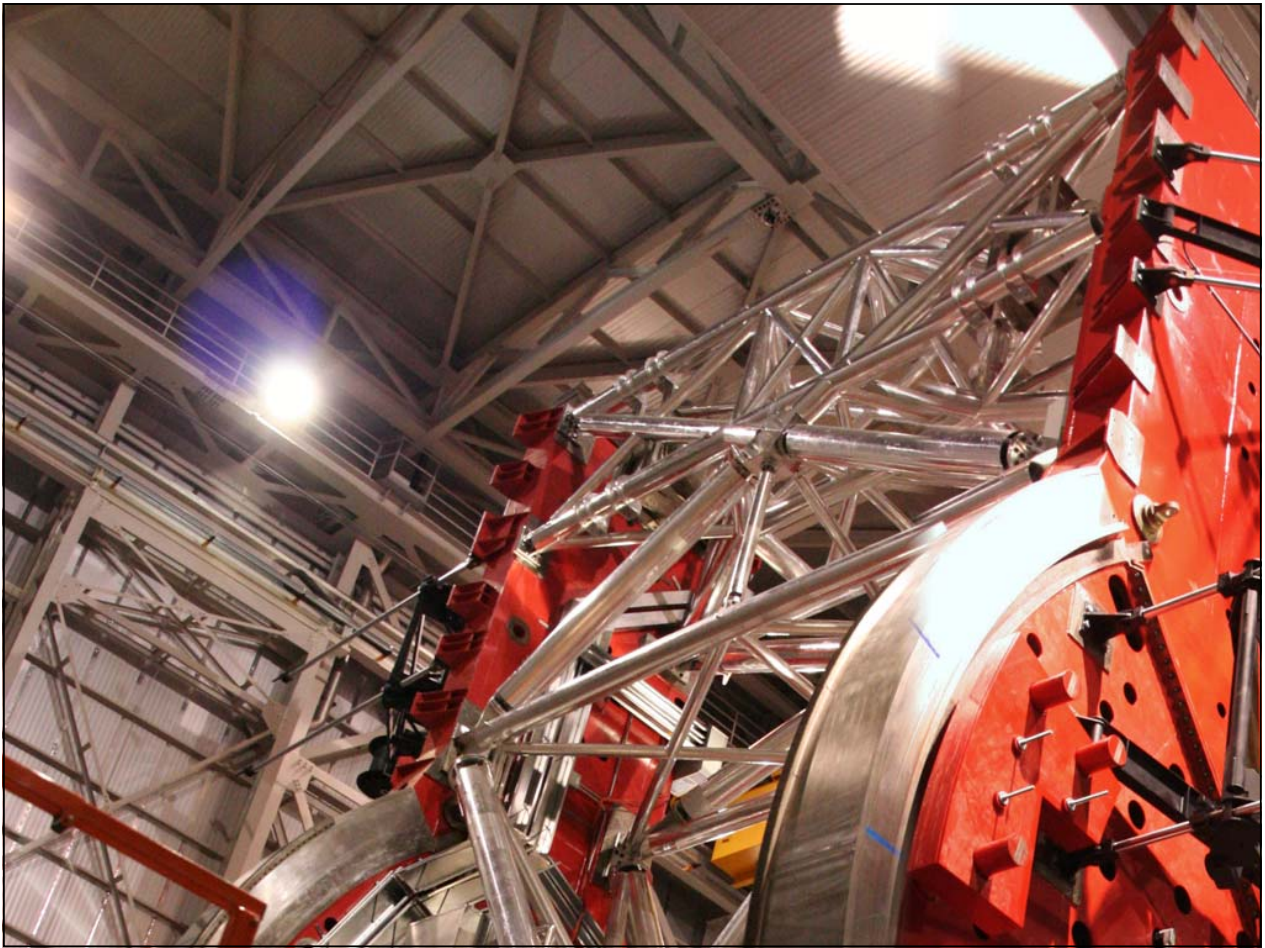


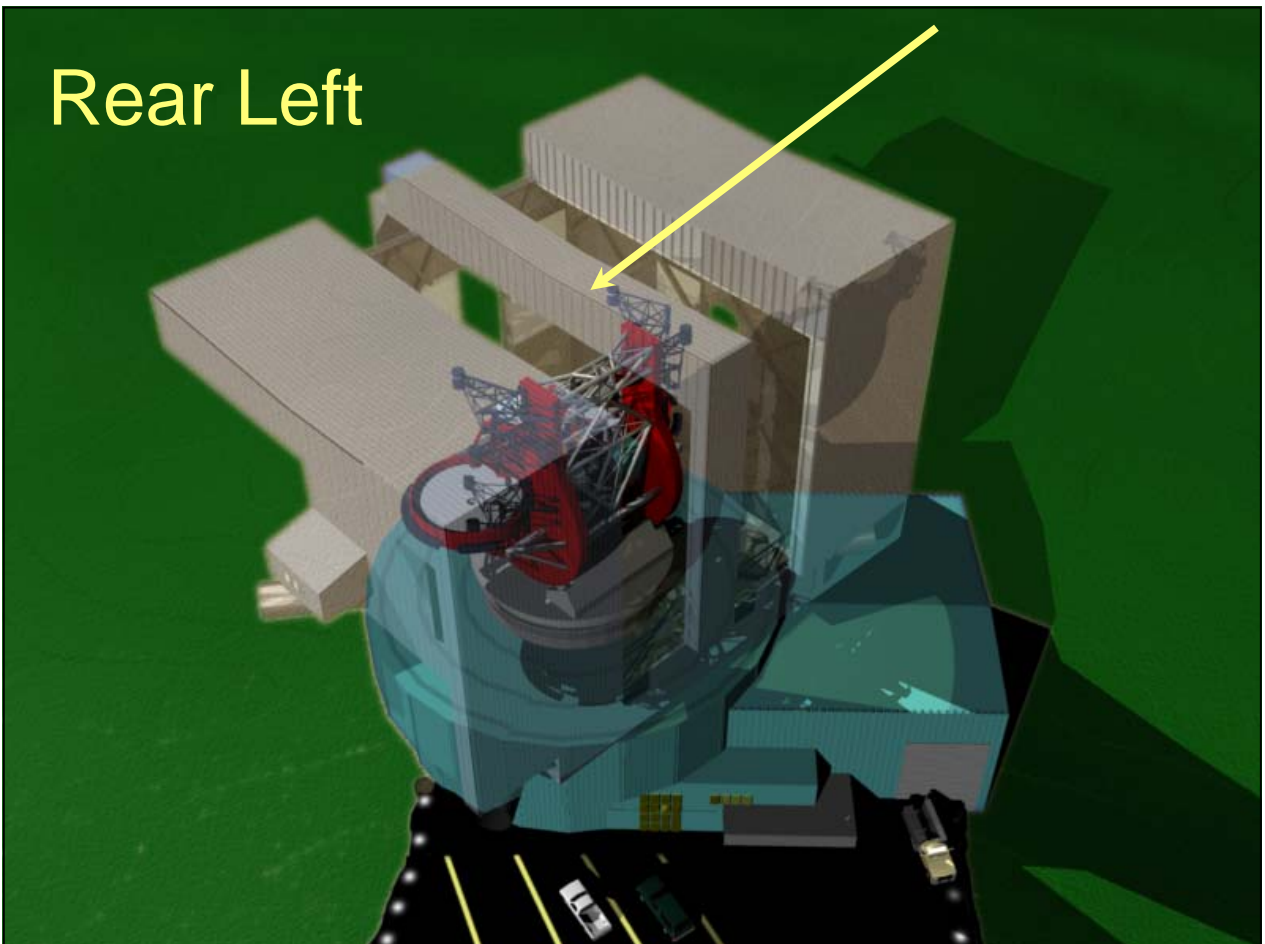
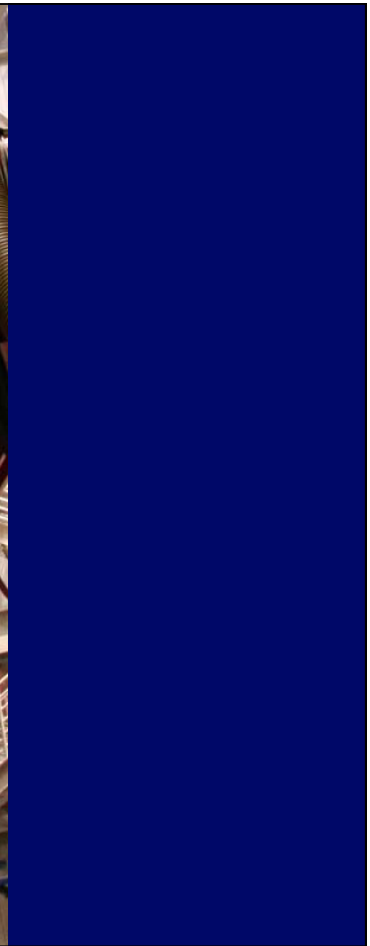
big...

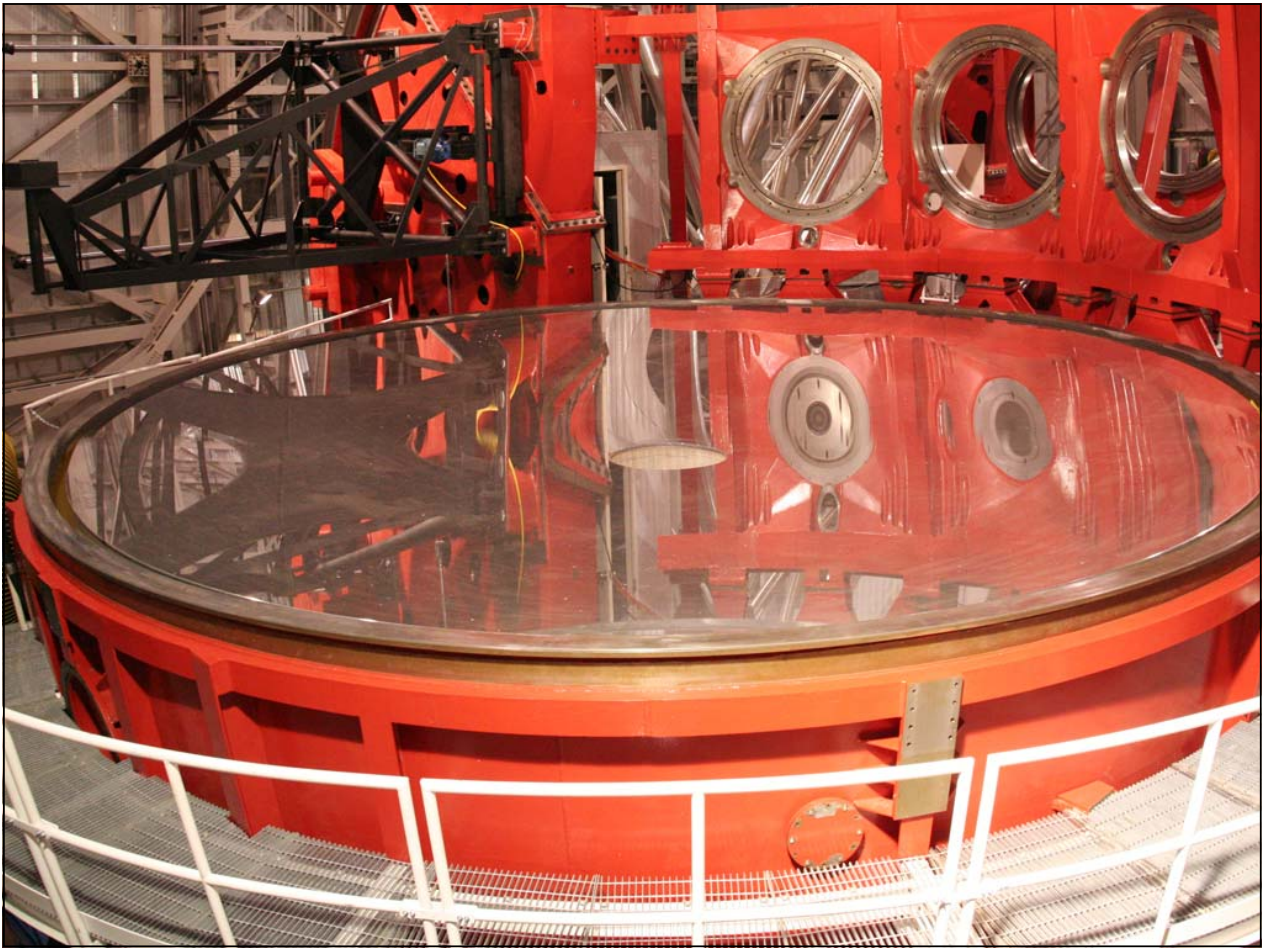


Front Left

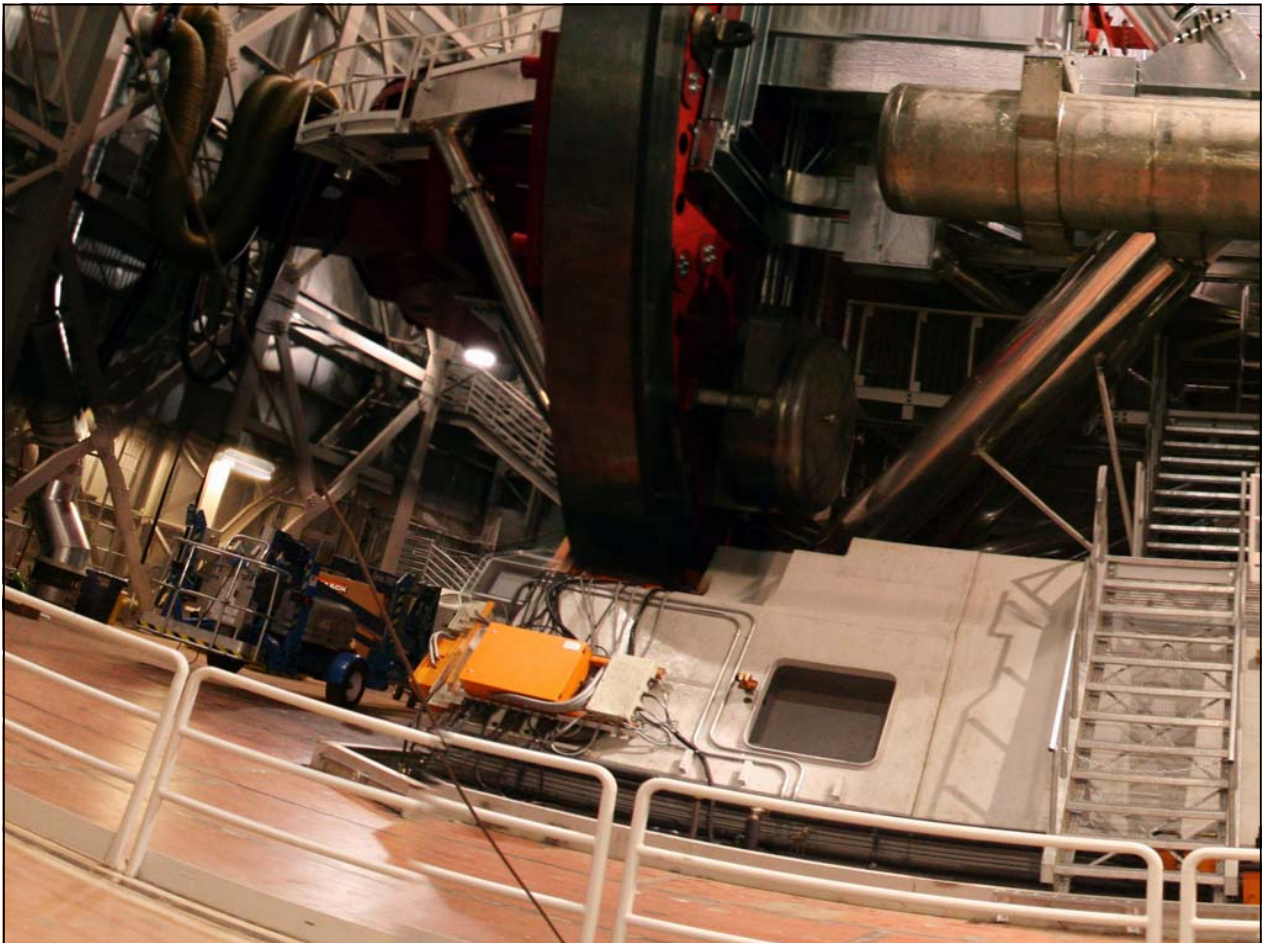
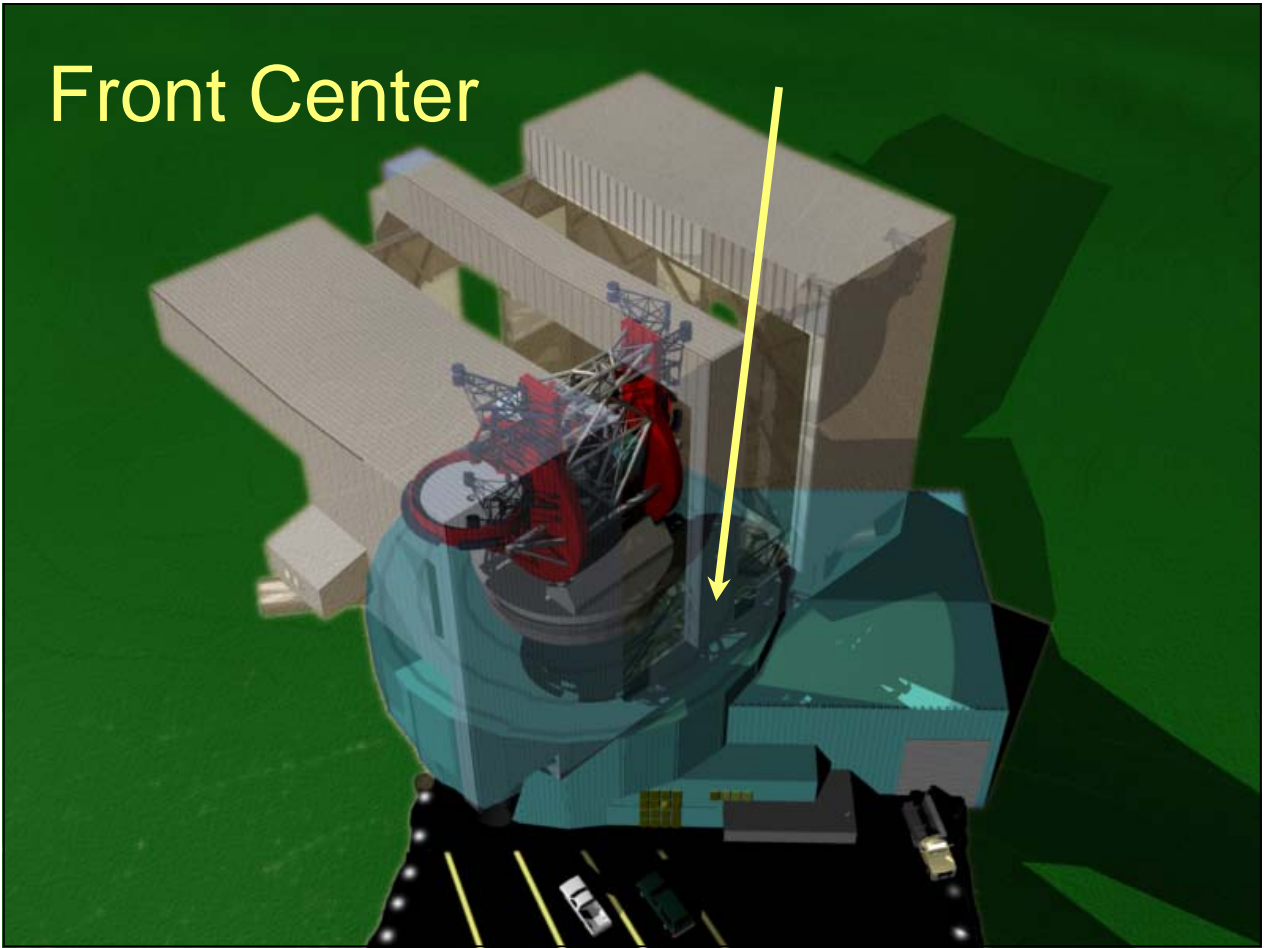


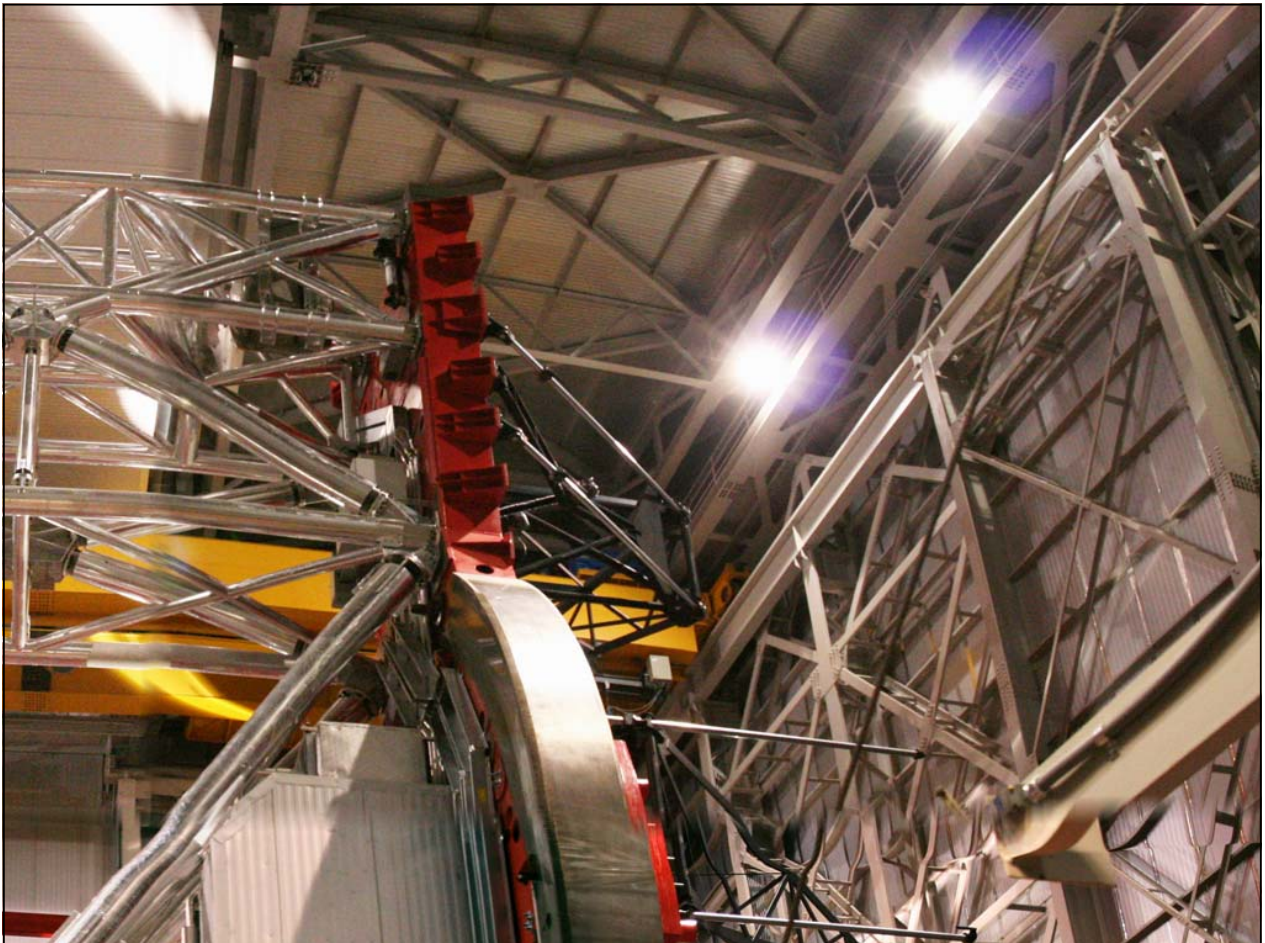
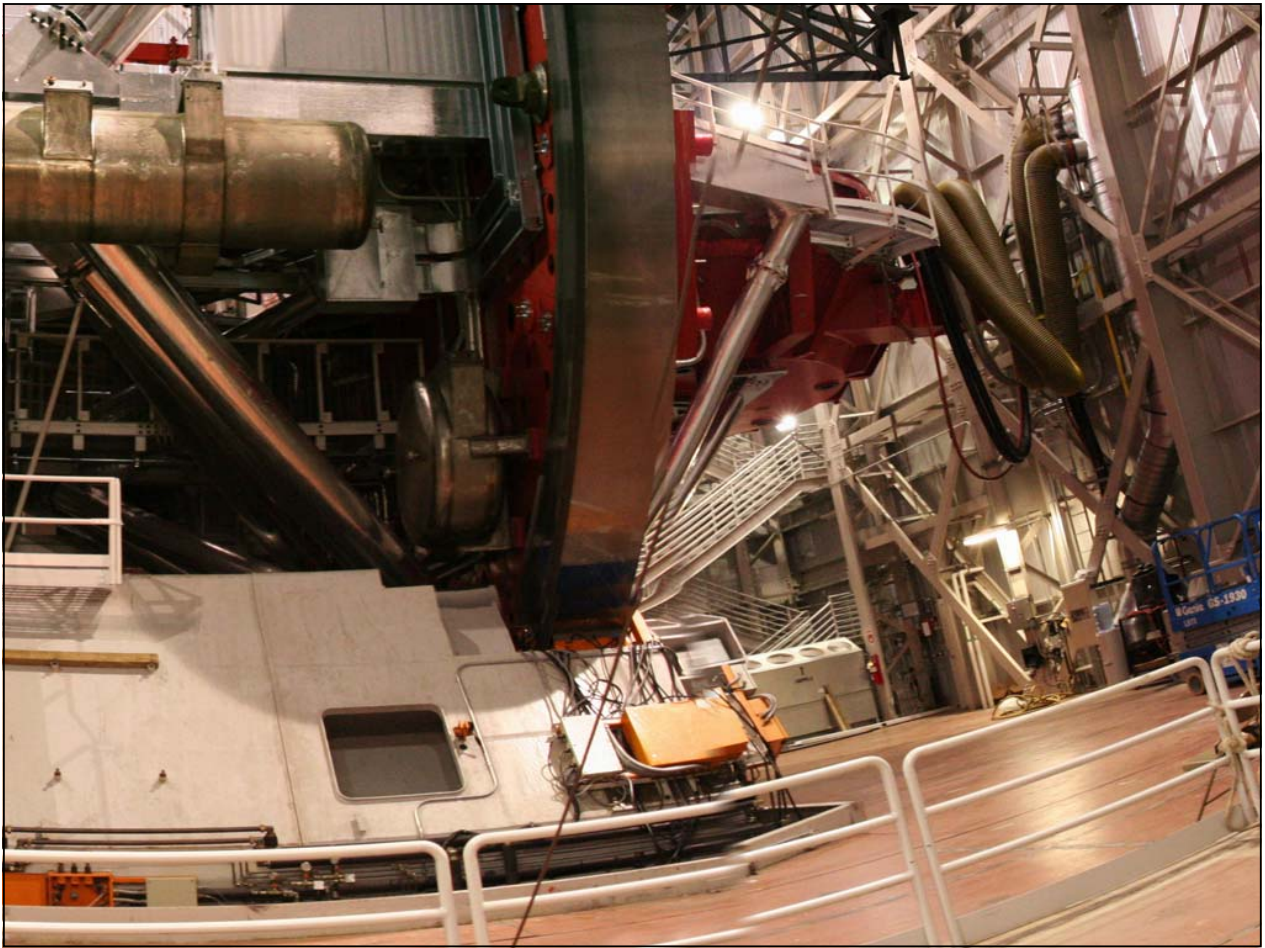


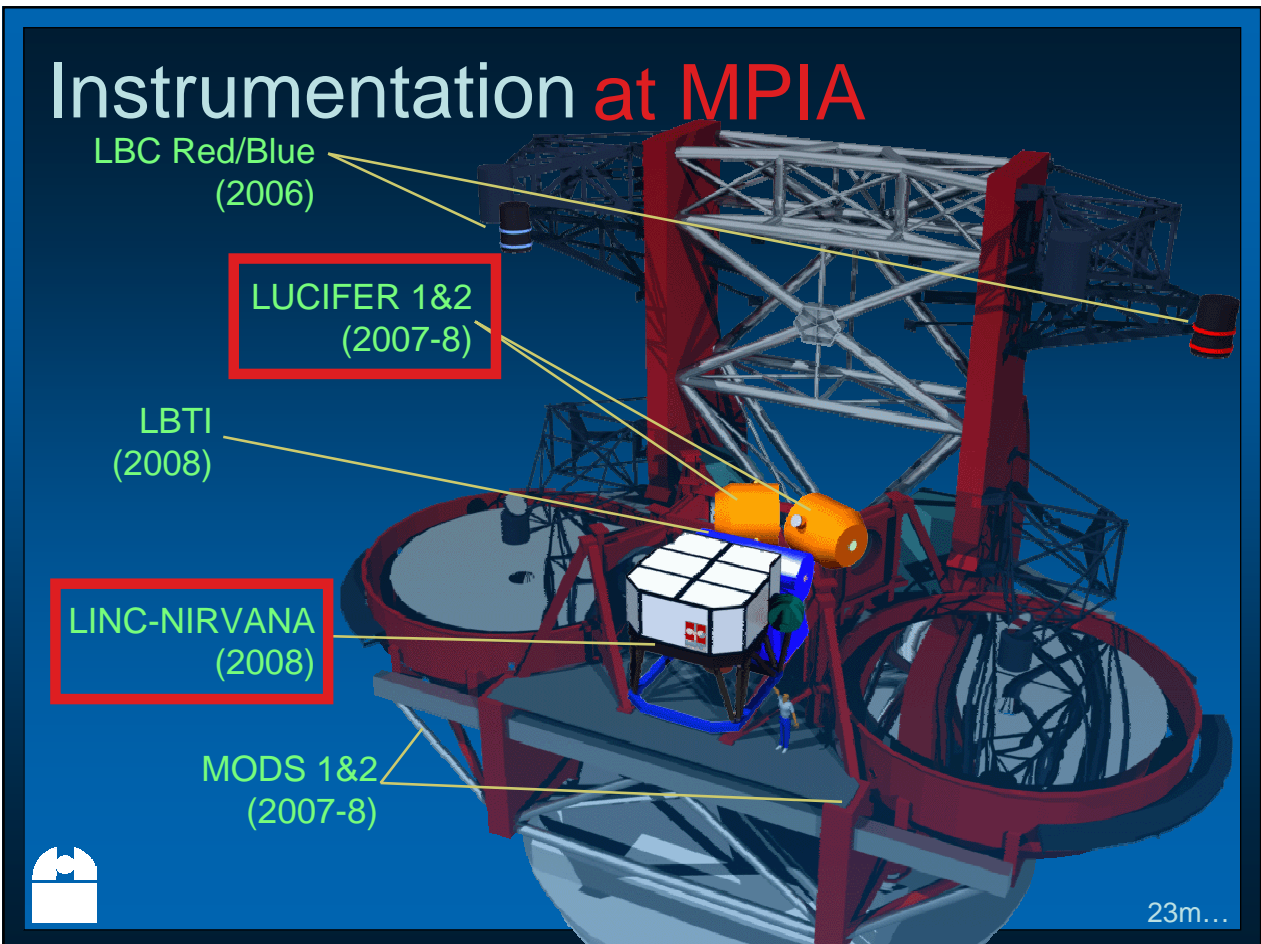
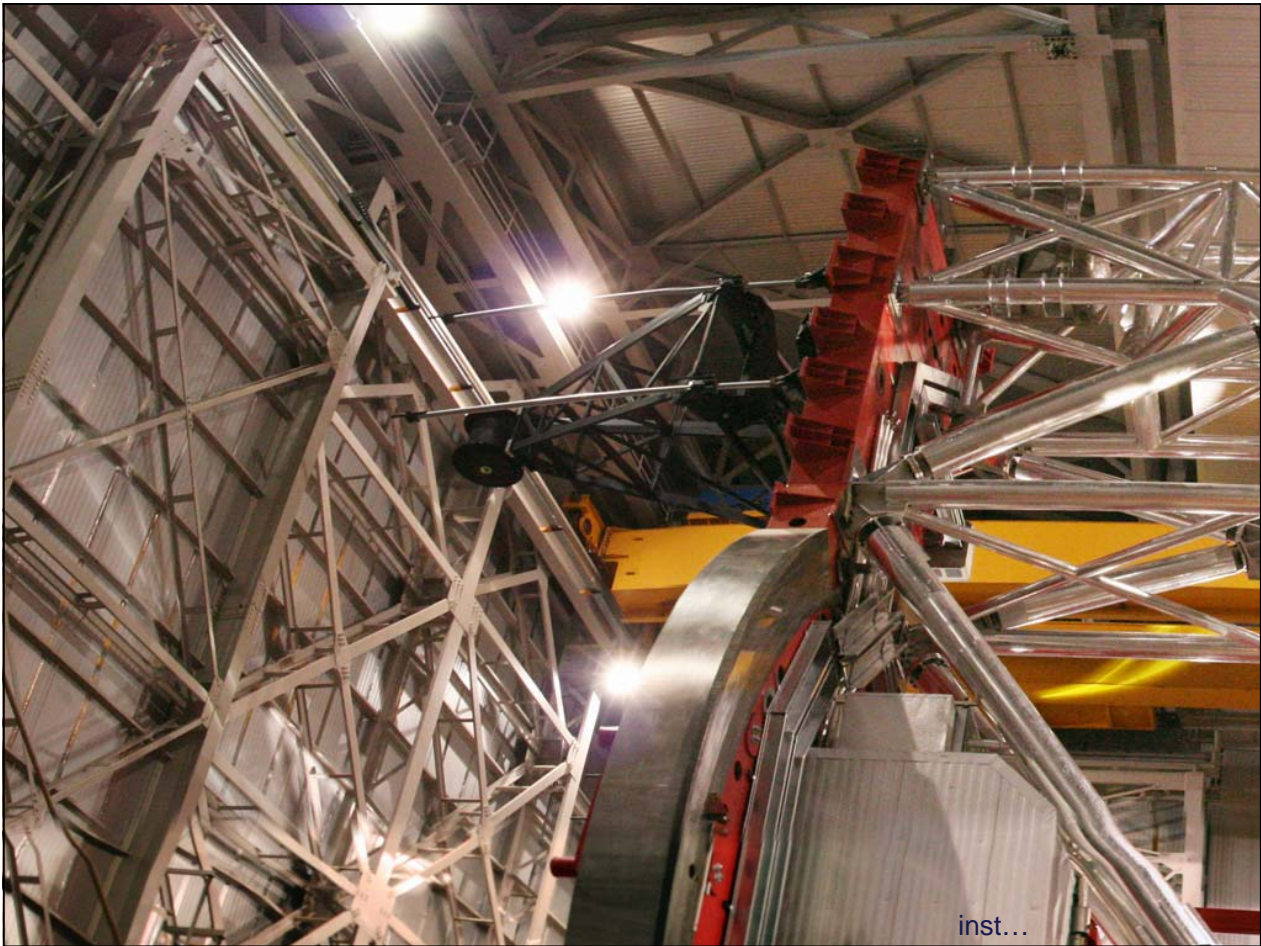




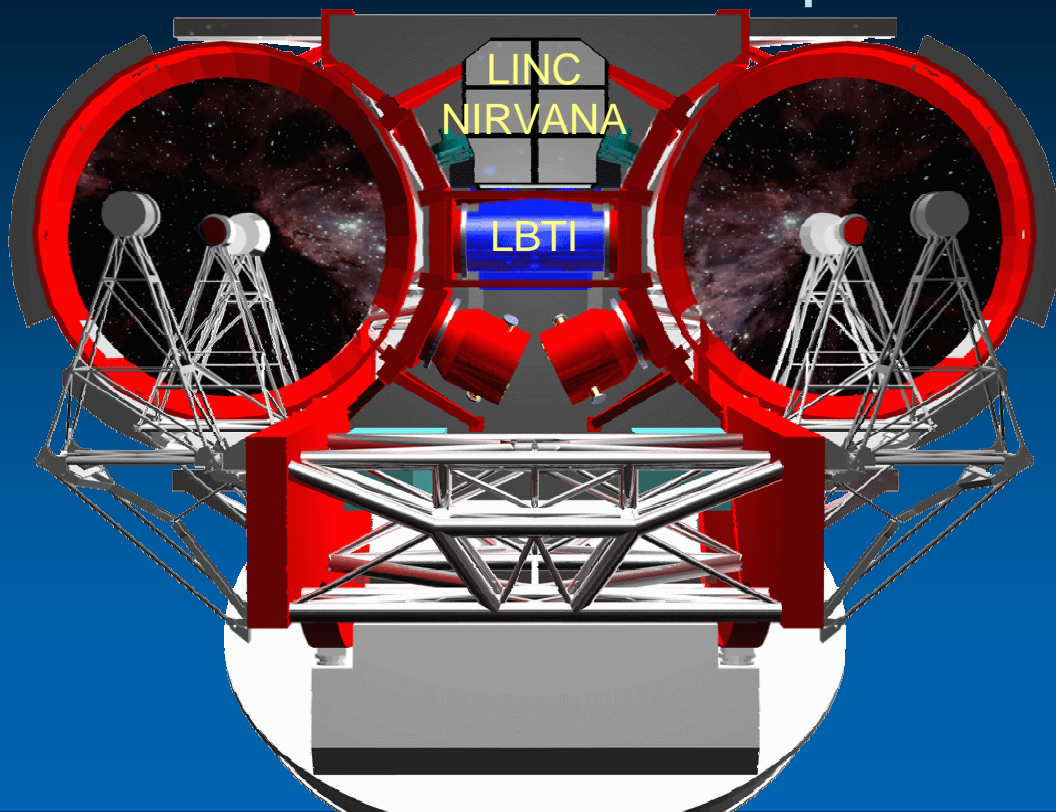
Front Center



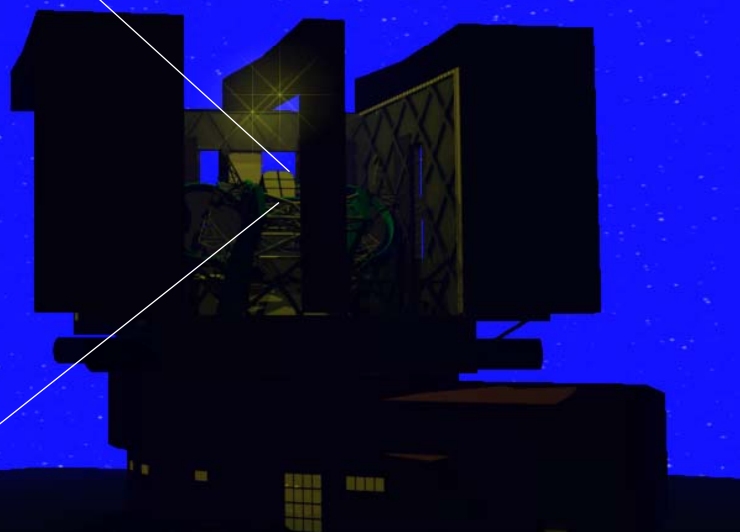
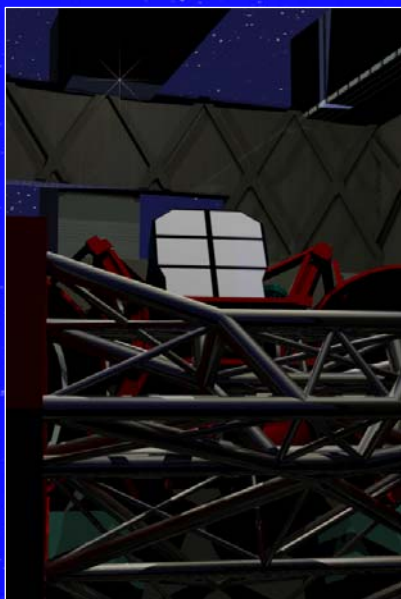
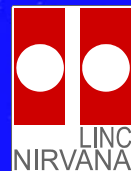




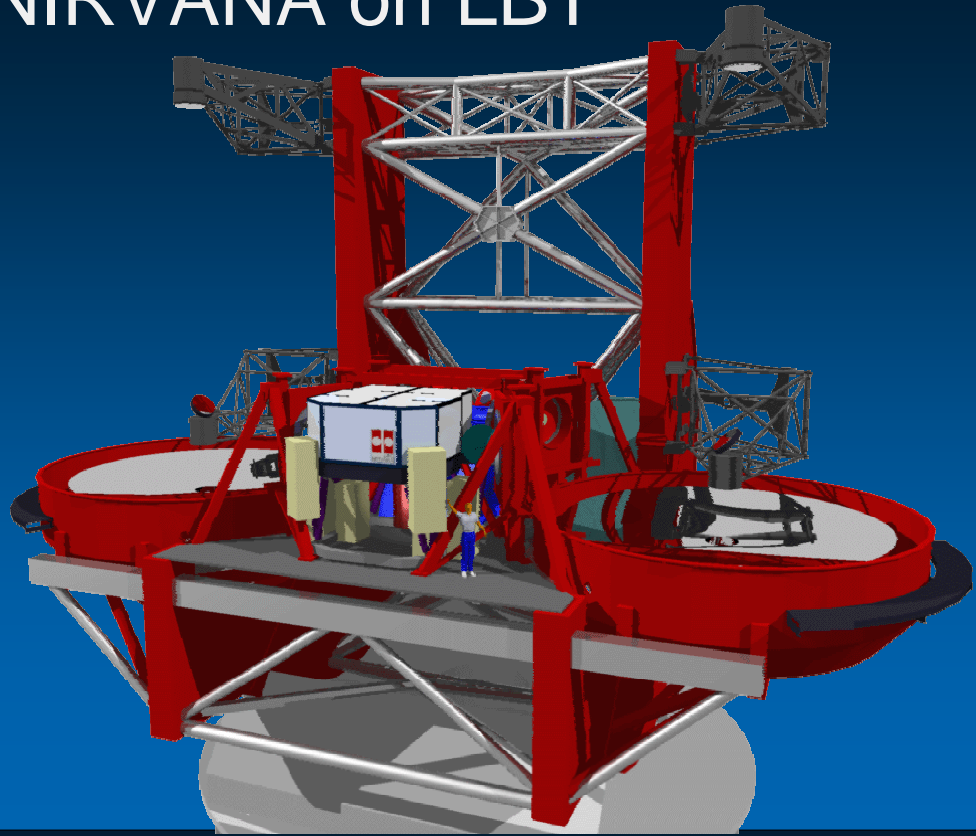
LBT - A 23 Meter Telescope



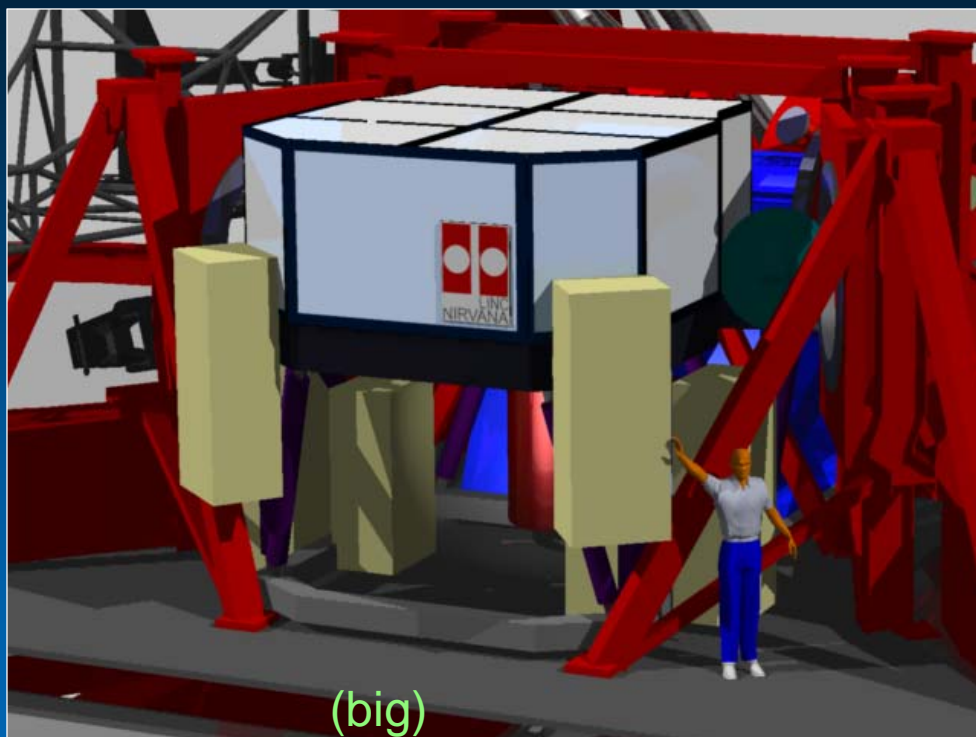
LINC-NIRVANA on LBT



LINC-NIRVANA on LBT

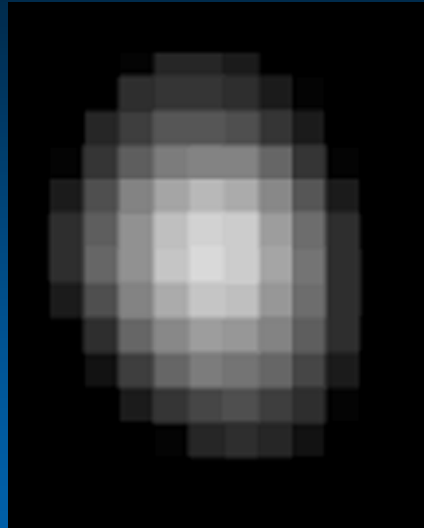


LINC-NIRVANA on LBT



why?

Angular Resolution



NGC 4535



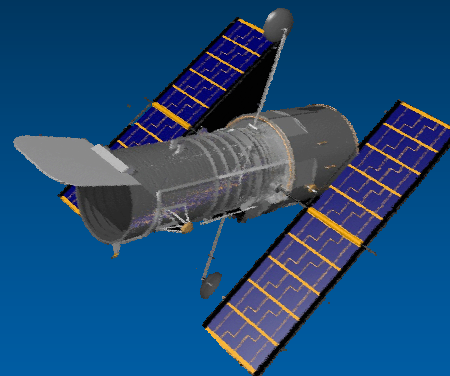
Excellent seeing 0.4 arcsec



Angular Resolution



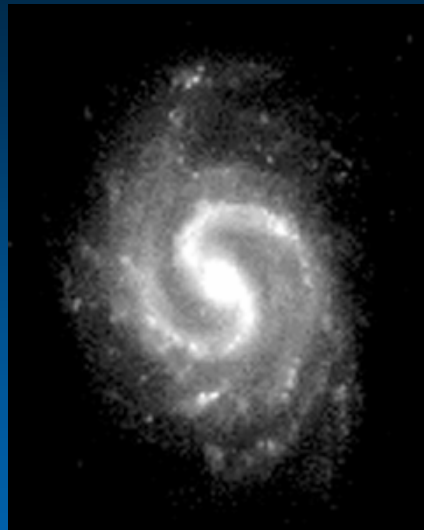
NGC 4535



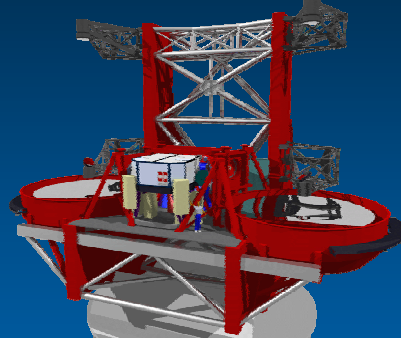
HST 0.2 arcsec



Angular Resolution



NGC 4535

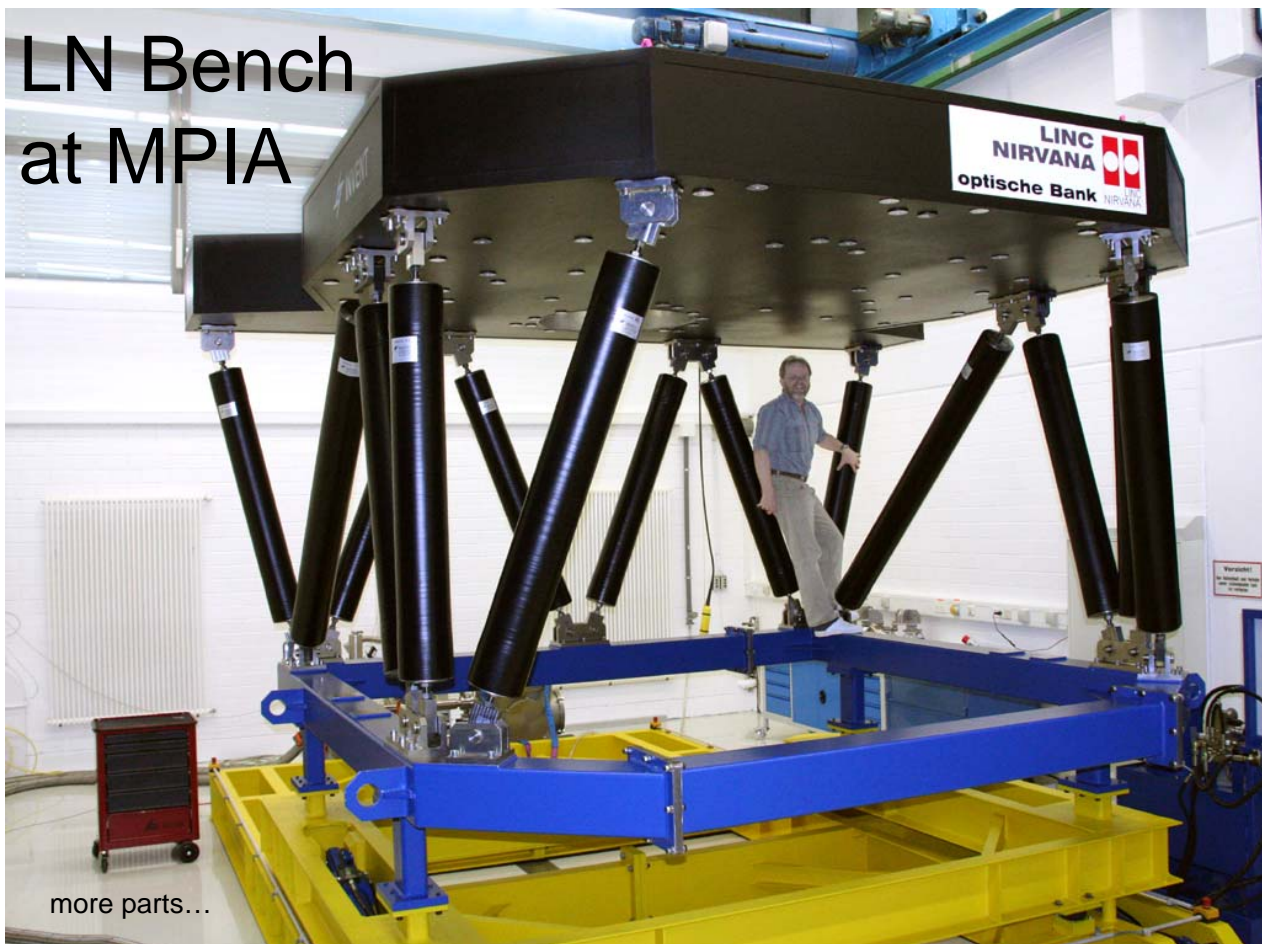


LINC-NIRVANA
0.02 arcsec



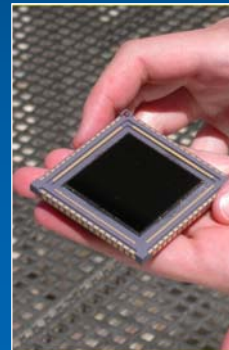
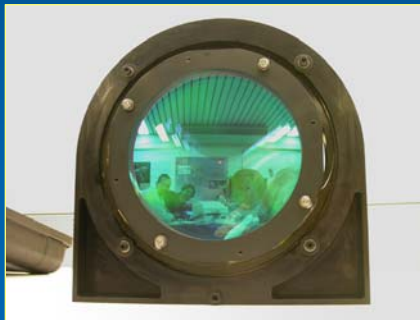
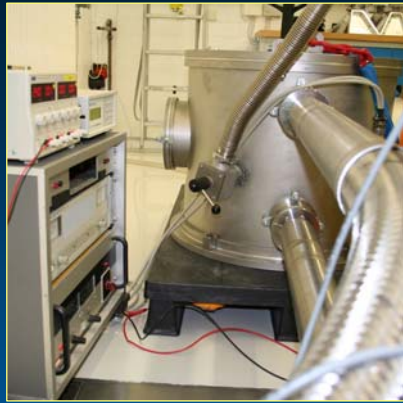
where we are...

LN Bench at MPIA



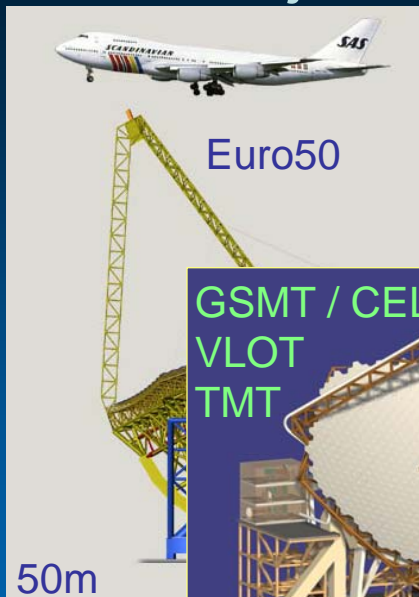
more parts...

LINC-NIRVANA Parts

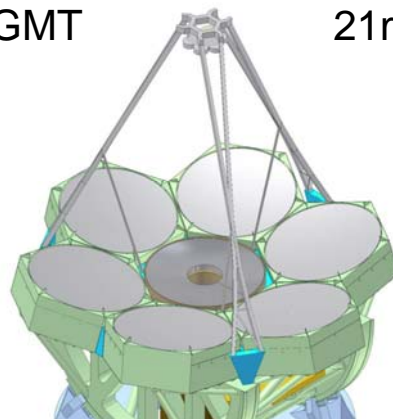


ELT...

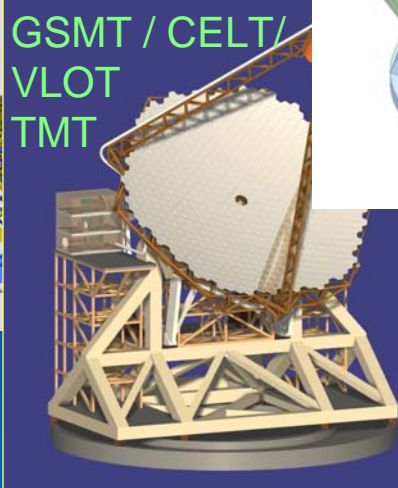
ELT Projects



GMT 21m

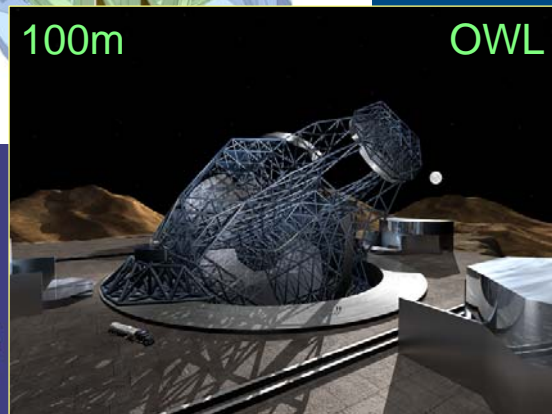


GSMT / CELT /
VLOT
TMT

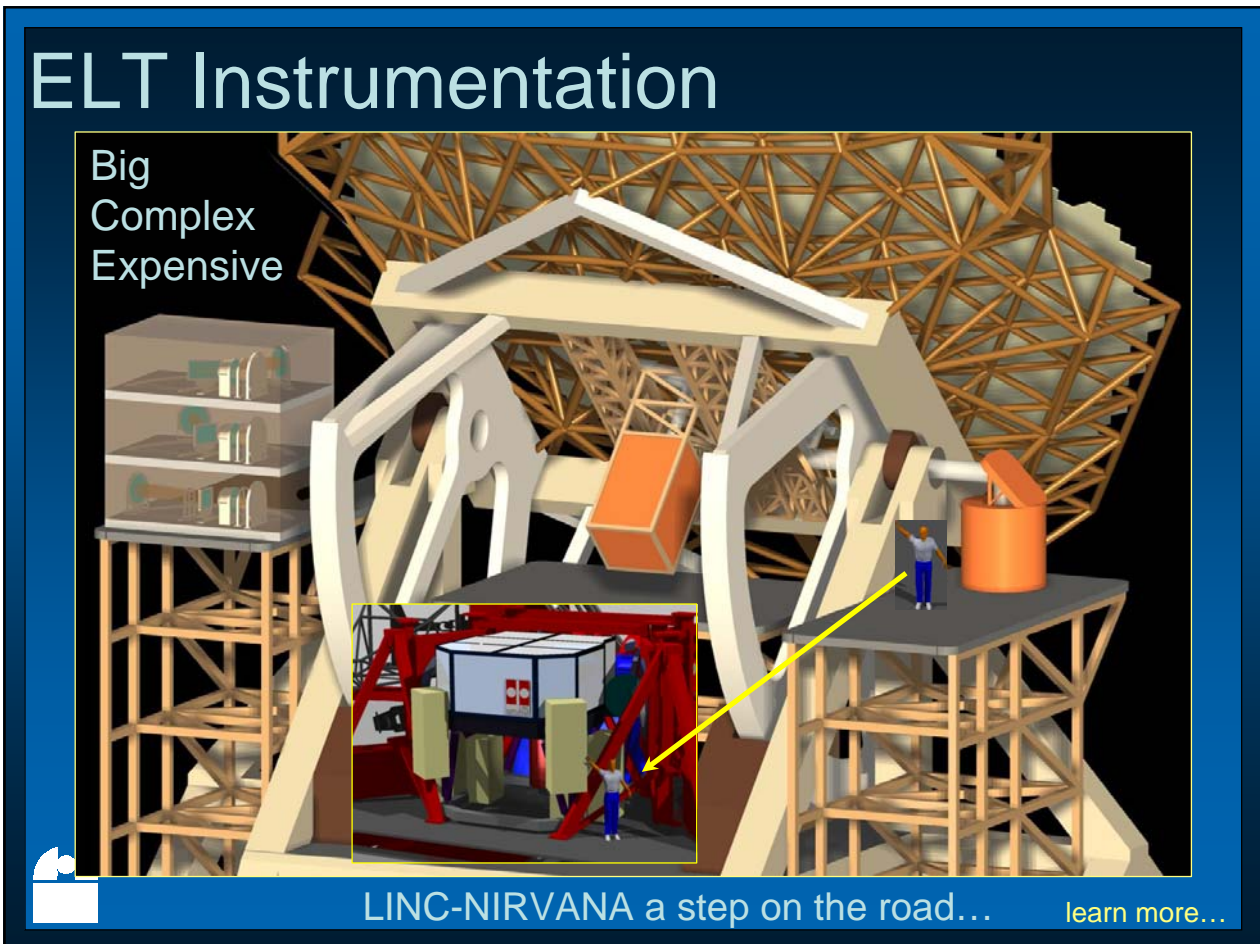
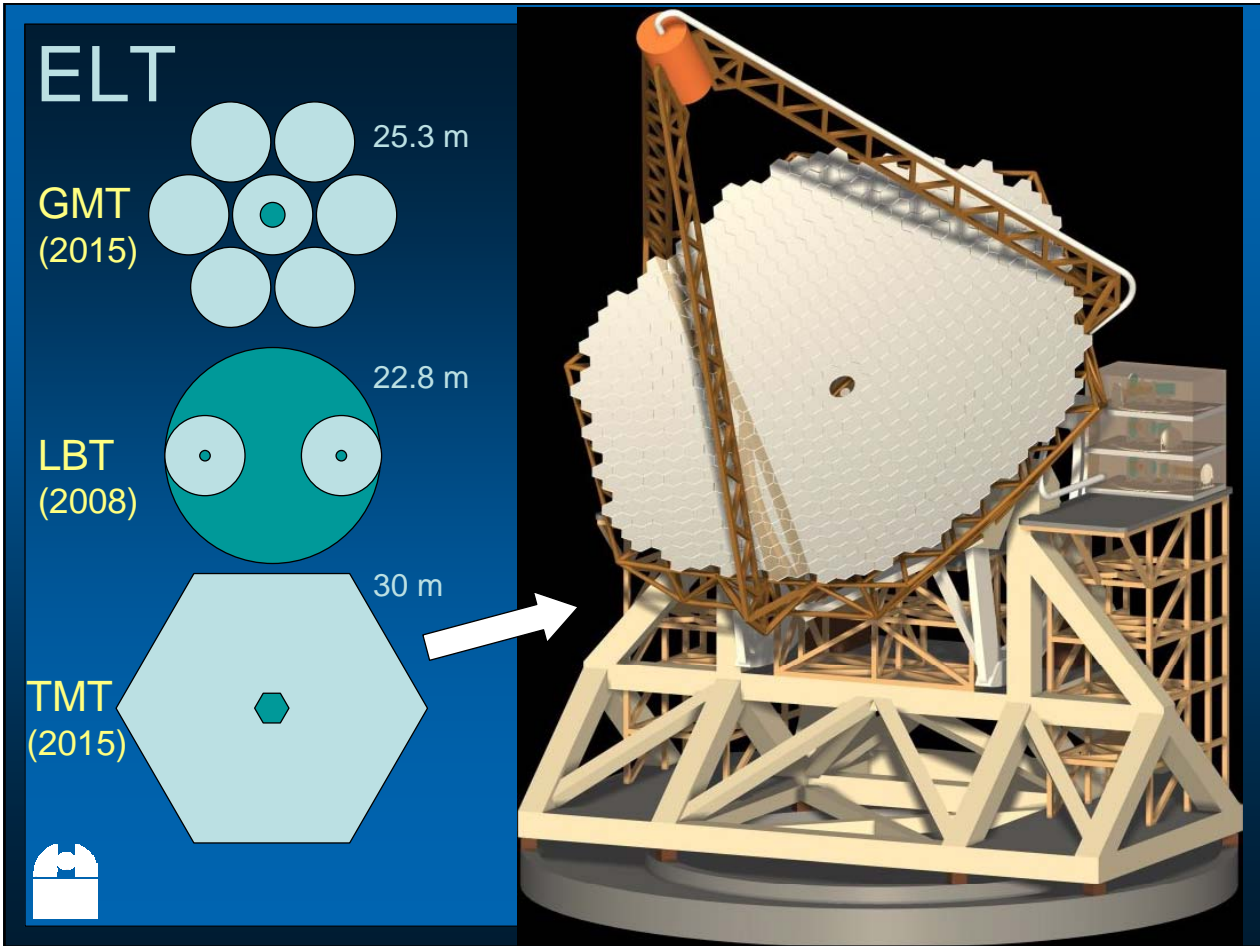


100m

OWL



1st ELT...



DAQ-System der 2. Generation für Auger, KATRIN und USCT



Matthias Kleifges, D. Tcherniakhovski, S. Menshikov,...

SEI –Herbsttagung Heidelberg, 20. Sep. 2006

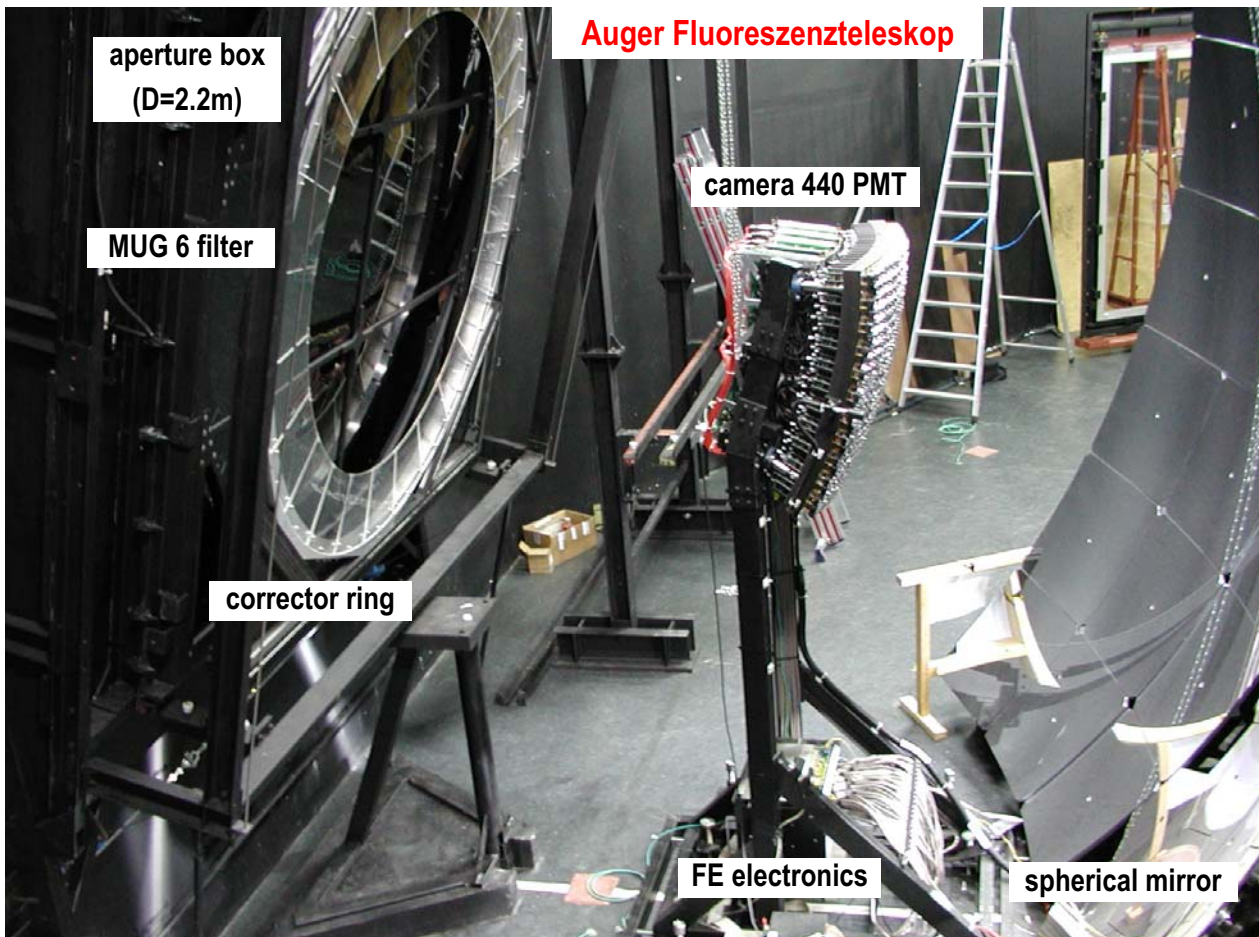
Forschungszentrum Karlsruhe
Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik

Inhalt

- **Zielsetzung der neuen DAQ**
- **Konzeption der DAQ:**
 - **Gesamtkonzept**
 - **Mechanik**
 - **Rückwandplatine**
 - **Frontendplatine (FLT): Aufbau und Funktionen**
 - **Prozessorplatine (SLT): Aufbau**
- **Status und Ausblick**

Universelles DAQ System für...

- **KATRIN: Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment**
 - Signale von 150 Siliziumpixel
 - Bestimmung von Zeit und Energie
- **USCT: Ultraschallcomputertomografie zur Erkennung von Brustkrebs**
 - Analyse der Signale von 384 Ultraschallsensoren
- **Auger Nord Observatorium: Untersuchung der kosmischen Höhenstrahlung (mit FD Teleskopen)**
 - Verarbeitung von 440 Photomultipliersignalen
 - Pixeltrigger, Erkennung von Lichtspuren (4-5Pix.)
 - Nachfolgesystem zu bestehender Elektronik

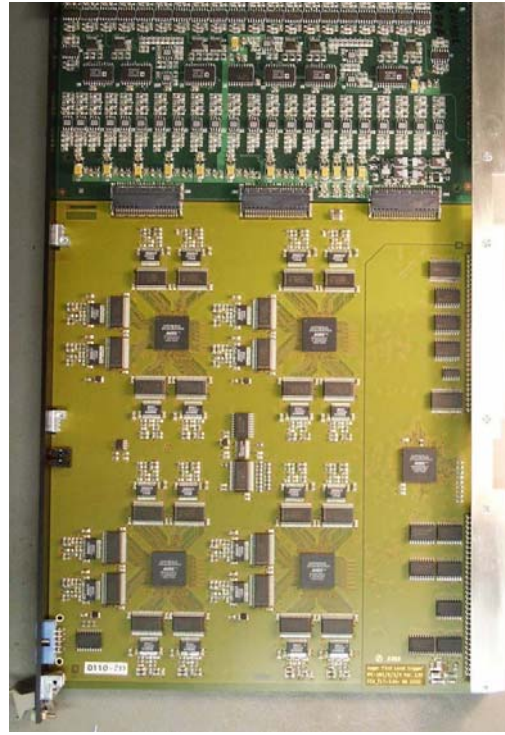


Bisherige Auger DAQ



20. Sep. 2006

Bisheriges FLT Modul



SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

5

Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Zielsetzung der neuen DAQ

- **universelles DAQ System für USCT, KATRIN u. Auger**
- **Erhöhung der Abtastrate von 10 MHz auf 20 MHz**
- **Höhere Zeitauflösung im SLT Trigger ($1 \mu\text{s} \rightarrow 100 \text{ ns}$)**
- **Mehr Ressourcen für Filter + Vorverarbeitung im FLT**
- **Schnellere Datenverbindungen zum SLT**
- **CPU- Einsatz auf SLT als „embedded system“**
- **Verringerung des Platzbedarfs (9U Platinen \rightarrow 6 U)**

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

6

Gemeinsamkeiten der Projekte

- **Filterung, Digitalisierung und Speicherung vieler Kanäle**
- **großer dynamischer Bereich (≤ 16 Bit)**
- **Abtastraten im Bereich 10 MHz ... 20 MHz**
- **Modularer Aufbau aus FLT (max. 20) und SLT (1x) in einem gemeinsamen 19" Baugruppenträger**
- **Zwischenspeicherung der Daten in FLTs, dann Auslese und Verarbeitung durch SLT**
- **Anbindung über Ethernetschnittstelle zum Anwender**

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

7

ABER: Unterschiede auf dem FLT

Kriterium	USCT	KATRIN	Auger
Kanäle (gesamt)	384 Chn. (mult.)	90... 150 Chn.	440 (480) PMT
Anzahl FLT/ Syst.	max. 16	max. 7	20
Total # Systeme	1 Prototyp	1-3	3 sicher + 15/25
Preis pro FLT	nicht so wichtig	Nicht so wichtig	Sehr wichtig
Ext. RAM pro FLT	2400 MByte	3 x 16 kByte	3 x 2 MByte
Digitaler Filter	sehr komplex	komplex	einfach
Triggerfunktion	extern	selbsttriggernd	durch SLT
FPGA-Logik	Ca. 8 Mio EG	< 500 k. EG	< 1 Mio EG
Notwendige Rate	20 MHz	10 MHz	10- 20 MHz
Stromverbrauch	hoch	niedrig	niedrig

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

8

Pro / Contra eines gemeinsamen Designs

Vorteile:

- Kosteneinsparung durch gemeinsame Komponenten (Baugruppenträger, FLT...)
- Effiziente Nutzung der IPE Arbeitskraft für Entwicklung und Fertigung
 - Nur deshalb kann Zeitrahmen eingehalten werden

Nachteile:

- Kompromisse beim Designentwurf
 - Realisierung ist ausreichend, aber nicht optimal für jedes Projekte

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

9

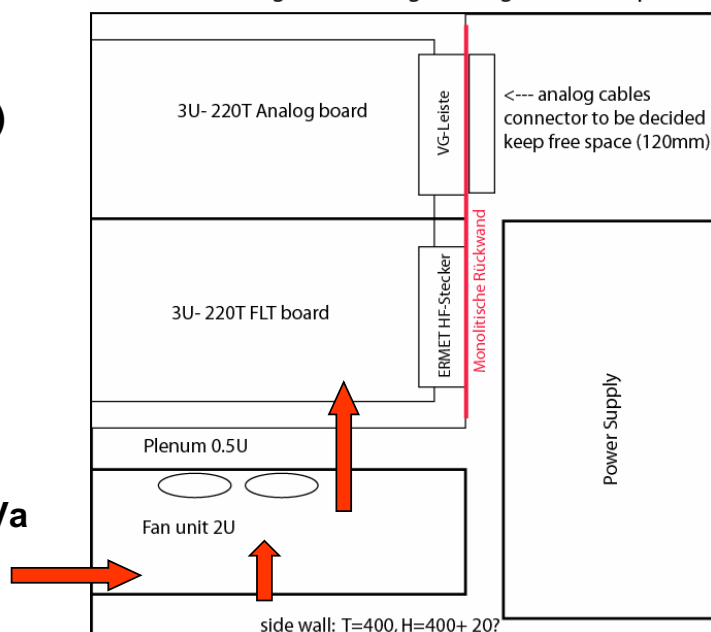
Mechanik des Baugruppenträgers:

Design: 3U analog / 3U digital , 220 depth

Seitenansicht:

- 3U Analog Platine (oben)
- Signalkabel rückseitig
- 3U FLT Platine (unten)
- Verbindung über 3 SMC-Stecker
- Lüftung von vorne oder unten
- Power: 3.3V,5V dig, +/-5Va

Luftkühlung

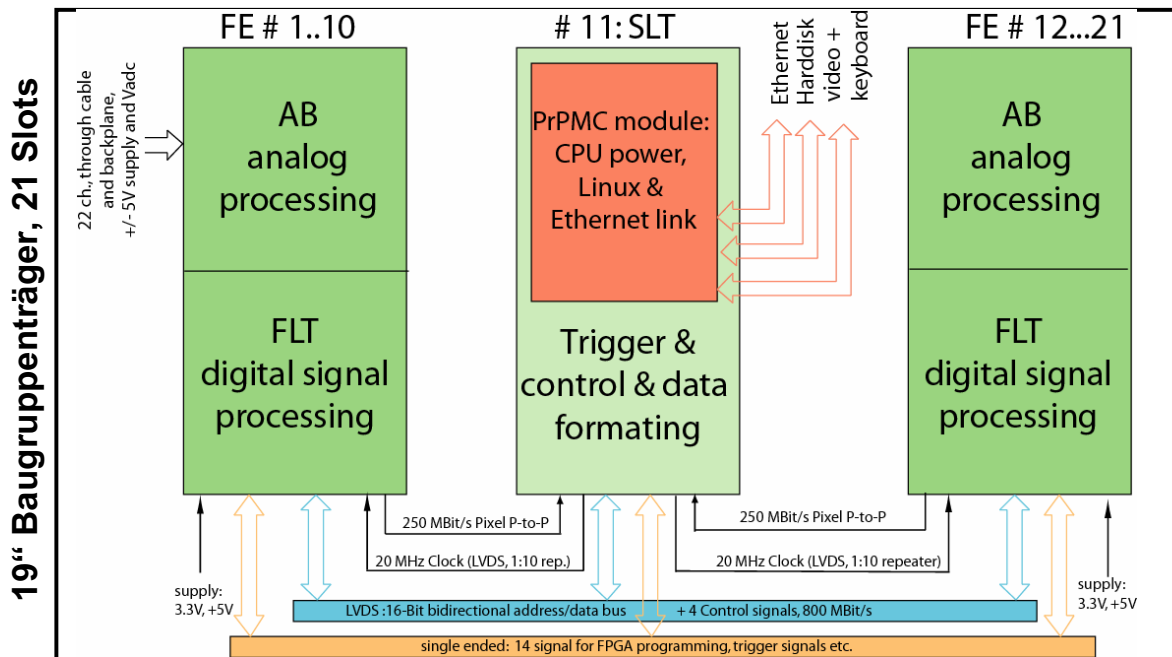


20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

10

Konzept des Gesamtsystems:



20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

11

Verbindungen auf der Rückwandplatine:

- 10 MHz Taktverteilung (LVDS, Punkt-zu-Punkt)
10:1 Repeater, Impedanz- und Längenkontrolle
- Pixelübertragung (Punkt-zu-Punkt, FLT → SLT, 250 Mbit /s)
LVDS Signale, Impedanz- und Längenkontrolle
- Daten- und Adressbus (LVDS, FLT ↔ SLT, 100 MByte /s)
16+4 LVDS Signale, impedanzkontrolliert
proprietäres Protokoll
- Kontrollbus (14x single ended)
Programmierung der FPGA, Reset, Inhibit,..
- Geographische Adressierung
- Power: 2 digitale, 2 (3) analoge Spannungen, ca. 500 Watt

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

12

HF-Steckverbinder

ERmet 2.0mm
Type AB u. B
CompactPCI



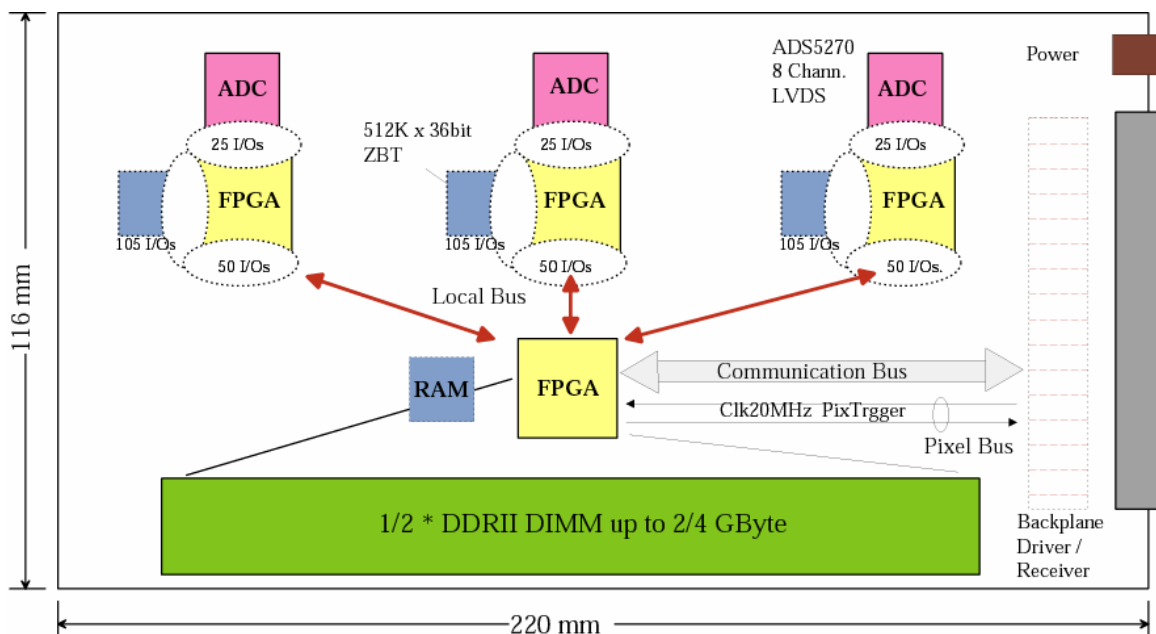
- Female / male Typen für FLT+ SLT bzw. Backplane
 - 2 mm Abstand, 5x25 bzw. 5x22 Pins pro Stecker
 - mit u. ohne Schirmung, HF geeignet, Rate < 3GBit/s
 - niedriges Übersprechen 55 dB (@ 100 MHz)
 - Impedanz 52 Ohm, niedriger Skew (< 46 ps)
- deshalb von CompactPCI genutzt

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

13

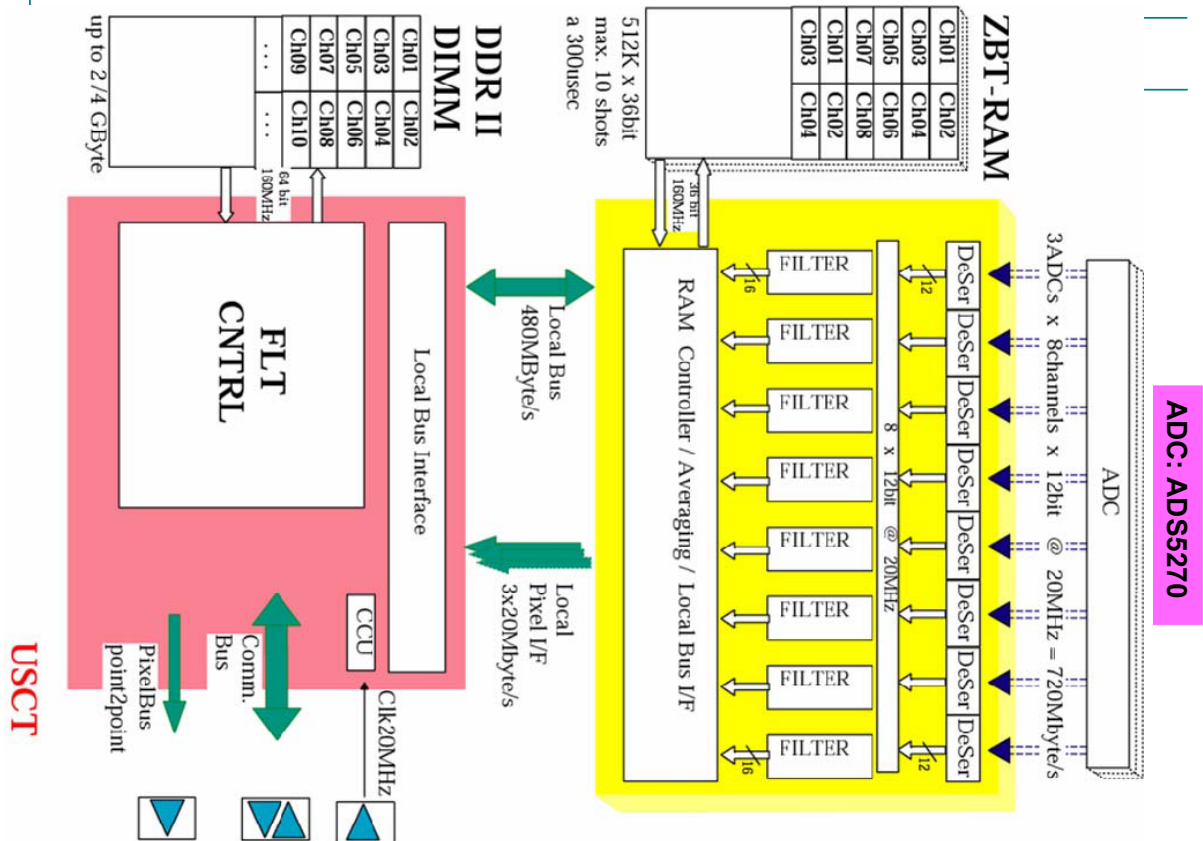
FLT Aufbau: (3U x 220mm)



20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

14



20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

15

Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Realisierung der Projektunterschiede

Unterschiede im Speicherbedarf (DIMMs bei USCT)

→ *Bestückungsoption für DIMMs bei USCT*

Unterschiede in Komplexität der FPGA-Logik

→ *Bestückungsoption für unterschiedlich große Altera FPGAs*

Unterschiede in der Funktionalität

→ *Booten mit projektspezifischer Firmware*

Anpassung der Signale an Eingangsbereich des ADC

→ *projektspezifische Analogplatten*

Ermöglichung von Sonderkarten zur Pulserzeugung etc..

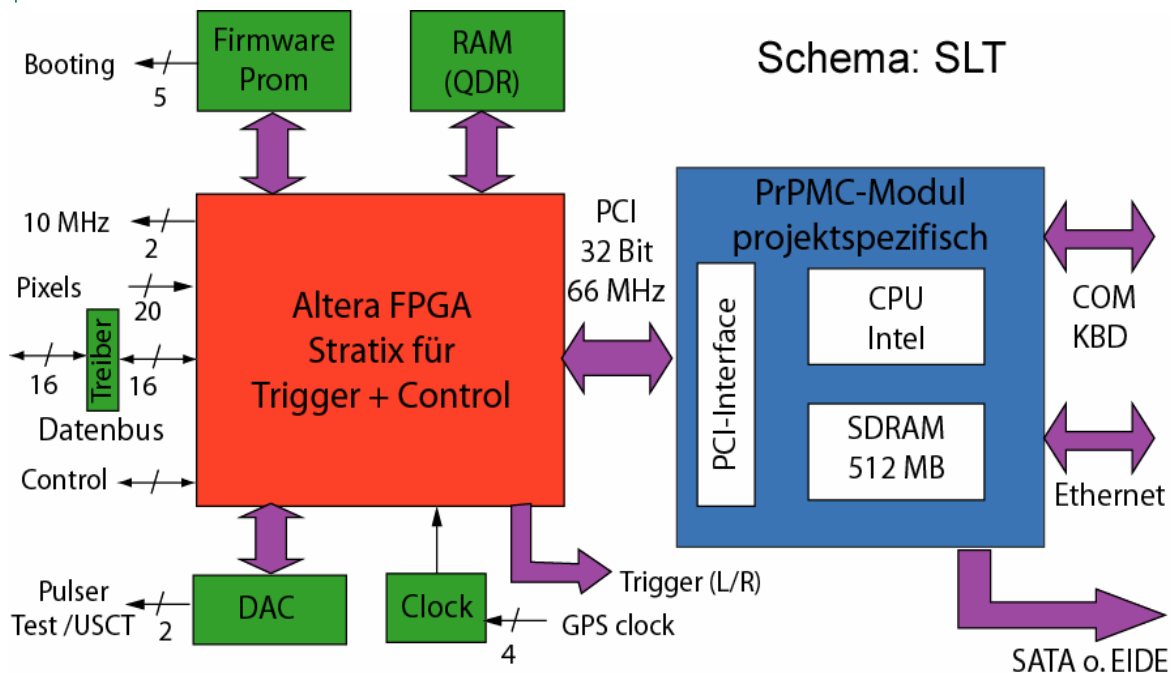
→ *möglich bei KATRIN und USCT*

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

16

Struktur des SLT



20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

17

Merkmale des PrPMC Modules

- PrPMC = **P**rozessor **P**CI- **M**ezzanine **C**ard
- Leistungsmerkmale von z.B. Mercury PCR-100
 - CPU: 1.1 GHz Pentium M mit 1 MB L2 cache
 - Speicher: 1 GB DDR333 SDRAM 64-bit
 - Harddisk: Seriell ATA 150 über Rückwandstecker
 - Ethernet: 2-fach, 10/100/1000 BaseT
 - PCI-Interf. 64-bit 133/100/66/33 MHz, PCI/ PCI-X Bus
 - Power: max. 26 Watt, je nach Konfiguration
 - Sonstiges: 2x COM, Keyboard, 4x USB 2.0
 - Betriebssystem: Win oder Linux, über Ethernet bootbar

20. Sep. 2006

SEI Herbsttagung Heidelberg 2006, M. Kleifges

18

Status und Ausblick:

- Testplatine (Schaltung + PCB Design+ Platine) fertig
 - Test von ADC, FPGA und RAM Interface
 - Messung der Datenübertragungsraten sobald Rückwand bereit
- Rückwandplatine wird diese Woche fertig bestückt
 - externe Bestückung (Schroff) wegen Einpresstecker
- FPGA Firmware in VHDL
 - sowohl für SLT wie FLT bereits angefangen
- Arbeiten bis zum Frühjahr 2007:
 - Entwicklung, Produktion und Test von FLT Platinen
 - Entwicklung, Produktion und Test von AB-USCT
 - Entwicklung, Produktion und Test von SLT Platinen
 - Test des Gesamtsystems

Kommentare zum Vortrag

„DAQ-System der 2. Generation für Auger, KATRIN und USCT“

von M. Kleifges (FZK-IPE), SEI-Tagung 20.9.2006, Heidelberg

Folie 1:

Titelfolie: Die Arbeit wird hauptsächlich von den genannten Mitarbeitern Denis Tcherniakhovski und Sascha Menshikov durchgeführt.

Folie 2:

Überblick über den Vortrag: Neben den Zielen der neuen DAQ wird deren Konzept erläutert und der gegenwärtige Stand dargestellt.

Folie 3:

Erklärung für welche Experimente das neue DAQ System eingesetzt werden soll, nämlich KATRIN, USCT und Auger Nord. Es wird aufgezählt, welche Parameter / Detektoren jeweils benutzt werden.

Folie 4:

Bild des Prototypeteleskops des Auger Südexperiments (bisheriges System).

Folie 5:

Detailbild des bisherigen Systems mit a.) 19“ FE- Crate (links) und b.) bisheriges FLT Modul (rechts). Das Konzept des modularen Aufbaus soll auch im neuen Design beibehalten werden. Die Module bestehen weiterhin aus einem analog Teil (Analog Board AB) im oberen Teil des Fotos, der über drei 50-pol Stecker mit dem digital Teil verbunden ist.

Folie 6:

Zielsetzung und Verbesserungen gegenüber dem bisherigen System sind plakativ gegenüber gestellt.

Folie 7:

Die Tabelle zeigt die Gemeinsamkeiten der Projekte USCT, KATRIN und Auger Nord auf, die erst die Begründung dafür geben, dass ein einheitliches Design möglich ist.

Folie 8:

Diese Folie erklärt, dass es aber auch unterschiedliche Anforderungen in den Projekten gibt, die bei einem gemeinsamen Design berücksichtigt werden müssen.

Folie 9:

Auch wenn ein gemeinsames Design nicht für alle Projekte ein Optimum darstellt, so können doch alle Anforderungen hinreichend erfüllt werden. Die Notwendigkeit eines gemeinsamen Designs ergibt sich hauptsächlich durch die Bündelung von Ressourcen und Manpower.

Folie 10:

Die Folie zeigt den Aufbau des zukünftigen 19“ Baugruppenträgers. Die FE-Module werden zusammen nur noch 6U hoch sein (bisher 9U).

Folie 11:

Zeigt das Gesamtkonzept des neuen Systems: Neu Elemente sind das PrPMC Modul auf dem SLT Modul, welches den bisherigen Ausleserechner ersetzt.

Folie 12:

Details zur (neuen) Rückwandplatine: Sie besteht hauptsächlich aus der Taktverteilung, seriellen Punkt-zu-Punktverbindungen (jeweils von FLT → SLT) und dem Daten- und Adressbus. Für alle Verbindungen werden Leitungen definierter Impedanz und meist auch vorgegebener Länge benutzt.

Folie 13:

Diese Folie zeigt die Auswahl der benutzten HF-Steckverbinder und deren Eigenschaften.

Folie 14:

Skizze des Aufbaus der FLT-Module aus 3 Blöcken mit ADC, FPGA und RAM. Ein weiteres großes DIMM Modul und ein FPGA werden für das USCT Projekt benötigt.

Folie 15:

Funktionsblöcke der FPGAs des FLTs, wie sie für das USCT Projekt in VHDL realisiert werden.

Folie 16:

Zusammenstellung wie die Projektunterschiede durch unterschiedliche Hardware (analog Teil und Bestückungsoptionen) und Firmware realisiert werden können.

Folie 17:

Schema der SLT Platine: Ein FPGA verbindet ein RAM, ein ROM, einen DAC mit der Rückwand und einem Prozessor-PMC Modul.

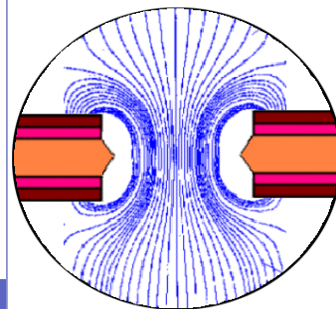
Folie 18:

Technische Daten des von uns ausgesuchten PrPMC Moduls Mercury PCR-100.

Folie 19:

Die Folie beschreibt den Stand der Entwicklung im September 2006. Der Hauptteil der Arbeit – nämlich Entwicklung, Produktion und Test des FLT, SLT & AB – liegen noch vor uns.

Der CASCADE
Neutronendetektor
-
moderne
Gasdetektortechnik
kombiniert mit
hochintegrierter ASIC-
FPGA Auslese-Elektronik



CASCADE

Martin Klein¹
Christian J. Schmidt¹
Werner Hinderer^{1,2}

¹Physikalisches Institut
Heidelberg
²ZEL, FZ-Jülich

© 2006 CASCADE.
20.09.2006

Outline

- Short overview of neutron physics and the physics of neutron detection -> implications on readout electronics
- The CASCADE detector concept
- The actual version of the highly integrated readout electronics based on ASIC-FPGA technology
- n-XYTER
the first dedicated neutron detector readout ASIC

© 2006 CASCADE - 2 -

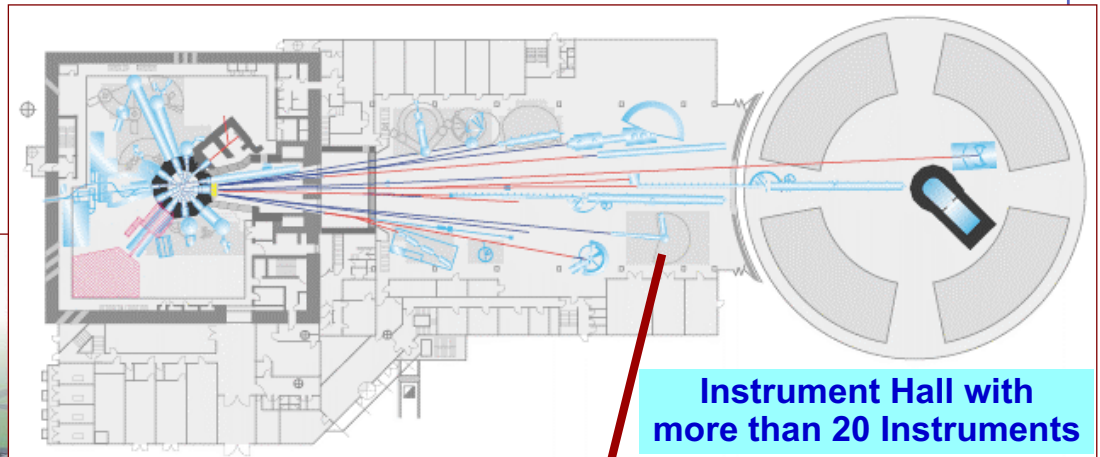


Infrastructure for basic research with Neutrons

Neutron Source
e. g. FRM II

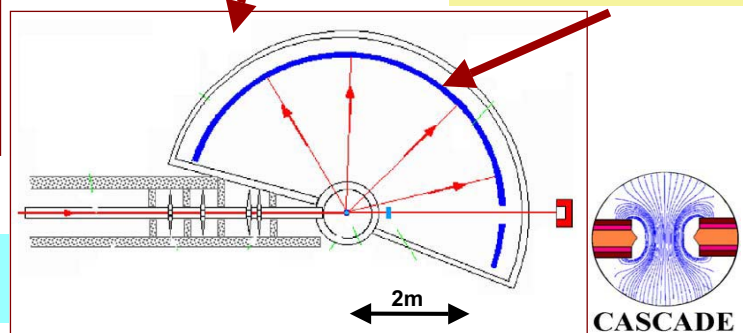


Inelastic Scattering Spectrometer
IN5 at ILL / Grenoble



Instrument Hall with
more than 20 Instruments

Detector Array



© 2006 CASCADE - 3 -

Statistical Nature of Neutron Data

Practical consequences are:

- New events to be expected any time, no trigger available
- Events come in completely irregularly
- Only the mean rate is well defined
- Practical readout is bandwidth limited, need to specify maximum mean rate at maximum acceptable data loss (dead time).
- 10% max. data loss demands 10 x (mean rate) as readout bandwidth

And:

- Currently 16000 pixels, future up to 10^6
- ~ 8 byte of data per event
- All events are of interest (up to 10^8 per sec)
- No fast trigger strategy (no data correl.)

© 2006 CASCADE - 4 -



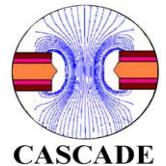
How to detect neutrons?

- Conversion of the neutral neutron into charged particles via nuclear reaction
- Detection of the charged particles with detectors for ionizing radiation: e.g.
 - Gas-Detectors
 - Scintillation-Detectors
 - Semiconductor-Detectors

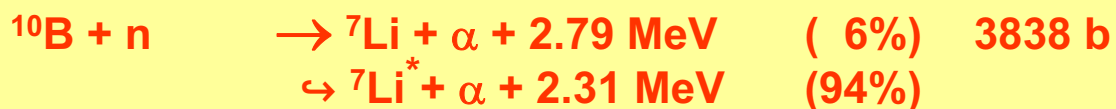
■ Efficient neutron converters:

- $^3\text{He} + n \rightarrow ^3\text{H} + p + 0.76 \text{ MeV}$ 5330 b
- $^6\text{Li} + n \rightarrow ^3\text{H} + \alpha + 4.49 \text{ MeV}$ 940 b
- $^{157}\text{Gd} + n \rightarrow ^{158}\text{Gd} + \gamma + e^- (29-181 \text{ keV})$ 254000 b
- $^{10}\text{B} + n \rightarrow ^7\text{Li} + \alpha + 2.79 \text{ MeV} (6\%)$ 3838 b
 $\rightarrow ^7\text{Li}^* + \alpha + 2.31 \text{ MeV} (94\%)$
 $\hookrightarrow ^7\text{Li} + \gamma (0.48 \text{ MeV})$

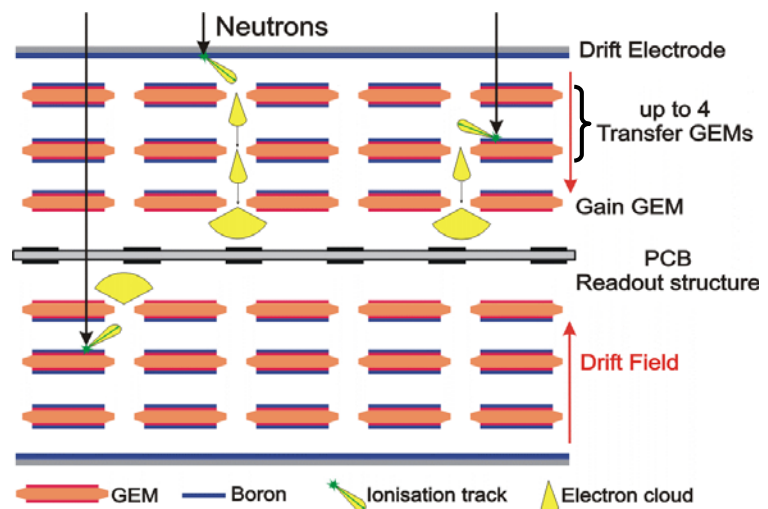
© 2006 CASCADE - 5 -



CASCADE: Multiple Boron Layers on GEMs



- GEMs can be operated to be transparent for charges!
 → they can be cascaded!
- Each one can carry two Boron layers.
- Last one operated as amplifier.



© 2006 CASCADE - 6 -

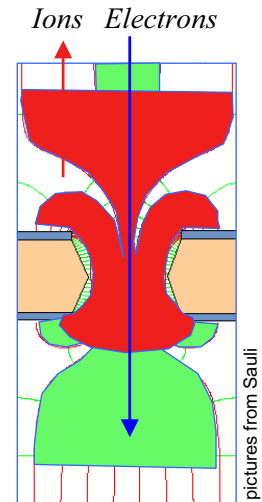
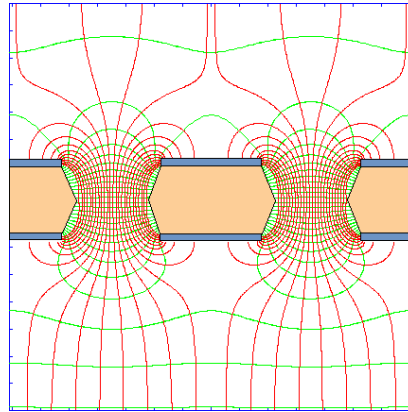
Accumulate single layer detection efficiency up to 50% for thermal neutrons (1.8Å) and up to 75% for cold neutrons (5Å).



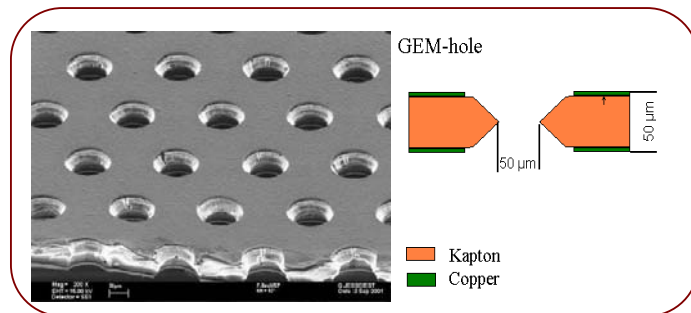
The Gas Electron Multiplier (GEM)

Amplifier Mode

- In hole high fields allow Gas amplification 1 - 400.

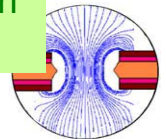


pictures from Sauli



Transparent Mode

- At gain 1, electric fields transport charges through the holes.

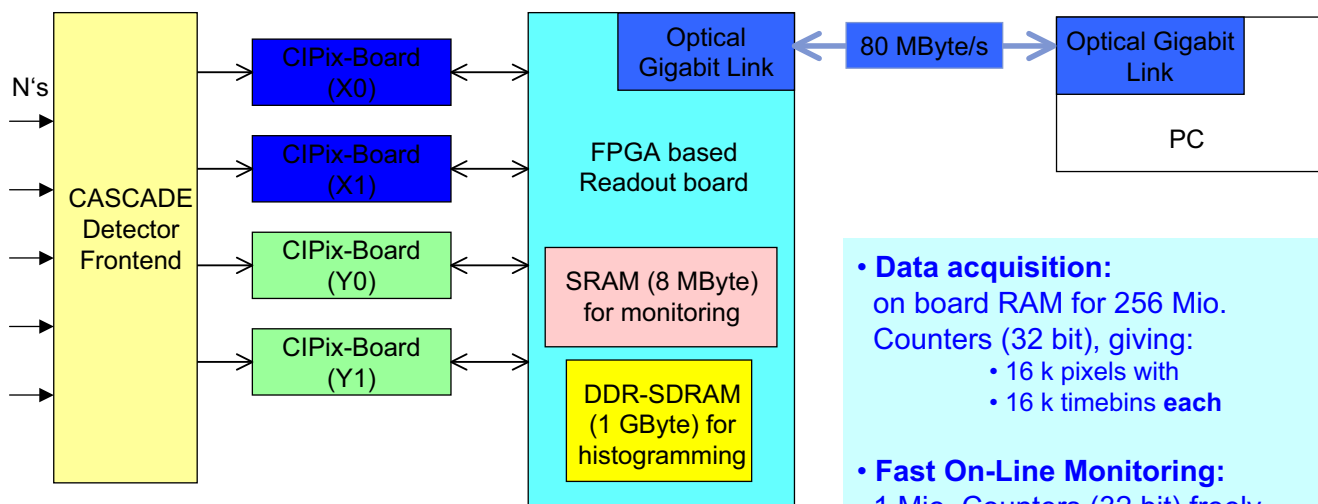


CASCADE

taken from Sauli et al.: <http://www.cern.ch/GDD>

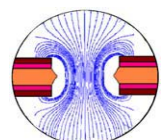
© 2006 CASCADE - 7 -

CASCADE 2D-200 Readout System



- 4 CIPix ASIC reading 128x128 channels
- FPGA based readout, control of CIPix, data-preprocessing and compression
- boards mounted directly on the rear of the detector
- electrically decoupled from host computer

- Data acquisition:** on board RAM for 256 Mio. Counters (32 bit), giving:
 - 16 k pixels with
 - 16 k timebins each
- Fast On-Line Monitoring:** 1 Mio. Counters (32 bit) freely configurabel: e.g.
 - 16 k pixels time integrated
 - 16 k pixels integrating TOF in a window from e.g. 10ms to 11ms



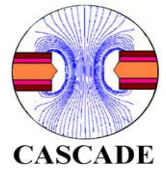
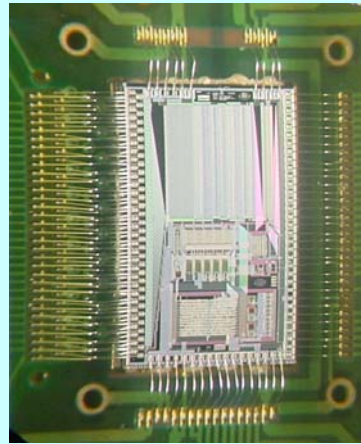
CASCADE

© 2006 CASCADE - 8 -

CIPIX Readout ASIC

CASCADE shifts High-Rates-Bottleneck to electronic readout !

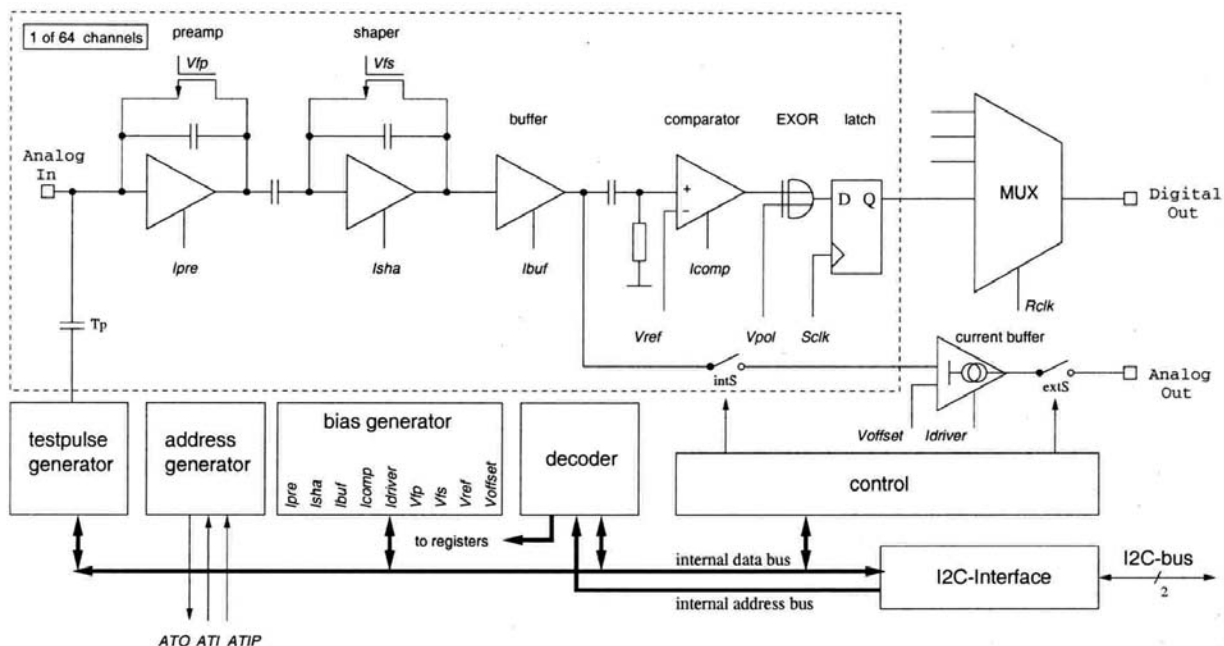
- High Energy Physics has been there! They provide solutions:
- Heidelberg ASIC Lab developed 64 channel X 10 MHz ASIC pre-amp and discriminator on one chip: The CIPIX for H1
- CIPIX and supporting electronics will pump neutron data to the computer.
- No more analogue hf-simulations to cope with readout distortions....



Just read and digitise signals individually

© 2006 CASCADE - 9 -

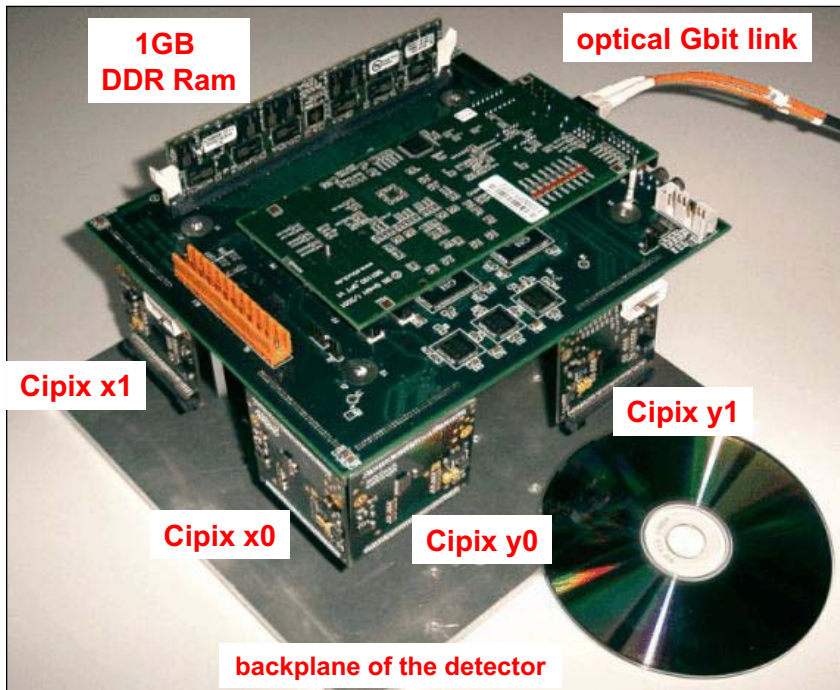
CIPIX Architecture



© 2006 CASCADE - 10 -

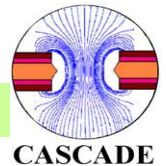


FPGA-based Readout of the 2D-200 Detector



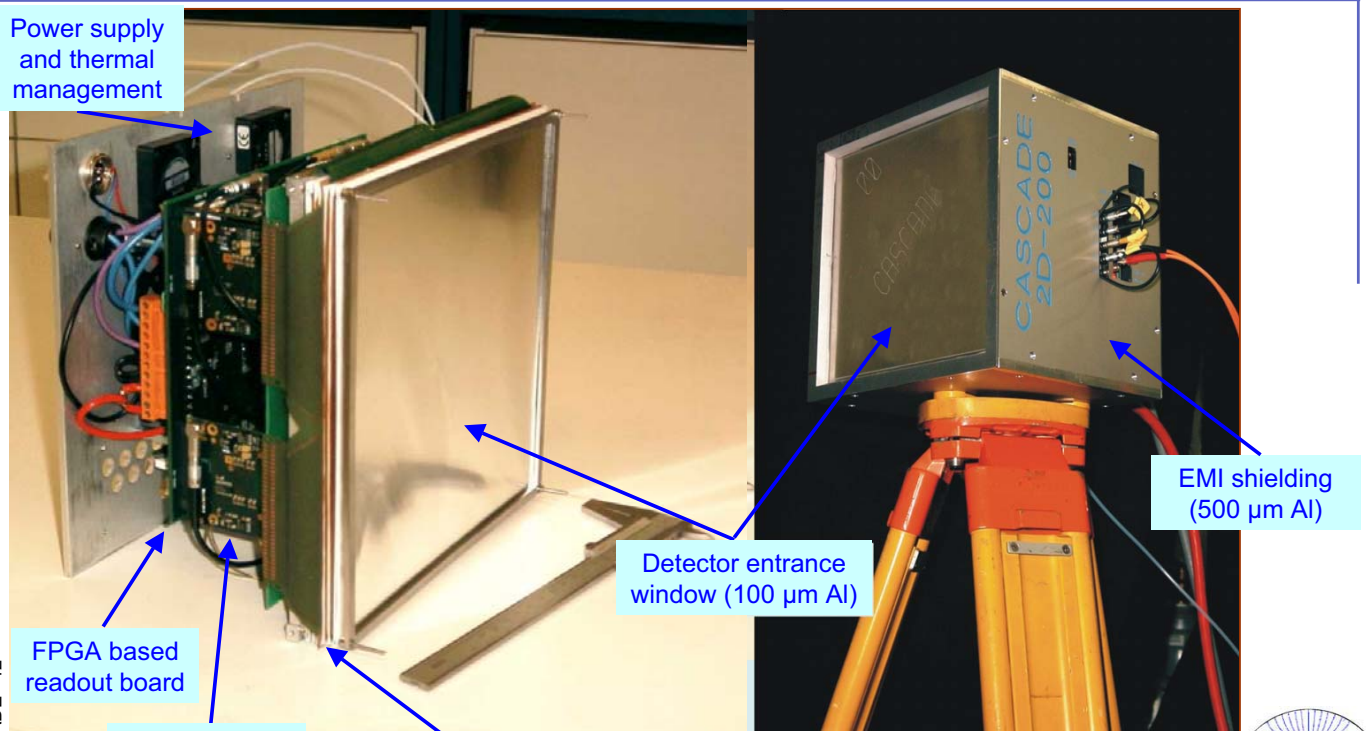
actual design of the CIPix board

Integral Count Rate: 1MHz; local count rate: 333kHz (10% dead time)

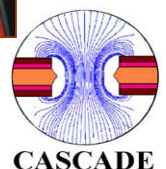


© 2006 CASCADE - 11 -

The Assembled 2D-Detector: the neutron „GameCube“ *

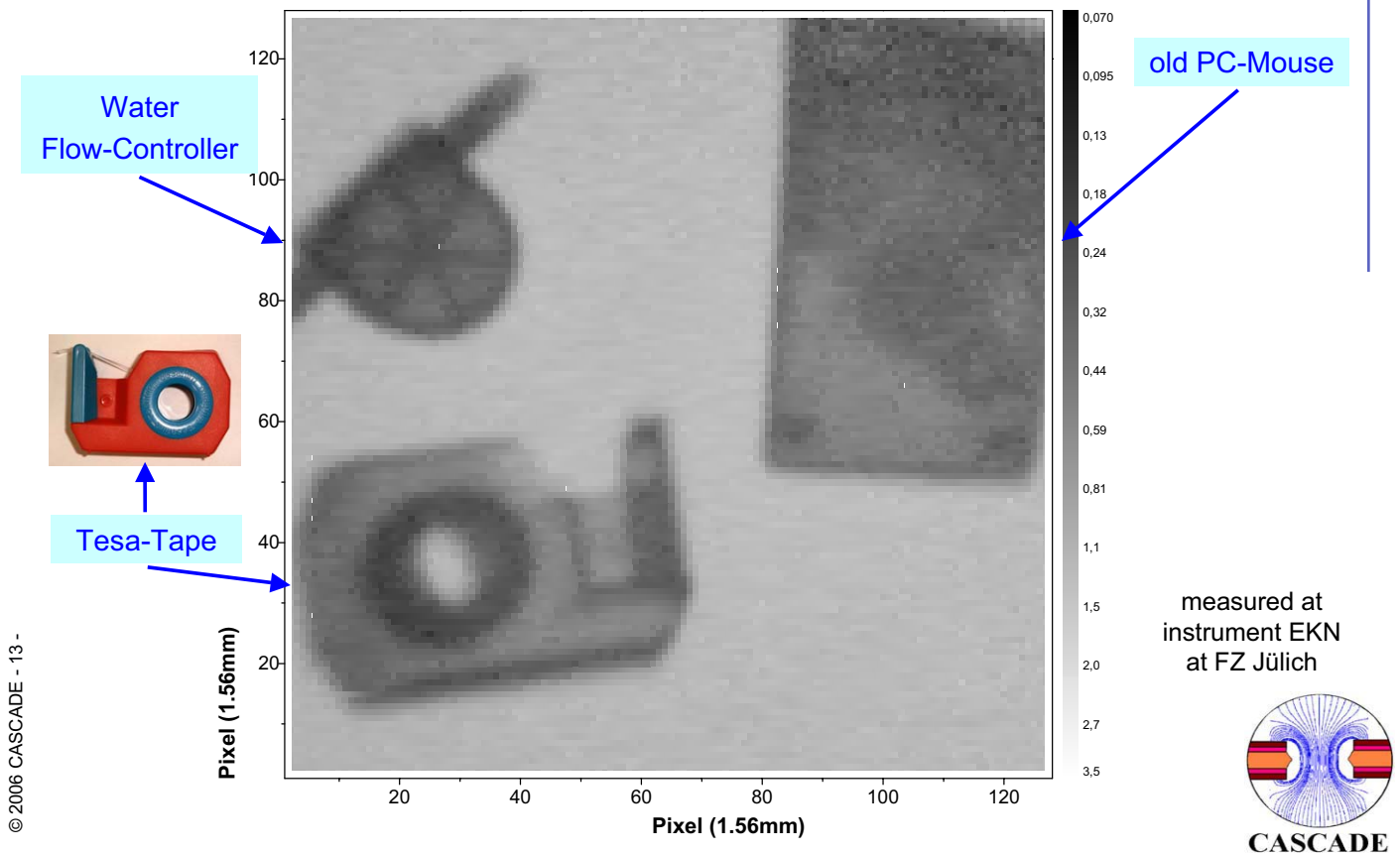


* GameCube is a trademark of Nintendo.



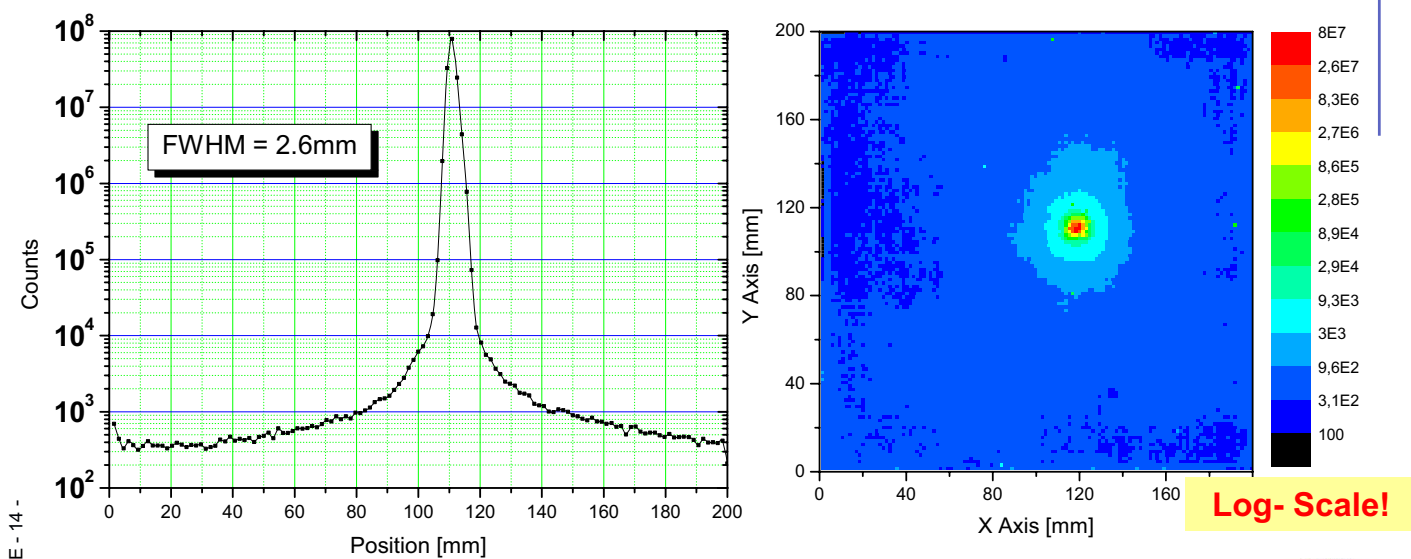
© 2006 CASCADE - 12 -

Neutron-Pictures with the 2D-200 CASCADE Detector System



Position Resolution and Contrast

PSF measured using a beam of 0.57mm diameter

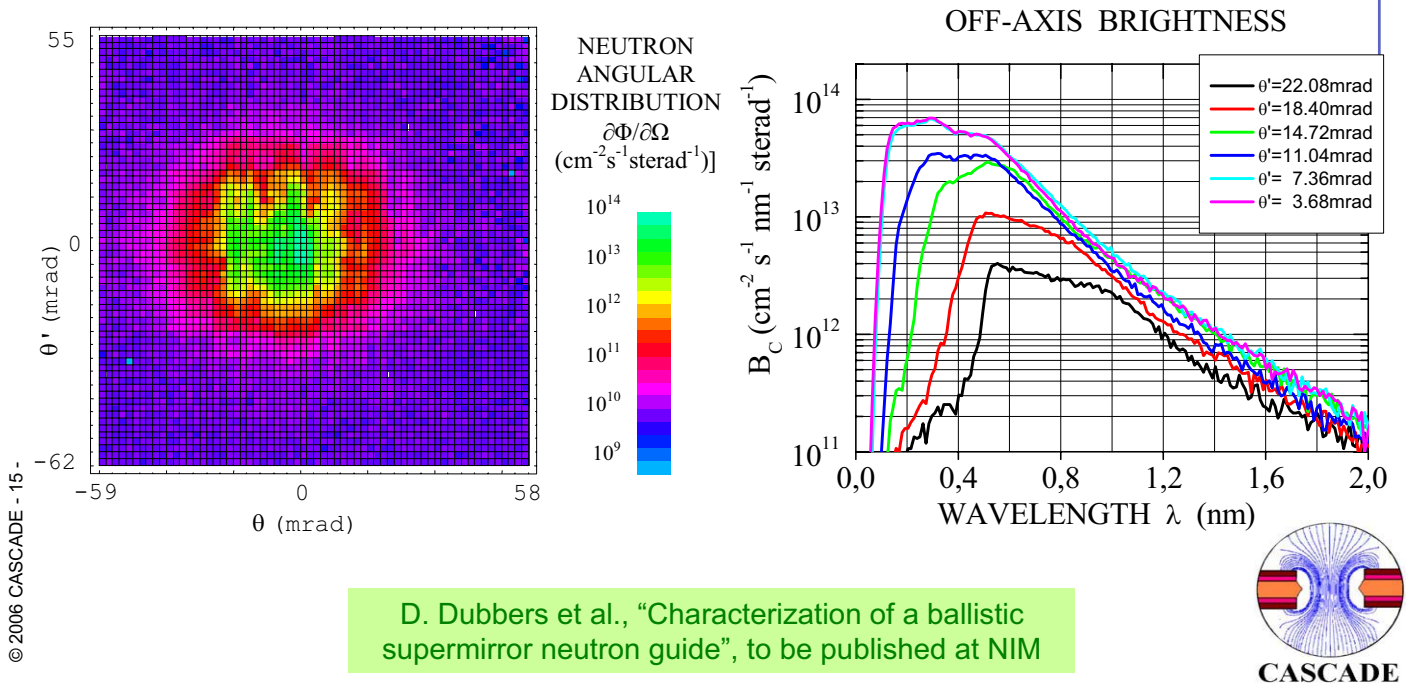


measured at instrument EKN at FZ Jülich



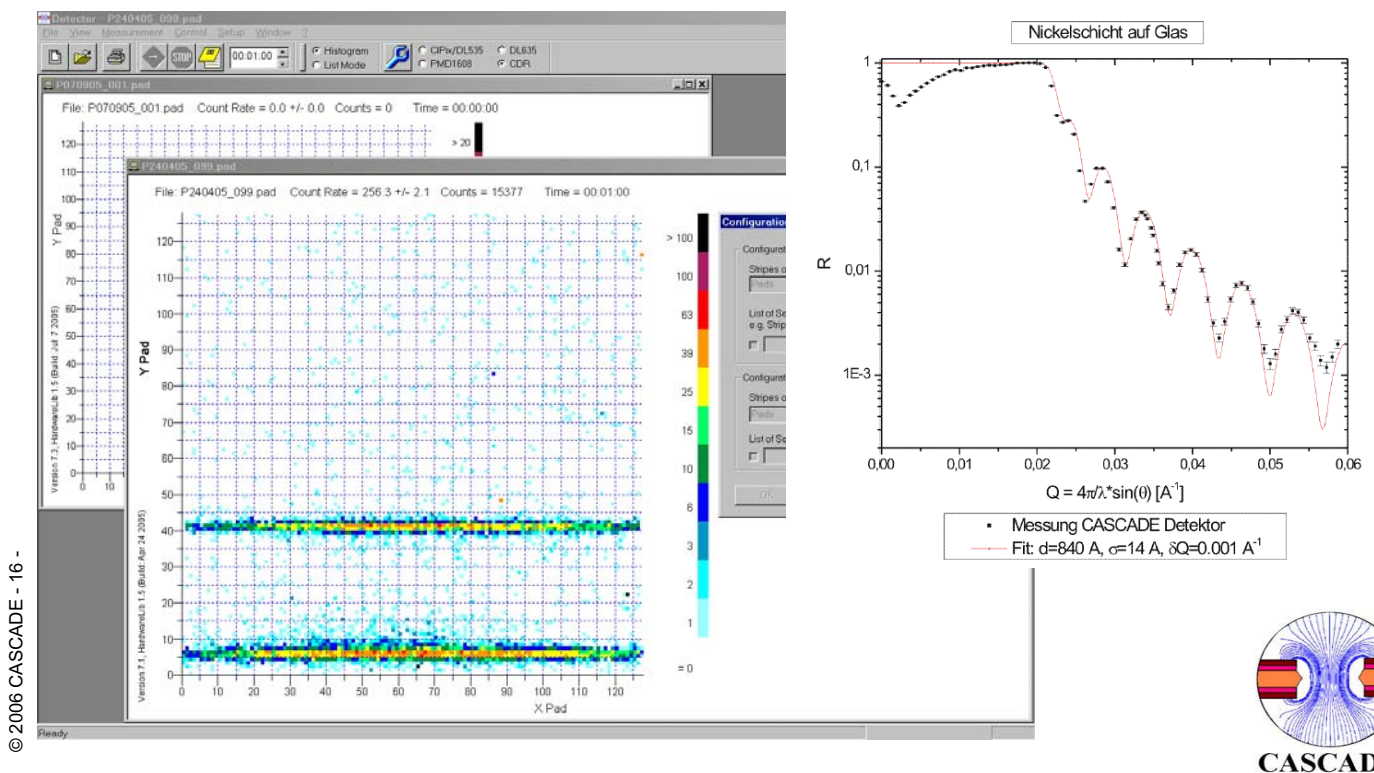
TOF Measurements at ILL

Measured absolute off-axis neutron capture-brightness spectrum $B_C(\lambda)$, at the centre of the exit window of guide H13 (06/2005, ILL):
TOF on 64 x 64 pixels with 512 time bins each !



Reflectometry at HADAS/FZJ

Reflectometer HADAS: slit collimation, $\lambda = 4.52 \text{ \AA}$



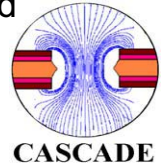
n-XYTER



The First Dedicated Neutron Detector Readout ASIC

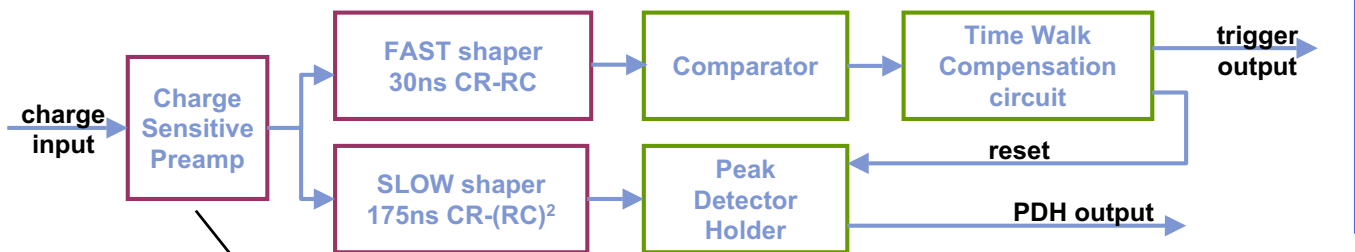


- INFM - Perugia
- Forschungszentrum Jülich
- Hahn Meitner Institut - Berlin
- Ruprecht Karls Universität - Heidelberg
- AGH University of Sci. and Tech. - Krakow



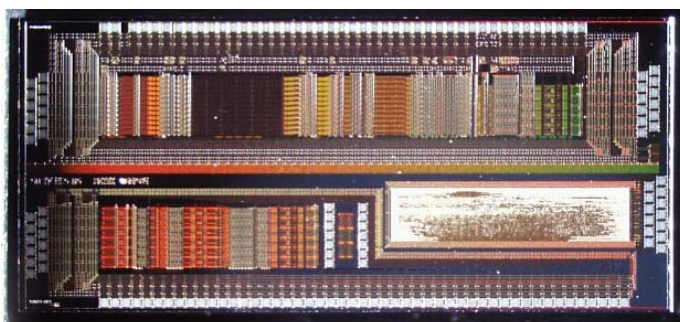
© 2006 CASCADE - 17 -

n-XYTER: the analogue front end architecture



Folded cascode architecture
 Input transistor
 N-MOS W / L = 3000µm / 0.35µm

VLSI Technology	AMS CMOS 0.35µm 4 metals; poly-poly capacitors; hi-resistivity layer
Operating Voltage	3.3V
Analogue Front-end Power	13mW per channel



Evaluative prototype of 1st data-driven ASIC for a new generation of neutron detectors



© 2006 CASCADE - 18 -

n-XYTER: Specifications

Architecture:

128 channel data driven, charge sensitive front-end for either polarity input signals:

Charge sensitive pre-amp

Fast analogue shaper as timing channel: init peak detector, timestamp

Slow analogue shaper as energy channel with peak detection

Readout:

- de-randomizing analogue energy- and digital time-stamp-FIFO (2ns res.)
- de-randomizing robust and self-sparsifying readout strategy (token ring).

Data:

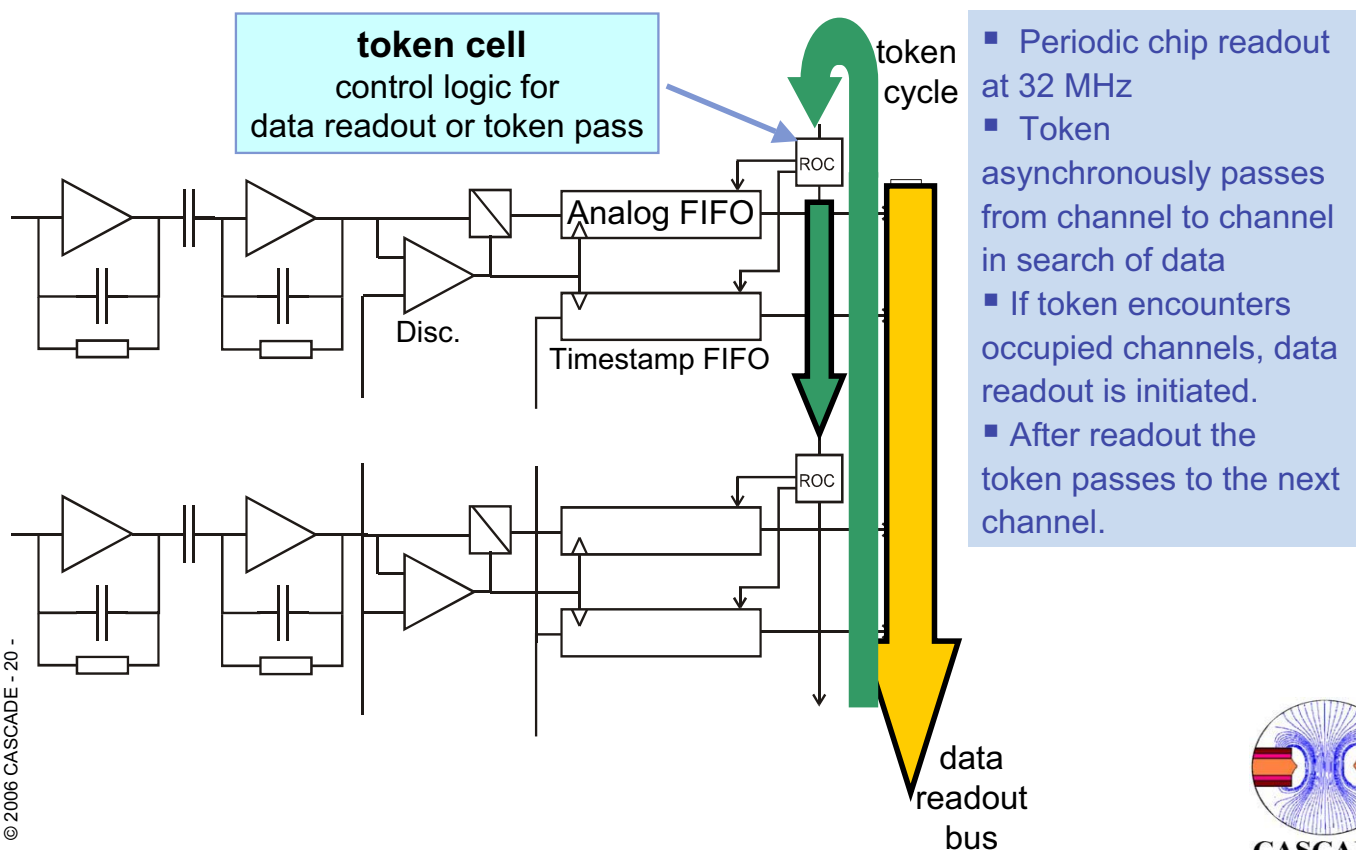
- 2D-spatial information through X-Y-coincidence
- possible background suppression through spectroscopic window
- resolution enhancement through center of gravity determination

AMS 0.35 microns

© 2006 CASCADE - 19 -



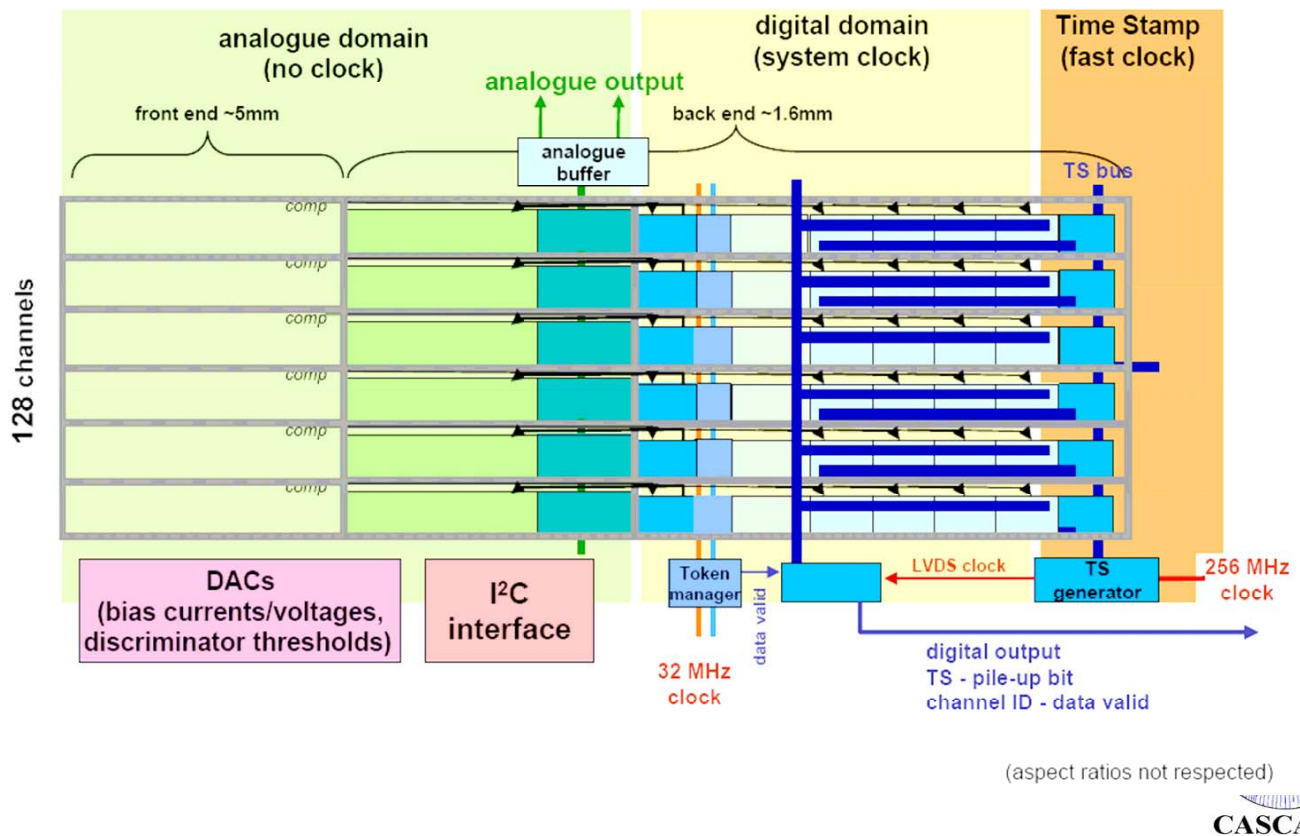
Token Ring Readout Process



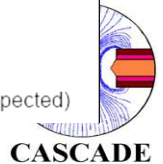
© 2006 CASCADE - 20 -



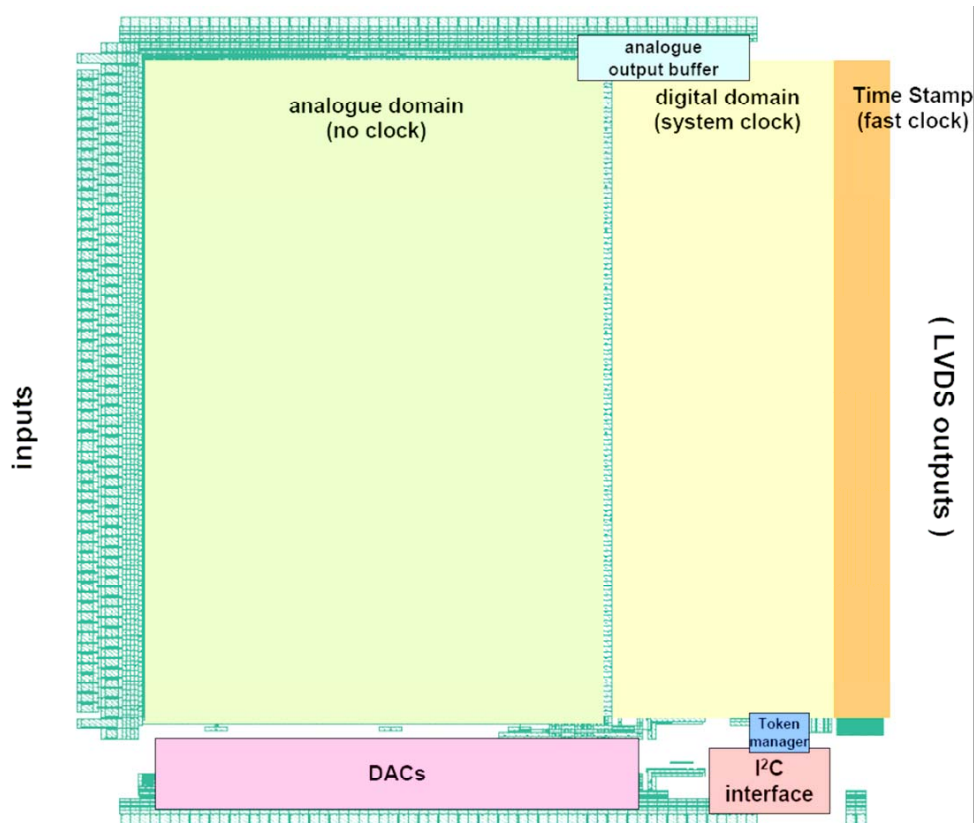
n-XYTER: ASIC Floorplan



© 2006 CASCADE - 21 -



n-XYTER: Chip layout



© 2006 CASCADE - 22 -



Token Ring Architectural Pros/Cons

- High Efficiency
 - Empty channels automatically skipped in readout process
 - Built-in fair distribution of readout bandwidth, automatic bandwidth focusing
- Built-in de-randomization: 100% bandwidth used on data
- High Modularity
 - Identical, periodic internal structure for all the channels
 - ASICs with variable number of channels can be realized
 - unused channels remain unnoticed: no use of bandwidth, just power
- Error Robustness
 - Any problematic channel (e.g. continuously firing) will divert and occupy a maximum of $1/n^{\text{th}}$ of the bandwidth.
 - Built-in, non-perfect readout probability avoids unrecoverable logic deadlock: Problematic situations like any kind of pile-up, logic hang-ups or glitch cause mere dead-time but the “show will go on”.

But: Data needs to be tagged with a time-stamp
Data needs to be resorted and re-bunched after readout

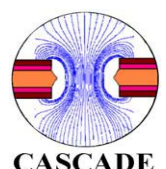


Modern Detector Needs

- Large position sensitive detector areas, no blind areas:
0.1 m² to several 10 m² with ~ 50.000 pixels per system
- Pixel size 1 mm² to 1 cm²
- Detection efficiency 50% to 100%
- Rate capability far beyond 100 kHz (10⁸ Hz over Detector)
- Time resolution better 1 μs for TOF-experiments
- Negligible sensitivity to gamma radiation
- Robust technology
- Serviceability
- Large scale manufacturability

Maximize detector up-time!

A prototype is not enough!



The Scaleable CASCADE Detector Concept

Disentangled Detection-Mechanism

1. Neutrons are converted by a **solid converter**, no pressure vessel needed
 - Imagine a large area detector that you can lift with one hand
2. Fragmentation products deposit energy in **low-cost counting gas at ambient pressure**
 - continuous purge of counting gas gives long term stability
 - detector can be serviced within a few hours, no UHV cleaning needed
3. **GEM-amplifier** raises Signal/Noise beyond needs
4. **Simple readout structures**: charges are collected by simple conducting structures of macroscopic size (e.g. strips, pads, circular patterns, etc.)
5. Highly integrated **ASIC/FPGA** readout electronics

