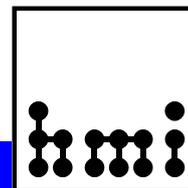


**Bericht der Herbsttagung der  
Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung  
24. bis 26. September 2007  
Ruhr Universität Bochum**



**Herausgeber: Dr. F. Wulf  
HMI-B 619 Berlin, Januar 2008**

**ISSN 0936 – 0891**



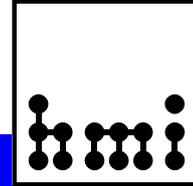
Bericht der Herbsttagung der  
Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung  
24. bis 26. September 2007  
Ruhr Universität Bochum



**Herausgeber: Dr. Friedrich Wulf**  
**HMI-B 619 Berlin, Januar 2008**

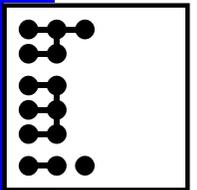
**ISSN 0936 – 0891**

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

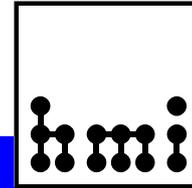


## Teilnehmerliste

<u>Name</u>	<u>Institut</u>
Bönisch, Dr. Sven	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Bürstner, Gerhard	Feindrahtwerk Adolf Edelhoff GmbH & Co. KG
Dirksen, Vollrath	N.A.T. Gesellschaft für Netzwerk- u. Automatisierungs- Technologie mbH
Fettweis, Prof. Alfred	Ruhr Universität Bochum
Fix, Friedrich	Elma Treenew Electronic GmbH
Goettmann, Walter	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Grabosch, Dr. Hans-Jürgen	DESY - Zeuthen
Grau, Dr. Guenter	advlCo microelectronics GmbH
Grimm, Bernhard	Max-Planck-Institut für Astronomie
Häfner, Claudia	Forschungszentrum Jülich, ZEL
Hannemann, Thomas	powerBridge Computer Vertriebs GmbH
Herbrand, Dr. Frank	Forschungszentrum Rossendorf e.V., Abt. FWFE
Hoeland, Dr. Karsten	Krohne Messtechnik GmbH & Co. KG
Hürttlen, Werner	Forschungszentrum Jülich GmbH, Abt. IBN-TAE
Kämmerling, Peter	Forschungszentrum Jülich, ZEL
Katolla, Jens-Uwe	Otris Software AG
Kissel, Stefan	National Instruments Germany GmbH
Klapper, Frank	LeCroy Europe GmbH
Klockmann, Kay	powerBridge Computer Vertriebs GmbH
Maiwald, Detlef	Innovatherm GmbH & Co.KG
Mauro, Dr. Sergio	Wiener Plein & Baus GmbH
Namaschk, Dr. Bernhard	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Nowack, Dr. Gerd	Ruhr-Universität Bochum, IC5/51
Paul, Dr. Hans-Joachim	Uni Hannover, FB Physik, Fakultät für Mathematik u. Physik
Podrouschek, Martin	Beckhoff Automation GmbH
Rausch, Rainer	Forschungszentrum Jülich GmbH, Abt. IBN-TAE
Safdary, Hassan	advlCo microelectronics GmbH
Schleuter, Simone	Krohne Messtechnik GmbH & Co. KG
Schmitz, Andreas	Tameq GmbH
Schwartze, Sören	Werum Software & Systems AG
Siepermann, Peter	eggheads CMS GmbH
Spelthann, Hans-Dieter	Acqiris Data Conversion Instruments
Sperling, Dietmar	Meilhaus Electronic GmbH
Stolper, Matthias	DESY Hamburg MKS 4
von Düring, Arp-Nico	Caen GmbH
von Walter, Peter	Physikalisches Institut Universität Heidelberg
Wagner, Karl	MPI für Astronomie
Wülbeck, Joachim	DACom West GmbH
Wulf, Dr. Friedrich	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH



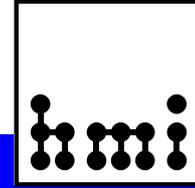
Teilnehmer der SEI-Herbsttagung 2007, Ruhr Universität Bochum



## Vorträge

Seite

<b>Zusammenfassung</b> Dr. Friedrich Wulf, Hahn-Meitner-Institut Berlin	- V -
<b>Vom PIM zur automatischen Generierung von Printmedien - Elemente einer Cross-Media-Publishing-Lösung</b> Peter Siepermann, eggheads CMS GmbH	- 1 -
<b>Halbleiter integrierte Sensorik - Sensoren: Hall, IR und mikromechanischer Gyro</b> Joachim Wülbeck, DACom West GmbH	<i>ohne Beitrag</i>
<b>Schaltungen, Felder und Signale sowie einige Grundfragen der Physik</b> Prof. Alfred Fettweis, Ruhr Universität Bochum	- 14 -
<b>Integriertes Test-, Daten- und Informationsmanagement mit HyperTest</b> Sören Schwartze, Werum Software & Systems AG	- 21 -
<b>POLDI: Monolithically Integrated Optical Sensors with Polarization Filters and their Applications</b> Dr. Guenter Grau, advlCo microelectronics GmbH	- 44 -
<b>MCH - Das zentrale Nervensystem eines MicroTCA-Systems</b> Vollrath Dirksen, N.A.T. GmbH	- 58 -
<b>eXtreme Fast Control Technology für Mess- und Regeltechnik</b> Martin Podrouschek, Beckhoff Automation GmbH	- 75 -
<b>Statistische Analysen mit Oszilloskopen</b> Frank Klapper, LeCroy Europe GmbH	- 87 -
<b>Leistungsfähige Technologien - einfach in der Anwendung</b> Stefan Kissel, Carsten Sprung, National Instruments	- 112 -
<b>Plattformübergreifende Messtechnik (PCI, PXI, USB, LAN)</b> Dietmar Sperling, Meilhaus Electronic GmbH	<i>ohne Beitrag</i>
<b>Enddesign und Verifikation der Auswerteelektronik für den ortsauflösenden Neutronendetektor am EXED</b> Dr. Sven Bönisch, Hahn-Meitner-Institut Berlin	- 154 -
<b>µTCA und Simple MicroTCA für industrielle Anwendungen</b> Thomas Hannemann, Kay Klockmann, PowerBridgeComputer Vertriebs GmbH	- 166 -
<b>Results of Test Measurements, Simulation of Beam-Loss with FLUKA</b> Dr. Hans-Jürgen Grabosch, Desy Zeuthen, Walter Goettmann, HMI Berlin	- 176 -
<b>Verbesserungen an Heizkanälen in Anodenbrennöfen</b> Detlef Maiwald, Innovatherm GmbH & Co.KG	192 -
<b>Zellspannungsüberwachung für Direkt-Methanol Brennstoffzellen</b> Peter Kämmerling, FZ Jülich	- 224 -
<b>Durchflussmesstechnik am Beispiel des VORTEX-Messprinzips</b> Simone Schleuter, Krohne Messtechnik GmbH & Co. KG	- 243 -
<b>Lagenweise optimierte SL-Hochfeld-Magnetsysteme</b> Dr. Gerd Nowack, Ruhr Universität Bochum	- 260 -



## Zusammenfassung

Dr.-Ing. F. Wulf, HMI Berlin

Der Bericht der SEI-Herbsttagung 2007, die vom 24. bis 26. September 2007 an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Ruhr Universität stattfand, enthält 17 Beiträge. Ich danke allen Vortragenden und Autoren für die sehr interessanten Beiträge. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Gerd Nowack für die sehr gute Organisation und attraktive Gestaltung des Rahmenprogramms. Da Herr Dr. Nowack Ende 2007 in den wohlverdienten Ruhestand geht und die Ausrichtung der Fakultät sich so verändert hat, dass es keinen neuen Ansprechpartner gibt, war dies die letzte SEI-Tagung an der Universität Bochum. Wir werden die interessanten Beiträge und die ausgezeichneten Vorträge von Herrn Dr. Nowack sehr vermissen. Wir wünschen Herrn Dr. Nowack für die Zukunft alles Gute und hoffen, ihn auf eine der nächsten Treffen als Gast - vielleicht auch mit einem Vortrag - begrüßen zu können.

Die Beteiligung mit 39 Personen aus 29 Forschungseinrichtungen, Universitäten und der Industrie führte wieder zu einer intensiven Diskussion über Fragen aus den unterschiedlichen Fachgebieten. Aus finanziellen und auch aus zeitlichen Gründen konnten Mitarbeiter aus einigen Instituten nicht teilnehmen. Die damit verbundene geringere Anzahl von Vorträgen konnte durch zusätzliche Beiträge aus dem industriellen Bereich geschlossen werden. Hierbei sind gerade die Entwicklungen auf dem Gebiet der schnelleren Datenübertragung durch neue Bus-Konzepte hervorzuheben. Damit verbunden sind auch neue Gerätestandards wie TCA, MicroTCA und Simple MircoTCA.

Zur Sicherstellung guter wissenschaftlicher Arbeit ist die Ablage von Messdaten zusammen mit den Metadaten ein sehr wichtiger Punkt, der in der Forschungseinrichtung noch nicht vollständig umgesetzt worden ist. Ein Beispiel für ein Konzept zur Lösung dieses Problems wurde von der Firma Werum Software & Systems AG vorgestellt.

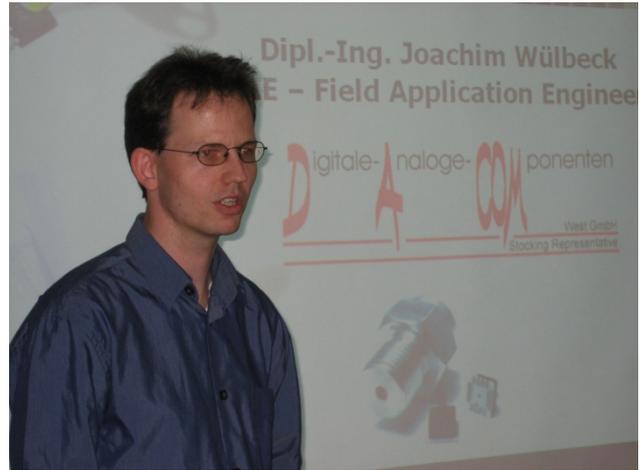
Ein besonderer Höhepunkt war der Vortrag von Prof. Alfred Fettweis, der ausgehend von der Wellendigitalmethode den Bogen zu den Grundfragen der Speziellen Relativitätstheorie genauer untersucht und dargestellt hat.

Die SEI-Frühjahrstagung findet vom 7. bis 9. April 2008 am Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik statt.

Berlin, Januar 2008



Peter Siepermann



Joachim Wülbeck



Prof. Alfred Fettweis



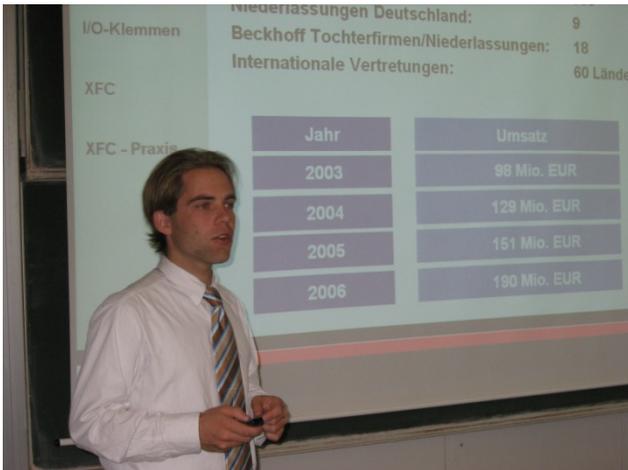
Sören Schwartz



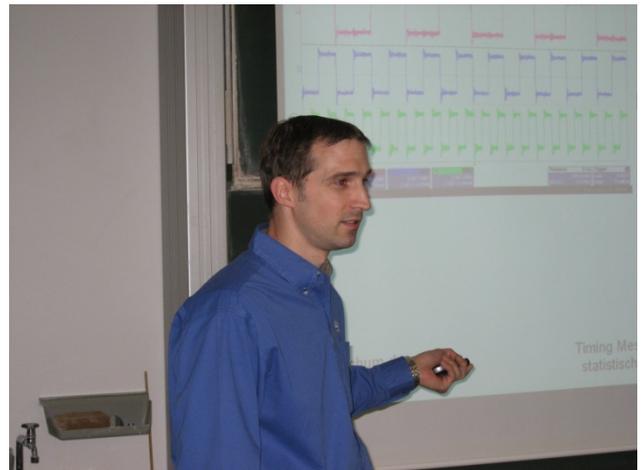
Dr. Günter Grau



Vollrath Dirksen



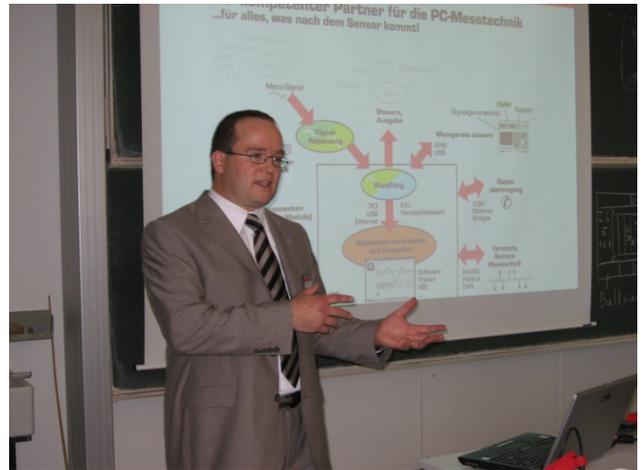
Martin Podroushek



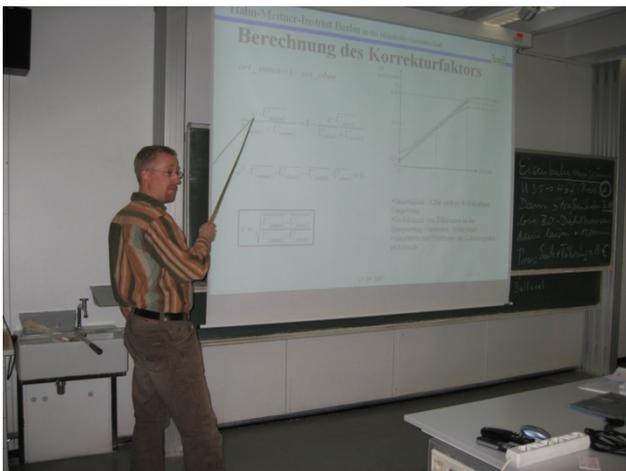
Frank Klapper



Stefan Kissel



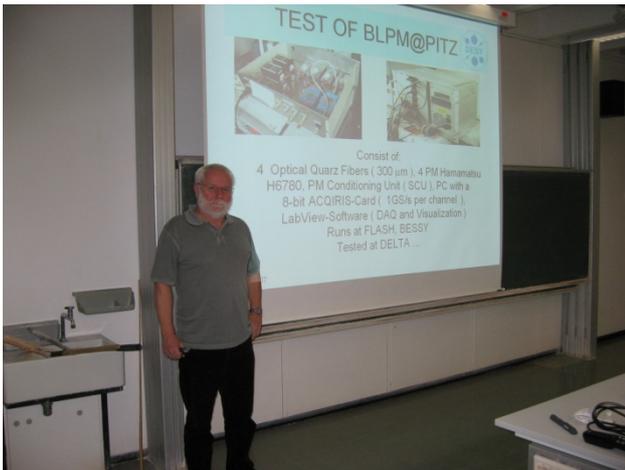
Dietmar Sperling



Dr. Sven Bönisch



Kay Klockmann



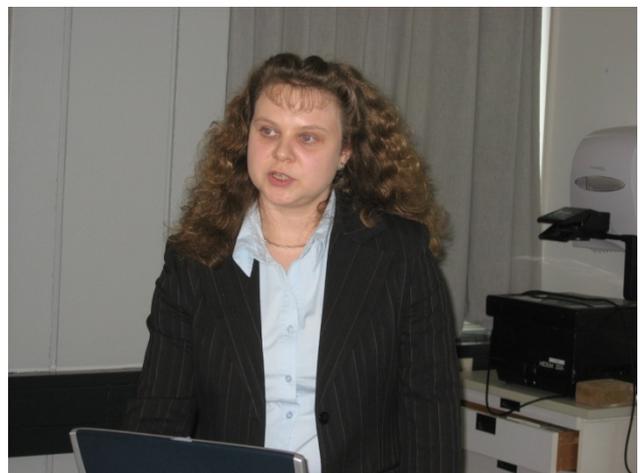
Dr. Hans-Jürgen Grabosch



Detlef Maiwald



Peter Kämmerling



Simone Schleuter



Dr. Gerd Nowack



Kolloquium

# Vom PIM zur automatischen Generierung von Printmedien

## Elemente einer Cross-Media-Publishing-Lösung

Peter Siepermann



Copyright © 2007 by Peter Siepermann

Cross-Media-Publishing

<SEI>  
2

## Inhalt

- egg heads – Firmenprofil
- Cross-Media-Publishing
  - ◆ Konzeption
  - ◆ PIM
  - ◆ Layout
- cmi24
  - ◆ Bausteine
  - ◆ struktureller Aufbau.



<SEI>  
3

## eggheads – Firmenhistorie

- 1993
  - ◆ Produktionslogistik, Automation in der Fertigungs- und Lagerhaltung
- 1995
  - ◆ Multimedia-Bereich
- 1996
  - ◆ Einstieg in die Cross-Media-Welt
- 2000
  - ◆ Entwicklung des Standardsystems cmi24
- 2006
  - ◆ cmi24 – next generation.

<SEI>  
4

## eggheads – Firmenprofil

- eggheads
  - ◆ mittelständischer Betrieb
  - ◆ ca. 30 Mitarbeiter
  - ◆ ansässig in Bochum
- zahlreiche Kunden aus verschiedenen Branchen
  - ◆ Adolf Würth GmbH & Co. KG
    - ↳ Werkzeuge
  - ◆ Lawton Medizintechnik GmbH & Co. KG
    - ↳ Medizin
  - ◆ Thomas Cook AG
    - ↳ Reiseveranstalter
  - ◆ Werbeagenturen.



<SEI>  
5

## Cross-Media-Publishing – Herausforderung

- In allen Medien sichtbar
  - ◆ zur selben Zeit
  - ◆ mit demselben Design
  - ◆ mit demselben Inhalt
- Zielmedien
  - ◆ gedruckter Katalog
  - ◆ Internet-Präsentation
  - ◆ Webshop
    - ◆ Webshop in Analogie zum Katalog.

<SEI>  
6

## Cross-Media-Publishing – Märkte

<http://www.industryweek.com/ReadArticle.aspx?ArticleID=13436>

### Information Management: Bringing Data Together

Master data management system market expected to exceed \$1 billion by 2011.

By [Jonathan Katz](#)

Feb. 1, 2007 -- The need for companies to link data from multiple sources has made master data management (MDM) systems one of the fastest-growing software markets, according to a study by analyst firm ARC Advisory Group. MDM systems serve as a central system of record designed to improve information quality from data creation to retirement.

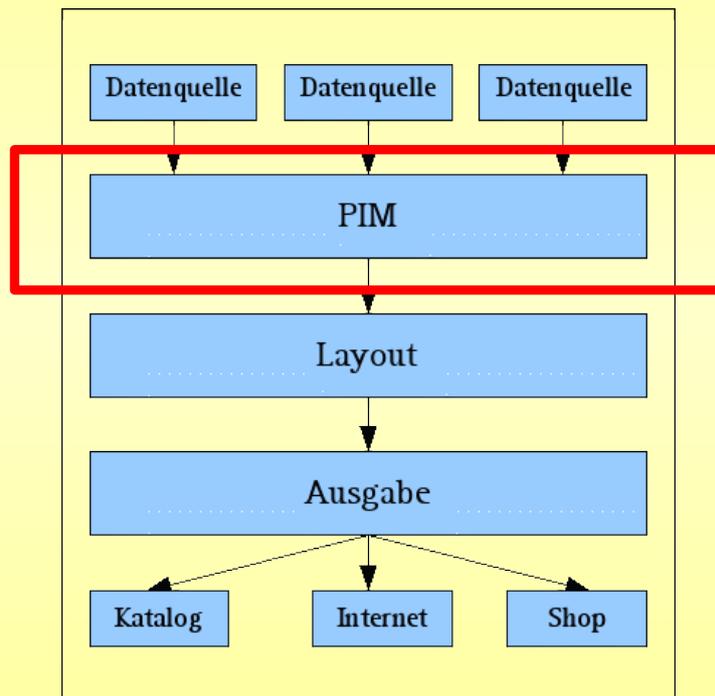
The MDM market grew more than 30% from 2005 to 2006, ARC notes, adding that it expects this trend to continue through the next five years, with the market expected to grow from \$680 million in 2006 to \$1.35 billion by 2011.

**MDM has evolved from product information management solutions, which were separated by one version that helped synchronize data, another that catalogued data from different sources and an application that helped provide more accurate procurement analytics, notes Steve Banker, service director at ARC. MDM solutions are designed to address all of these needs in one suite.**



<SEI>  
7

## Cross-Media-Publishing – Konzeption

<SEI>  
8

## PIM

- PIM = *Product Information Management*
- Erstellen des Fachkonzepts der Daten
  - ◆ hochgradig kundenspezifisch
  - ◆ erfordert detailliertes Wissen über die Geschäftsprozesse des Kunden
  - ◆ erfordert ein flexibles Modell
    - ▶ Entwicklung eines Metamodells
    - ▶ Zuschnitt des Metamodells für den konkreten Kunden
- Importieren der Kundendaten
  - ◆ speziell auf den Kunden zugeschnittene Importe
  - ▶ insbesondere aus Warenwirtschaftssystemen.

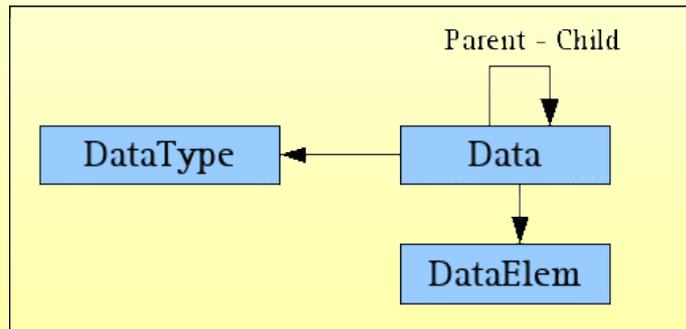


<SEI>  
9

## PIM – Metamodell

### Metamodell

- Strukturierung der Kundendaten
- welche Verknüpfungen existieren zwischen den Daten

<SEI>  
10

## PIM – Beispiel

cm24

Datei Bearbeiten Fenster Hilfe

Definitionen Kategorien Bilder-Definitionen Publizierungs-Definitionen **Strukturknoten-Typen** Sprachen

Name	Schlüssel	erlaubte Subtypen	Obertypen
Article	Article	-	Root, Product, Group
Ausflug	Ausflug	Broschüren	Zielgebiet
Broschüren	Broschueren	Nec Kurzreisen	Ort, Ausflug, Rundreise, Hotel, Land, Zielgebiet
Group	Group	Product, Article, Group	Root, Group
Hotel	Hotel	Broschüren	Ort
Land	Land	Broschüren, Zielgebiet	PIM
Nec Kurzreisen	Nec_Kurz	-	Broschüren
Ort	Ort	Broschüren, Rundreise, Hotel, Sonderleistung	Zielgebiet
PIM	pim	Land	-
Product	Product	Article	Root, Group
Root	Root	Product, Article, Group	-
Rundreise	Rundreise	Broschüren	Ort, Zielgebiet
Sonderleistung	Sonderleistung	-	Ort, Zielgebiet
Zielgebiet	Zielgebiet	Ort, Broschüren, Ausflug, Rundreise, Sonderleistung	Land



<SEI>  
11

## PIM – Beispiel

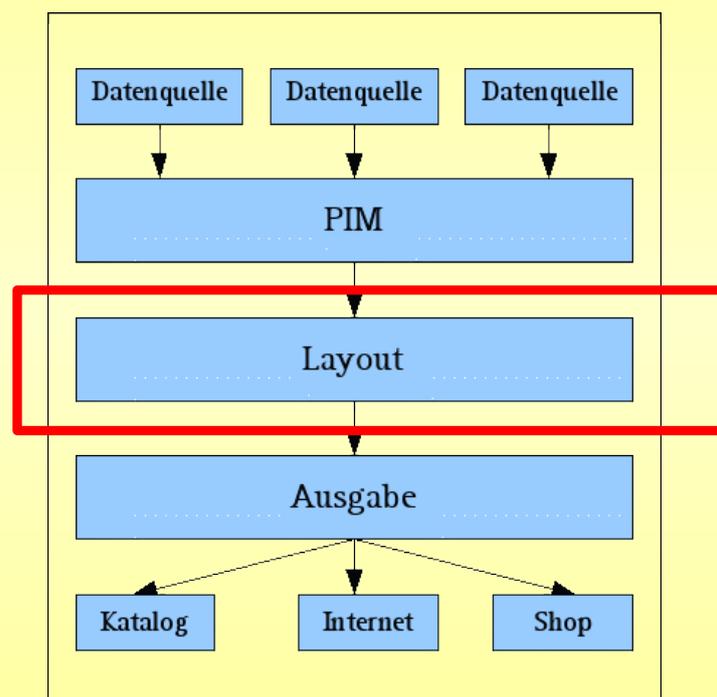
The screenshot shows the cmi24 software interface. On the left, a 'Stammdaten-Hierarchie' (Master Data Hierarchy) tree is visible, showing a structure from 'PIM' down to 'Düsseldorf'. The 'Maritim Hotel Königswinter' node is selected. On the right, the 'Merkmale' (Features) configuration window is open, showing a 'Hierarchie' (Hierarchy) list and a table for 'Maritim Hotel Königswinter'.

Kategorie	Code	Name
nxxx	94201	Maritim Hotel Königswinter

Below the table, the 'Details zu Maritim Hotel Königswinter' section shows 'Broschüren' (Brochures) as a feature.

<SEI>  
12

## Cross-Media-Publishing – Konzeption



<SEI>  
13

## Layout

- Übergabe der Daten vom PIM an das Layout
  - ◆ Erzeugung von DTP-Dokumenten
    - ▶ Beispiel Indesign, Quark Express
  - ◆ Nach der Übergabe an das DTP-Programm können die generierten Sourcen noch geändert werden
    - ▶ Rückkopplung an das System erforderlich
- Grundsätzliche Layout-Varianten
  - ◆ Verdrängung
    - ▶ automatisches Layout
  - ◆ Layout per Hand
    - ▶ Anordnung der Objekte auf der Seite und der Seiten erfolgt manuell.

<SEI>  
14

## Layout – Verdrängung

- Vorgabe eines Seitenrasters
- Angabe der Reihenfolge der Objekte
- Layout erfolgt durch Algorithmus
  - ◆ Analogie zum Beispiel zu TeX
  - ◆ Keine Kontrolle über die exakte Anzahl der Seiten
    - ▶ Zeilenumbrüche usw. durch Algorithmus bestimmt
- Sehr gut geeignet z.B. bei Werkzeug-Katalogen
  - ◆ Ausrichtung der Texte bzw. der Bilder muss algorithmisch fassbar sein
    - ▶ Entwicklung einer Seitenbeschreibungssprache
    - ▶ Ausrichtung an der Oberkante . . .
    - ▶ nicht: Ausrichtung am Drehpunkt von Scheren.



<SEI>  
15

# Layout – Verdrängung

**MEISINGER**  
Hartmetallinstrumente • Tungsten Carbide Instruments • Fraises carbure • Fresas de carburo (Jungfräsen)

**MEIGRIT**  
Hartmetallinstrumente • Tungsten Carbide Instruments • Fraises carbure • Fresas de carburo (Jungfräsen)

### Zylinderstifte

parallel pins  
Hengeres szegek  
ungehänget

Art.-Nr. 1247

d	0,8	0,46	0,6	0,76	0,8	1,2
r	2	3	4	6	8	8
l	2	3	4	6	8	8
5 VPE			1247 4 5			
5 VPE		1247 3 5	1247 4 5		1247 6 5	
8 VPE	1247 2 8	1247 3 8	1247 4 8	1247 5 8	1247 6 8	
10 VPE	1247 2 10	1247 3 10	1247 4 10	1247 5 10	1247 6 10	1247 8 10
12 VPE	1247 2 12	1247 3 12	1247 4 12	1247 5 12	1247 6 12	1247 8 12
14 VPE	1247 2 14	1247 3 14	1247 4 14	1247 5 14	1247 6 14	1247 8 14
16 VPE		1247 3 16	1247 4 16	1247 5 16	1247 6 16	1247 8 16
18 VPE	1247 2 18		1247 4 18	1247 5 18	1247 6 18	1247 8 18
20 VPE	1247 2 20	1247 3 20	1247 4 20	1247 5 20	1247 6 20	1247 8 20
22 VPE					1247 6 22	
24 VPE	1247 2 24	1247 3 24	1247 4 24	1247 5 24	1247 6 24	1247 8 24
26 VPE					1247 6 26	1247 8 26
28 VPE	1247 2 28	1247 3 28	1247 4 28	1247 5 28	1247 6 28	1247 8 28
30 VPE	1247 2 30		1247 4 30	1247 5 30	1247 6 30	1247 8 30
32 VPE		1247 3 32	1247 4 32	1247 5 32	1247 6 32	1247 8 32
36 VPE	1247 3 36		1247 4 36	1247 5 36	1247 6 36	1247 8 36
40 VPE	1247 3 40		1247 4 40	1247 5 40	1247 6 40	1247 8 40
45 VPE		1247 4 45	1247 5 45	1247 6 45	1247 8 45	
50 VPE		1247 4 50	1247 5 50	1247 6 50	1247 8 50	
55 VPE					1247 6 55	
60 VPE			1247 4 60	1247 5 60	1247 6 60	1247 8 60
70 VPE			1247 4 70	1247 5 70	1247 6 70	1247 8 70

<SEI>  
16

# manuelle s Layout

- Gestaltung jeder einzelnen Seite
  - ◆ Hilfestellung durch Rasterung (1/2-Seitenraster, 1/3-Seitenraster usw.)
  - ◆ Hilfestellung durch Mastersseiten
- Erforderlich, wenn die Layout-Gestaltung nicht mehr algorithmisch fassbar ist
- Notwendig, wenn die einzelnen Produkte nicht gleichberechtigt sind
  - ◆ Anordnung eines bestimmten Produktes in einer bestimmten Größe auf einer bestimmten Seite.

<SEI> 17 **manuelle s Layout**

### Last-Minute-Reisen in die USA



**z.B. Miami**  
**399,-**  
Fine-Club-Hotel/America



**z.B. Florida**  
**299,-**  
Fine-Club-Hotel/CocoaBeach



**z.B. LA**  
**399,-**  
Fine-Club-Hotel/SaltLakeCity

**Schnäppchen: Texas 399,- |**

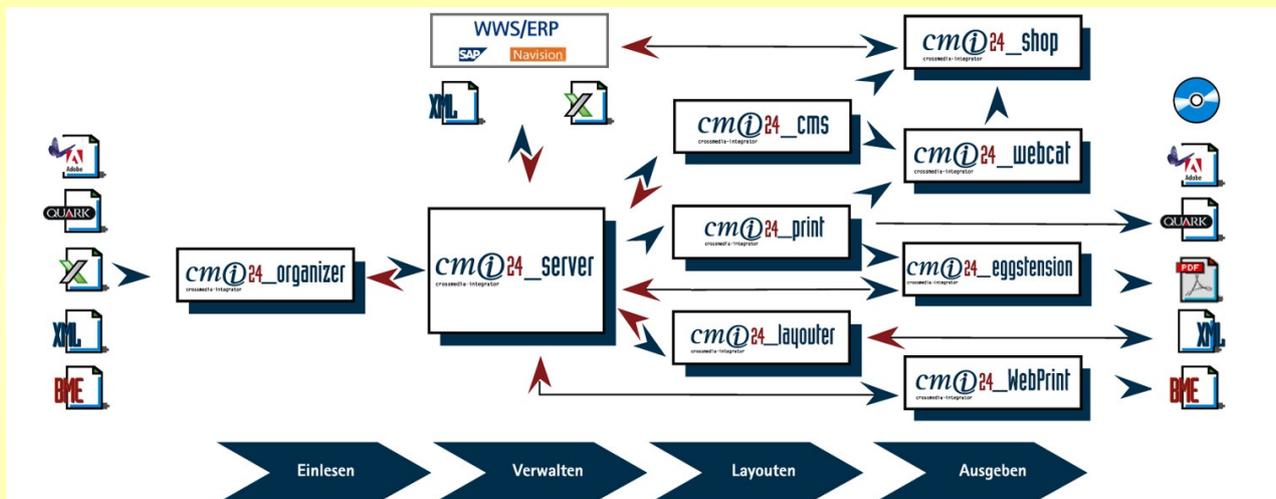
Wenn das kein Schnäppchen ist: First-Class-Hotel Caribbean, 8 Tage im Einzelzimmer Flug und Halbpension, Begrüßungsdrink all inclusive für sage und schreibe 399,- Euro

### Kurztrips für Kurzentenschlossene

Auch in diesem Jahr bieten wir Ihnen wieder unsere Kurztrips für Schnellenklossene an. Unser LastMinute-Angebot umfasst wie immer eine Reihe exzellenter Häuser in verschiedenen Gegenden der USA: Florida, Miami, Texas, Kalifornien oder Südkalifornien nach New York, Washington oder San Francisco – mit 38-Reisen finden Sie bestimmt das Richtige! Und nicht zu vergessen: Die LastMinute-Angebote schonen Ihren Geldbeutel: Schon mit 299,- Euro sind Sie dabei! Also zögern Sie nicht, denn wir immer sind unsere Super-Sonder-Angebote schnell ausgebucht.

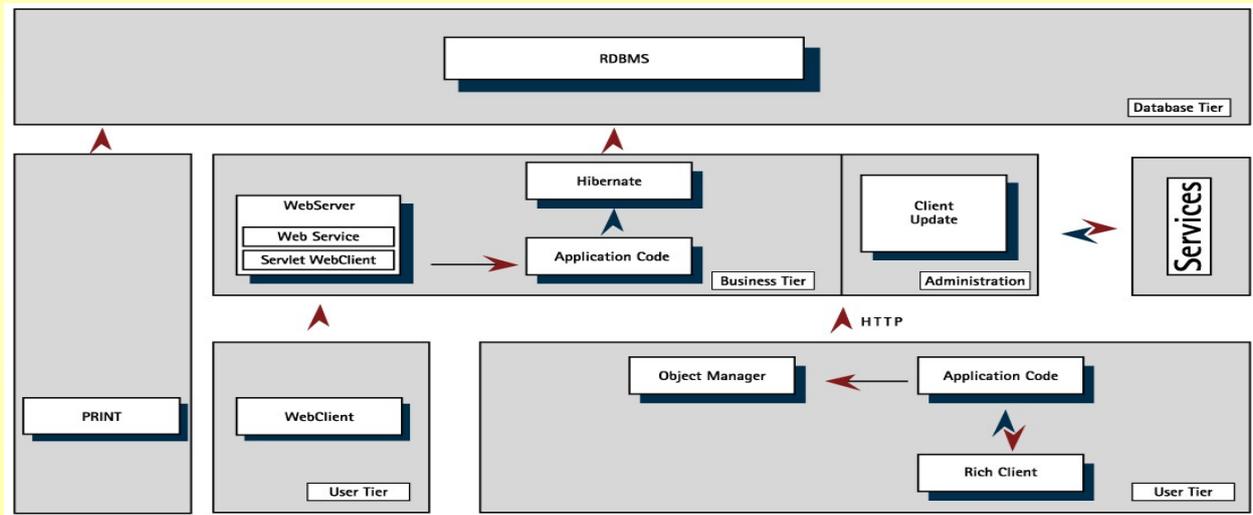


<SEI> 18 **cmi 24 – Bausteine**



<SEI>  
19

# cmi 24 – struktureller Aufbau



# Vom PIM zur automatischen Generierung von Printmedien Elemente einer Cross-Media-Publishing-Lösung

Peter Siepermann  
eggheads CMS GmbH  
Bochum

24.09.2007

## 1 Abstract

*Cross Media Publishing* beschreibt die Publikation von Inhalten in verschiedene Ausgabemedien ausgehend von einer gemeinsamen Datenbasis. Als Beispiele für mögliche Medien seien der gedruckte Katalog, die Internet-Präsentation und der Web-Shop genannt.

Die gemeinsame Datenbasis wird über ein PIM-System (*Product Information Management-System*) realisiert. Um die verschiedenen kundenseitigen Datenmodellierungen in einer Standardsoftware abbilden zu können, wird ein Metamodell zur Verfügung gestellt, das dann auf die konkreten Kundenanforderungen zugeschnitten wird.

Beim Layout unterscheidet man das *automatische Layout* und das *manuelle Layout*. Beim automatischen Layout spricht man von *Verdrängung*. Dargestellt wird ein solches System in Anlehnung an das System *cmi24* der eggheads CMS GmbH.

## 2 PIM

*Cross Media Publishing* beschreibt die Veröffentlichung in verschiedene Ausgabemedien ausgehend von einer gemeinsamen Datenbasis. Dazu ist es einerseits notwendig, über Schnittstellen Kundendaten importieren zu können. Andererseits stellt sich die Herausforderung, die Modellierung der Kundendaten auf ein einheitliches Modell im PIM (*Product Information Management*) abzubilden. Eine Lösungsmöglichkeit ist die Implementierung eines Metamodells, das dann auf die konkrete Kundenanforderung zugeschnitten wird.

Abbildung 1 veranschaulicht dies noch einmal. Ausgehend vom allgemeinen Metamodell entsteht ein konkretes Modell für das PIM, das dann kundenseitig aus – gegebenenfalls mehreren – Datenquellen befüllt wird. Mit Hilfe dieses Vorgehens wird außerdem eine starke Strukturierung der vom Kunden gelieferten Daten erreicht.

Abbildung 2 zeigt eine Schemazeichnung des Metamodells. Zentrales Element ist die Klasse **Data**. Sie modelliert ein grundlegendes Datenelement. Um die hierarchische Verknüpfung zwischen den Daten darzustellen, erhält die Klasse **Data** eine Eltern-Kind-Verbindung. Außerdem kann ein **Data**-Objekt mit einem Typ versehen werden. Ein solches **Data**-Objekt kann verschiedene Nutzdaten aufnehmen, die nach Texten, Bildern und Verknüpfungen unterschieden werden.

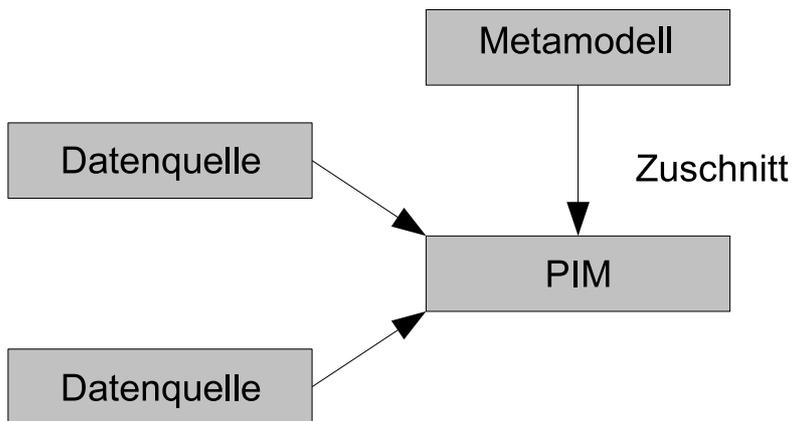


Abbildung 1: Zuschnitt des Metamodells auf das PIM

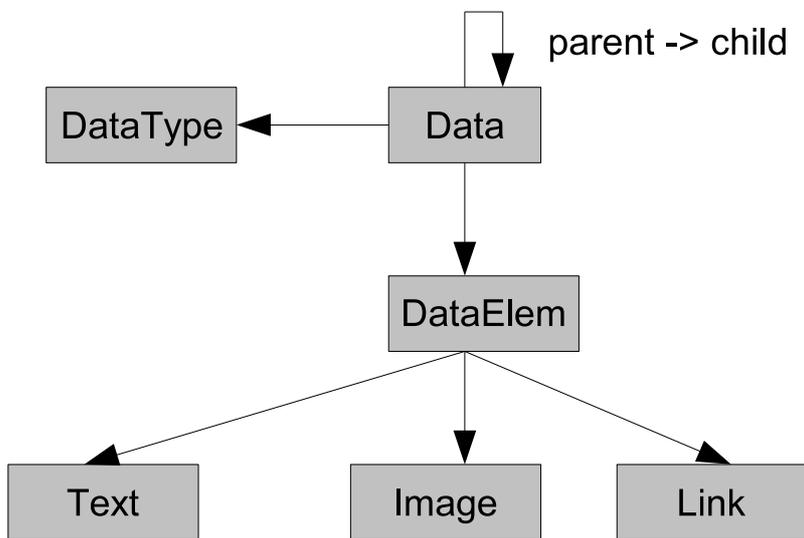


Abbildung 2: Schemazeichnung des Metamodells

### 3 Layout

Ausgehend von den Informationen im PIM wird das Layout entwickelt. Man unterscheidet hier das automatische Layout (*Verdrängung*) und das manuelle Layout.

Das automatische Layout läßt sich insbesondere dann nutzbringend einsetzen, wenn viele Objekte in gleicher Weise dargestellt werden sollen. Über eine Seitenbeschreibungssprache wird einem Produkt ein Layout zugeordnet. Die konkrete Ausdehnung der einzelnen Objekte wird dabei nicht festgelegt. Als Beispiel möge eine Tabelle mit Zylindern dienen. Es wird festgelegt, daß über der Tabelle in Bild des Zylinders stehen soll. Außerdem werden die Tabellenspalten mit ihren Eigenschaften definiert. Die Anzahl der Zeilen wird hier nicht vorgegeben – somit auch nicht die Ausdehnung über eine oder mehrere Katalogseiten. Gut geeignet ist das automatische Layout zum Beispiel bei Werkzeug-Katalogen u.ä., bei denen gleichartige Produkte gleichberechtigt dargestellt werden sollen.

Im Gegensatz zur Verdrängung steht das manuelle Layout. Dieser Ansatz beschreibt

das explizite Gestalten jeder einzelnen Seite. Notwendig wird das manuelle Layout dann, wenn die Anordnung eines Produktes auf einer konkreten Seite in einer bestimmten Größe festgelegt werden muß. Als Beispiel hierfür sei das Layout eines Reisekataloges genannt. Hier wird durch das Management festgelegt, auf welcher Seite in welcher Größe ein Hotel erscheint.

Weiterhin müssen für das automatische Layout die Anforderungen an das Layout algorithmisch in einer Seitenbeschreibungssprache faßbar sein. Dieser Sachverhalt soll am Beispiel der Ausrichtung eines Textes an einem Bild dargestellt werden. Abbildung 3 zeigt

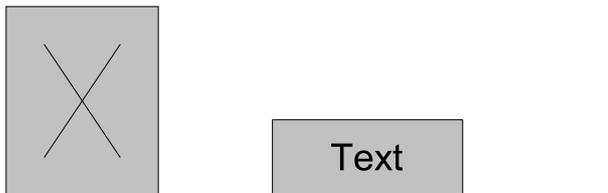


Abbildung 3: Ausrichtung eines Textes an einem Bild

ein Beispiel für die Ausrichtung eines Textes an einem Bild – hier werden beide Elemente an einer gemeinsamen Grundlinie ausgerichtet. Dieser Fall läßt sich leicht in einer Seitenbeschreibungssprache abbilden. Falls die Ausrichtung aber nicht anhand der das Bild begrenzenden Box (auch *bounding box* genannt) erfolgen soll, sondern anhand semantischer Eigenschaften des Bildes – zum Beispiel der Ausrichtung des Textes am Drehpunkt einer im Bild dargestellten Schere – kann das Layout in der Regel nicht mehr automatisch erfolgen, und das manuelle Layout kommt zum Einsatz.

## 4 Erstellung von DTP-Dokumenten

Ziel des *Cross Media Publishing Systems* ist die Erstellung von DTP-Dokumenten bzw. anderer Ausgabemedien wie Web-Shop usw. Im Fall der Software *cmi24* werden QuarkExpress und InDesign als DTP-Anwendungen unterstützt. Werden diese Applikationen als Server-Systeme betrieben, können in den DTP-Dokumenten vorgenommene inhaltliche Änderungen wieder an das PIM propagiert werden. Das ist insbesondere dann wichtig, wenn aus einer Quelle ein gedruckter Katalog und ein Web-Shop entstehen soll.

## 5 Links und Literatur

- <http://www.eggheads.de>
- Hans P. Fritsche: Cross Media Publishing, erschienen bei Galileo Business
- Claudia Runk: Grundkurs Typografie und Layout, erschienen bei Galileo Design

# **Schaltungen, Felder und Signale und einige Grundfragen der Physik**

## **Circuits, Systems, and Fields, and some Fundamental Issues in Physics**

Alfred Fettweis  
Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Germany  
fettweis@nt.rub.de

### **Kurzfassung**

Ebenso wie die Theorie passiver nichtlinearer Kirchhoffscher Schaltungen ist auch die Theorie der Wellendigitalmethode aus allgemeiner physikalischer Sicht von Interesse; hierzu sei daran erinnert, dass die Wellendigitalmethode es ermöglicht, Algorithmen zur digitalen Filterung und zur numerischen Integration linearer und nichtlinearer gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen nach physikalischen Prinzipien zu entwickeln und dadurch in hohem Maße robust zu gestalten [1,2]. Ausgehend von wichtigen Erkenntnissen, die aus beiden Theorien gewonnen worden waren, sind in früheren Arbeiten, die schließlich zu [3] geführt haben, einige Grundfragen der Speziellen Relativitätstheorie genauer untersucht worden. Hierbei wurden alle von Einstein eingeführten Grundprinzipien (Kritik an absolutem Raum und absoluter Zeit, Einsteinsche Postulate, Lorentz-Transformation, Einsteinsche Kinematik) uneingeschränkt übernommen. Für die relativistische Dynamik wurden jedoch etwas abweichende Ausdrücke gefunden. Hierbei wurde von mehreren Ansätzen ausgegangen, aber alle führen zu den gleichen alternativen Ergebnissen, insbesondere zu einer Beziehung zwischen Kraft, Masse und Geschwindigkeit, die von der klassischen relativistischen Beziehung abweicht, dafür aber identisch ist mit derjenigen der sogenannten Minkowski- Kraft (Weltkraft).

Da die Elektrodynamik eine wesentliche Grundlage der Speziellen Relativitätstheorie bildet, wurden in [3] auch Fragen der Maxwellsche Theorie kurz angeschnitten. In [4] wurde hierauf weitaus detaillierter und präziser eingegangen, und für einige Einzelheiten wurde die bisherige Interpretation korrigiert. Die einzigen Annahmen, die in [4] gemacht werden, sind die strikte Gültigkeit der Maxwellschen Gleichungen und der bekannten relativistischen Transformationsregeln des elektromagnetischen Feldes. Alles andere beruht auf strenger mathematischer Deduktion und führt zu bemerkenswerten Ergebnissen. Um diese herzuleiten wird der Begriff einer lokalen Feldgeschwindigkeit eingeführt, deren Definition physikalisch begründet wird und die eine Reihe von Eigenschaften besitzt, die die getroffene Definition als sinnvoll bestätigen.

Auf diese Weise ergibt sich zunächst eine konsistente mechanistische Interpretation der Maxwellschen Theorie, was allerdings nur dann vollständig gelingt, wenn man die zuvor erwähnten alternativen Ergebnisse der relativistischen Dynamik akzeptiert. Für ein um eine Achse rotierendes Feld wird eine Größe beschrieben, die der bekannten Sommerfeldschen Feinstrukturkonstante entspricht, von keinem physikalischen Parameter abhängt und somit eine reine Zahl im strengen mathematischen Sinne darstellt; zu ihrer Bestimmung ist die Lösung eines Satzes nichtlinearer partieller Differentialgleichungen und die anschließenden Berechnung zweier Integrale erforderlich, aber diese Schritte stehen noch aus. Eine besonders bemerkenswerte Lösung der Maxwellschen Gleichungen beschreibt ein kompaktes nichthomogenes Feld, das überall lokal planar ist, sich in nur einer Richtung ausbreitet und die bekannten Eigenschaften eines Photons beinhaltet. Zur Herleitung dieser Lösung wird auf weitere Ergebnisse aus der Theorie informationstechnischer Systeme zurückgegriffen [5-7].

Vergleiche mit experimentellen Ergebnissen sowie mit von Einstein benutzten Gedankenexperimenten zeigen keine Widersprüche, die nicht durch plausible Interpretationen erklärt werden können.

Dies legt es nahe, Elektron und Photon als komprimierte, lokalisierte Felder aufzufassen, die durch ihre eigenen Kräfte im Gleichgewicht gehalten werden. Man kann spekulieren, ob Ähnliches auch für andere Teilchen gilt, freilich unter der Voraussetzung, dass neben elektromagnetischen Feldern auch solche anderen Typs Berücksichtigung finden. Der Welle-Teilchen-Dualismus fände auf diese Weise eine natürliche Erklärung und der bestehende Antagonismus zwischen Relativitäts- und Quantentheorie würde sich auflösen, wie es die vorliegenden Ergebnisse für ein Photon bereits als plausibel und diejenigen für ein Elektron als keinesfalls unsinnig erscheinen lassen.

Im Vortrag wird ein Überblick über diese Ergebnisse gebracht. Die dabei benutzten Folien sind hiernach reproduziert; zuvor sind Angaben über die wichtigsten Arbeiten des Autors [1-7], aus denen Einzelheiten sowie weitere Literaturangaben entnommen werden können, aufgeführt.

**Hinweis.** Die Folien auf den folgenden Seiten sind jeweils in der Reihenfolge

1 2  
3 4

zu lesen.

### Abridgement

The theories behind passive nonlinear Kirchhoff circuits and the wave-digital method are of interest also from a general physical point of view. Recall that the wave-digital method concerns using physical principles for constructing highly robust algorithms for digital filtering and for numerical integration of linear and nonlinear ordinary and partial differential equations [1, 2]. In the light of essential knowledge gained from these two theories, some fundamental issues of special relativity have been re-examined in a sequence of papers that had finally led to [3]. In doing so, all basic principles introduced by Einstein (Einstein's criticism of absolute space and absolute time, his postulates, the Lorentz transformation, the Einstein kinematics) have been taken over unchanged. Somewhat differing expressions have however been found for relativistic dynamics. For deriving these, several distinct approaches had been used that all have led to the same alternative results, in particular to a relation between force, mass, and velocity that differs from the classical relativistic expression but is identical to the so-called world force (Minkowski force).

Since electrodynamics is one of the essential pillars on which special relativity is built, some issues of Maxwell's theory had also been briefly addressed in [3]. In [4], these issues have been examined far more thoroughly and precisely, and for some of the details previous interpretations have been corrected. The only assumptions made in [4] are the strict validity of Maxwell's equations and of the known relativistic transformation rules of the electromagnetic field. Everything else rests on rigorous mathematical deductions and leads to remarkable results. In order to derive these, the concept of a local field velocity is introduced and its definition is physically justified. Various properties of that velocity are examined, confirming the judiciousness of the adopted definition.

The concept of field velocity leads to a consistent mechanistic interpretation of Maxwell's theory, but this can be achieved fully successfully only if one accepts the aforementioned alternative results of relativistic dynamics. For a field rotating around an axis a quantity is described that corresponds to the well-known fine structure constant, is independent of any physical parameter, and is thus a pure number in the strict mathematical sense. Its

determination requires solving a set of nonlinear partial differential equations and the subsequent determination of two integrals, but completing these steps is still pending. A particularly remarkable solution of Maxwell's equations yields a compact non-homogeneous field that is locally planar everywhere, propagates in a single direction, and exhibits the known properties of a photon. The derivation of this result relies on further properties of the theory of communications systems [5-7]. Comparisons with experimental results as well as with thought experiments (Gedankenexperiments) used by Einstein do not show any contradictions that could not be explained by plausible arguments.

This suggests interpreting electrons and photons as compressed, localized fields that are kept in equilibrium by means of their own forces. One may speculate whether similar results also hold for other particles, obviously under the assumption that fields of type other than electromagnetic are also taken into consideration. The wave-particle duality would then find a natural explanation and the existing antagonism between relativity and quantum theory would be overcome, as the present results for a photon make it appear to be plausible and those for an electron, to be at least not implausible.

In the lecture at the SEI Conference, an overview over these results has been presented. The viewgraphs that have been projected are reproduced below. Further details and references can be found in the publications by the author listed hereafter [1-7].

**Hint.** The viewgraphs reproduced on the following pages have to be read in the order

1 2  
3 4.

## References

1. A. Fettweis, "Wave digital filters: theory and practice", Proceedings of the IEEE , vol. 74, No. 2, pp. 270-327, February 1986; Corrections in vol. 75, No. 5, p. 729, May 1987.
2. A. Fettweis, "Robust numerical integration using wave-digital concepts", Multidimensional Systems and Signal Processing, vol. 17, No. 1, pp.7-25, January 2006.
3. A. Fettweis, "Kirchhoff circuits, relativity theory, and beyond", Proceedings of the International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES'06), pp. 19-43, Lodz, Poland, 17-20 September 2006, revised version of text available via homepage <http://ecctd05.ucc.ie/> , or directly using <http://ecctd05.ucc.ie/fettweis.pdf>, European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD 05), Cork, Ireland, 29 August-2 September 2005 (24 pages).
4. A. Fettweis, "Multidimensional systems: Flow in electromagnetic fields and some fundamental implications", International Journal of Circuit Theory and Applications, vol. 35, No. 5-6, pp. 645-690, September-December 2007.
5. A. Fettweis, "On the significance of group delay in communication engineering", Archiv für Elektronik und Übertragungstechnik, vol. 31, No. 9, pp. 342-348, September 1977.
6. A. Fettweis, "Elemente nachrichtentechnischer Systeme", 2nd ed., Teubner Verlag, Stuttgart, Germany, 1996, reprinted by Schlembach, Wilburgstetten, Germany, 2004.
7. A. Fettweis, "Can signals truly be faster than light?", Signal Processing, vol. 83, No. 8, pp. 1583-159, August 2003.

Four basic Einstein principles on which special relativity rests:

1. Einstein's criticism of absolute space and time.
2. The Einstein postulates.
3. The Lorentz transformation.
4. The Einsteinian kinematics.

For deriving classical relativistic dynamics,

prime emphasis traditionally placed on momentum.

Find then:

**Force**  $\mathbf{F}_C = D(M_C \mathbf{v})$ ,  $D = \frac{d}{dt}$ ,  $\mathbf{v} = \text{velocity}$ ,  $M_C \mathbf{v} = \text{momentum}$

$$M_C = \frac{M_0}{\alpha}, \quad M_0 = \text{rest mass}, \quad \alpha = \sqrt{1 - \beta^2}$$

$$\beta = \frac{v}{c}, \quad v^2 = \mathbf{v}^T \mathbf{v}, \quad c = \text{velocity of light.}$$

**Power**  $P_C = \mathbf{v} \mathbf{F}_C = D(c^2 M_C)$ , **rest energy**  $W_{0C} = M_0 c^2$

**total energy**  $W_C = c^2 M_C$ , **kinetic energy**  $W_{kC} = W_C - W_{0C}$ .

Fr3-1.cdr  
07/21

**Summary** of results obtained hitherto for force and energy:

$$\mathbf{F} = \sqrt{M} D(\sqrt{M} \mathbf{v}) = \frac{1}{2} (MD\mathbf{v} + D(M\mathbf{v})), \quad \text{not } \mathbf{F}_C = D\left(\frac{M_0}{\alpha} \mathbf{v}\right),$$

$$M = \frac{M_0}{\alpha^2}, \quad \alpha = \sqrt{1 - \beta^2}, \quad \beta = \frac{v}{c}, \quad D = \frac{d}{dt}, \quad M_0 = \text{rest mass},$$

$$W_k = \frac{1}{2} Mv^2, \quad W_0 = \frac{1}{2} M_0 c^2, \quad W = W_0 + W_k = \frac{1}{2} Mc^2$$

These obtained by 4 distinct approaches:

1. Analogy with characterizing **nonlinear** elements in **Kirchhoff circuits** as **passive**, in fact **lossless** (= conservative).
2. Analogy with **scattering/wave** properties (physics, engineering).
3. Taking classical **world** (Minkowski) **force** as being

strictly **relevant physically**, not only mathematically.

4. **Direct derivation**, placing prime **emphasis** on work done, thus on **energy**, while respecting all 4 Einstein principles.

**Question:** What can be learned from **Maxwell's** equations?

Fr3.cdr  
07/16

For **alternative** approach to relativistic dynamics, **observe:**

**Foundations of relativity** theory logically **consistent**,

conceptually **brilliant**, and **highly satisfying** to the mind.

Must therefore adhere to the mentioned Einstein principles,

but for relativistic dynamics place prime **emphasis** on **energy**.

Find then:

**Force:**  $\mathbf{F} = \sqrt{M} D(\sqrt{M} \mathbf{v}) = \frac{1}{2} (D(M\mathbf{v}) + MD\mathbf{v})$

where  $D = \frac{d}{dt}$ ,  $\mathbf{v} = \text{velocity}$ ,

$M = \frac{M_0}{\alpha^2}$  = **relativistic mass**,  $M_0 = \text{rest mass}$ ,

$\alpha = \sqrt{1 - \beta^2}$ ,  $\beta = \frac{v}{c}$ ,  $c = \text{velocity of light}$ .

**Power** absorbed:  $P = \mathbf{v}^T \mathbf{F} = DW_k = DW$  where

$W_k = \frac{1}{2} Mv^2 = \text{kinetic energy}$ ,  $W_0 = \frac{1}{2} M_0 c^2 = \text{rest energy}$ .

$W = W_0 + W_k = \frac{1}{2} Mc^2 = \text{total energy}$ ,

Fr3-2.cdr  
07/22

For **electromagnetic (EM) field**, assuming  $\epsilon$  and  $\mu$  constant:

$$\epsilon D_t \mathbf{E} + \mathbf{i} = \nabla \times \mathbf{H}, \quad \epsilon \nabla^T \mathbf{E} = \rho, \quad c^2 = 1/\epsilon\mu, \quad (1)$$

$$\mu D_t \mathbf{H} = -\nabla \times \mathbf{E}, \quad \nabla^T \mathbf{H} = 0 \quad (2)$$

From there, as known,

$$D_t \mathbf{J} + (\nabla^T \mathbf{T}_C)^T + \mathbf{f}_C = \mathbf{0} \quad (\text{valid for Cartesian coordinates}), \quad (3)$$

$$D_t w_C + \nabla^T \mathbf{S} + \mathbf{i}^T \mathbf{E} = 0 \quad (4)$$

$$\text{where } w_C = \frac{1}{2} (\epsilon E^2 + \mu H^2) = \text{classical field-energy density}, \quad (5)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} = \text{Poynting vector}, \quad E^2 = \mathbf{E}^T \mathbf{E}, \quad H^2 = \mathbf{H}^T \mathbf{H},$$

$$\mathbf{J} = \frac{1}{c^2} \mathbf{S} = \text{momentum density of EM field}, \quad (6)$$

$$\mathbf{T}_C = w_C \mathbf{1} - (\epsilon \mathbf{E} \mathbf{E}^T + \mu \mathbf{H} \mathbf{H}^T) = (\text{negative}) \text{ Maxwell stress tensor},$$

$$\mathbf{f}_C = \rho \mathbf{E} + \mu \mathbf{i} \times \mathbf{H} = \text{classical Lorentz-force density}. \quad (7)$$

Note: 1. Eqs. (3) to (7) together with (1) usually imply (2).

2. Interpretation (3,4) incomplete, missing terms! 3. Need velocity?

Fr3.cdr  
07/17

Assume **self-sustaining field** ( $\rho, \mathbf{i}$  properties, not sources).

At arbitrary location P (world point, i.e., position and time)

define:  $\frac{2v}{1+\beta^2} = \frac{S}{w_c}$ ,  $\mathbf{v} =$  field velocity, thus  $\mathbf{v} \parallel \mathbf{S}$ ,

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{E}_0 &= \frac{1}{\alpha}(\mathbf{E} + \mu\mathbf{v} \times \mathbf{H}) = \gamma\mathbf{E}_0 = \text{rest electric field} \\ \mathbf{H}_0 &= \frac{1}{\alpha}(\mathbf{H} - \epsilon\mathbf{v} \times \mathbf{E}) = \gamma\mathbf{H}_0 = \text{rest magnetic field} \end{aligned} \right\} \mathbf{S}_0 = \mathbf{E}_0 \times \mathbf{H}_0 = \mathbf{0}$$

$$w_0 = \frac{1}{2}(\epsilon E_0^2 + \mu H_0^2) = \text{rest energy density of field}$$

$$\rho_0 = \frac{1}{\alpha}(\rho - \frac{1}{c^2}\mathbf{v}^T \mathbf{i}) = \text{rest charge density}$$

$$\mathbf{i}_0 = \mathbf{i} - \frac{\rho^T \mathbf{P}_0}{1+\alpha} \mathbf{v} = \text{rest current density}$$

where  $\beta = v/c$ ,  $v^2 = \mathbf{v}^T \mathbf{v}$ ,  $\alpha = \sqrt{1-\beta^2}$ ,  $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ ,  $\gamma^T \gamma = 1$ ,

$$E^2 = \mathbf{E}^T \mathbf{E}, H^2 = \mathbf{H}^T \mathbf{H}, w_c = \frac{1}{2}(\epsilon E^2 + \mu H^2), E_0^2 = \mathbf{E}_0^T \mathbf{E}_0, H_0^2 = \mathbf{H}_0^T \mathbf{H}_0.$$

**Motivation:** Select point P in reference frame RF, thus  $\mathbf{P}_0$  in  $RF_0$ ,

$RF_0$  moving with  $\mathbf{v}$ . Choice  $\mathbf{v}$  such that  $\mathbf{S}_0 = \mathbf{E}_0 \times \mathbf{H}_0 = \mathbf{0}$  at  $\mathbf{P}_0$ .

Fe2p.cdr  
07/1/15

**Summary of mechanistic interpretation:**

$$\text{Have } D_t \mathbf{J} + (\nabla^T(\mathbf{v}\mathbf{J}^T))^T + (\nabla^T \mathbf{T}_0)^T + \mathbf{f}_c = \mathbf{0} \quad (1)$$

$$D_t w_c + \nabla^T(w_c \mathbf{v}) + \nabla^T(\mathbf{T}_0 \mathbf{v}) + \mathbf{i}^T \mathbf{E} = 0 \quad (2)$$

$$D_t w_i + \nabla^T(w_i \mathbf{v}) + (\mathbf{T}_i \nabla^T)^T \mathbf{v} + \frac{1}{\alpha} \mathbf{i}_0^T \mathbf{E}_0 = 0 \quad (3)$$

where  $\mathbf{J} = \frac{1}{c^2} \mathbf{S} = m\mathbf{v}$ ,  $m = \frac{m_0}{\alpha^2}$ ,  $m_0 = \frac{2}{c^2} w_0$ ,  $w_i = \frac{w_0}{\alpha^2} = \frac{1}{2} m c^2$

$W_{tot} = W_c + W_b =$  total energy of EM field,

$$W_c = \int_V w_c dV = \text{distributed energy}, w_c = \frac{1}{2}(\epsilon E^2 + \mu H^2)$$

$$W_b = \text{bulk energy: } W_b(t_2) - W_b(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} dt \int_V \mathbf{i}^T \mathbf{E} dV$$

**Consistent mechanistic interpretation** possible only if adopt

alternative approach to relativity theory (RT), not for classical RT.

Also:  $W_b$  and  $W_c$  play quite different roles.

Only **consistent interpretation:** Mass equivalent holds for  $w_i$ ,

thus for  $W_i = \int w_i dV =$  inertial energy, but not for  $W_b$ .

Fe2p.cdr  
07/1/15

From main previous results can obtain:

$$D_t \mathbf{J} + (\nabla^T(\mathbf{v}\mathbf{J}^T))^T + (\nabla^T \mathbf{T}_0)^T + \mathbf{f}_c = \mathbf{0} \quad (1)$$

$$D_t w_c + \nabla^T(w_c \mathbf{v}) + \nabla^T(\mathbf{T}_0 \mathbf{v}) + \mathbf{i}^T \mathbf{E} = 0 \quad (2)$$

$$D_t w_i + \nabla^T(w_i \mathbf{v}) + (\mathbf{T}_i \nabla^T)^T \mathbf{v} + \frac{1}{\alpha} \mathbf{i}_0^T \mathbf{E}_0 = 0 \quad (3)$$

where (3) follows from (1) and (2) (lengthy derivation),

$$\mathbf{J} = \frac{1}{c^2} \mathbf{S} = m\mathbf{v} = \text{momentum density}, m = \frac{2}{c^2} \cdot \frac{w_0}{\alpha^2}$$

$$\mathbf{T}_0 = w_0(1 - 2\gamma\gamma)$$

= expression of  $\mathbf{T}_c$  for  $\mathbf{E}$  and  $\mathbf{H}$  replaced by  $\mathbf{E}_0$  and  $\mathbf{H}_0$

$$w_i = \frac{w_0}{\alpha^2}, \quad \mathbf{T}_i = w_i(1 - 2\gamma\gamma^T) = \frac{1}{\alpha^2} \mathbf{T}_0.$$

Eqs. (1) to (3) are reminiscent of PDEs in **fluid dynamics**, call them therefore **flow equations** of EM field.

Will see: Present results lead to

**consistent mechanistic interpretation** of EM theory.

Fe2k.cdr  
07/1/11

Dynamic flow equations suggest to examine an **intrinsic**

EM (electromagnetic) **field** that is circularly symmetric about an **axis** and is **rotating** steadily around that axis.

Use **spherical coordinates**  $r, \theta, \varphi$ :

$$x = r \sin \theta \cos \varphi, y = r \sin \theta \sin \varphi, z = r \cos \theta,$$

$$\text{vector } \mathbf{a} = (a_r, a_\theta, a_\varphi)^T \text{ etc.}$$

To be precise, we assume

$$1. \mathbf{v} = (0, 0, v)^T, \quad \mathbf{i} = (0, 0, i)^T$$

Then:  $\mathbf{S}_r = \mathbf{S}_\theta = \mathbf{E}_\varphi = \mathbf{H}_\varphi = \mathbf{E}_{0\varphi} = \mathbf{H}_{0\varphi} = \gamma_0 \varphi = 0$

$$\gamma^T \mathbf{v} = \gamma^T \mathbf{i} = 0$$

2.  $\mathbf{i}_0 = \mathbf{0}$ , thus  $\mathbf{i} = \rho\mathbf{v}$

$$3. \frac{\partial z}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{\partial z}{\partial t} = 0$$

4. Symmetry about equatorial plane.

Fe2p.cdr  
07/1/16

$$\text{Recall: } R = \frac{q^2}{L} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \frac{\hat{q}^2}{\hat{\kappa}} L$$

can be determined by purely mathematical procedure involving strictly no physical parameter.

Compare result with so-called **fine-structure constant**

$$F = \frac{q^2}{2\hbar\epsilon c} = \frac{q^2}{2h} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \approx \frac{1}{137}, \quad q = \text{electron charge,}$$

$$h = \text{Planck constant,} \quad \text{electron spin} = \frac{h}{4\pi} = \frac{1}{2} \hbar.$$

Is **analogy** between R and F purely **accidental** or hint for valid **electron model**?

Important: Determine **numerical value** of R.

Of interest: Reoccurring debate: is F time independent?

Compare result with double nature of number  $\pi$ , e.g.:

physical:  $\pi = \frac{\text{circumference}}{\text{diameter}}$ , mathematical:  $\pi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx}{1+x^2}$  etc.

Fa3-3.cdr  
07/120

Basic results of **alternative relativistic dynamics** obtained in identical fashion by following **5 different approaches**:

1. Analogy with **passivity / losslessness** characterization of **nonlinear** elements in **Kirchhoff circuits**.
2. Analogy with **scattering / wave** properties in physics, circuits, microwaves, signal processing, numerical integration, ...
3. Taking **classical world** (Minkowski) **force** as being strictly **relevant physically**, not only mathematically.
4. **Direct derivation**, placing prime emphasis on **work done**, thus on **energy**, not momentum.
5. By means of **mechanistic interpretation** of Maxwell's theory of electromagnetism.

Need: **experimental** tests, compare with **classical derivations**.

Fa3-3.cdr  
07/120

Field obtained has properties of **photon**:

1. Propagates in **single direction**, with **velocity** of light c.
2. Field is **transversal** and **polarized**.
3. Energy W is **proportional** to **nominal frequency**  $\Omega$ .
4. Exhibits known **relativistic Doppler** effect.
5. Its **momentum** is equal to W/c.
6. Its **rest energy** and its **rest mass** are equal to **zero**.
7. Field is **electrically neutral**: total charge q = 0.
8. **Oscillating** charge densities, thus natural: photon  $\leftrightarrow e^+ + e^-$ .
9. Like a general **modulated signal**: behaves like a **wave**.
10. **Localized** (p in small volume): behaves like a **particle**.
11. In dispersive media, travels with **group velocity**.

**Conclusion**: Natural explanation of **wave-particle duality**.

Fa3-4.cdr  
07/126

**Experimental observations**

1. No difference for direct results from **Lorentz transformation**.
2. **Behavior particles in fields** ( e.g. in particle accelerators):  
Alternative and classical relativity theory give exactly same dynamic behavior. Thus, cannot differentiate this way.
3. Same for **momentum**.
4. **Macroscopic verification**, for instance by sufficiently precise weighing of mass decrease of nuclear fuel. Not done?
5. Electron-positron **annihilation** ( $e^- - e^+$  annihilation).
6. **Nuclear reactions** (involve charges, like item 5).
7. Rutherford **generation of neutron** (Borghi, Santilli).
8. By **calorimetry**: heat generated in target by fast particles.
9. **New experiments**?

Fa3-4.cdr  
07/124

Comparison with **Einstein's** derivation of **kinetic energy**:

Follow Einstein's first 1905 paper, but adopt present notation.

Electrostatic field in x-direction acting on particle P with

charge q, rest mass  $M_0$ , moving with v, at rest for  $x = 0$ .

F = force actually acting on P,  $W_k$  = kinetic energy of P.

$F_C = qE_x$  = classical expression for force acting on P.

Using transformation rules, **Einstein finds**:  $qE_x = \frac{M_0}{\alpha^3} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}$

and assumes without any discussion that  $F = F_C$ .

$$\text{Thus, } W_k = \int_0^x F dx = \int_0^x F_C dx = q \int_0^x E_x dx = M_0 \int_0^v \frac{v}{\alpha^3} dv = M_0 \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right).$$

According to **alternative theory**:  $F = F_C / \alpha$ .

**Thus**, sticking otherwise strictly to Einstein's derivation, **now**:

$$W_k = \int_0^x F dx = q \int_0^x \frac{E_x}{\alpha} dx = M_0 \int_0^v \frac{v}{\alpha^4} dv = \frac{M_0 v^2}{2\alpha^2} = \frac{1}{2} M v^2, \quad M = \frac{M_0}{\alpha^2}.$$

F&S-10.cc  
07/2/10

**Speculations**: 1. Elementary particles: **compressed fields**

governed by **nonlinear** partial DEs.

2. Correspondingly for particles **composed** of elementary ones.

3. Only specific configurations are stable: **quantum states**.

4. **Quantum jumps**: transitions between stable states,

governed by **dynamic processes** in field.

5. **Comparison** with **digital** communications, computers,

internet, digital signal processing, computer science etc.

There also: may ignore existence of switching processes.

However: IC designers must take into account dynamics.

6. Most fields **vagabonding**, not compressed: dark matter?

7. In particles: **fluctuations** around equilibrium, **statistical**.

8. Solves **wave-particle duality**, **quantum paradoxes**.

F&S-12.cc  
07/2/12

**Einstein's** derivation of **relation** between **mass** and **energy**

(2nd 1905 relativity paper): Uses energy results obtained in

his previous paper under assumption that source is at infinity

so that field is purely planar. In 2nd paper, however,

Einstein assumes that 2 oppositely equal purely planar waves

can be emitted by an object resting in one reference frame.

This **not possible**, but could be corrected by **photon** model.

Nevertheless, **thought** (Gedanken-) **experiment overidealized**.

**Ignores mechanism**: generating waves involves charges,

thus distributed energy, bulk energy etc.

Nevertheless: Einstein's **main conclusion**, i.e.,

$$\text{rest energy} = KM_0 c^2, \quad K = \text{const.} = \text{of order } 1,$$

is certainly **correct**, but **conclusion**  $K = 1$  **not justified**.

F&S-11.cc  
07/2/11

The logo for Werum Software & Systems. The word "werum" is written in a bold, blue, lowercase sans-serif font. Below it, the words "SOFTWARE & SYSTEMS" are written in a smaller, grey, uppercase sans-serif font. The logo is centered on a white background with blue decorative elements at the top and bottom.

# werum

SOFTWARE & SYSTEMS

© Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung September 2007 - HyperTest

*This presentation shows the features of HyperTest® that keeps the value of data archived long term and fulfils the requirements for a good scientific praxis for primary data management.*

Abstract:

Archives that keep data produced in an industrial or science project must handle lots of information to ensure understanding long time and between different groups of people involved.

In lots of research projects formal requirements of long-term preservation of data and information must be fulfilled following a good archiving praxis due to liability.

To understand long term why what was developed growing amounts of data and documents in various formats must be kept interpretable. Especially, in the early phases of a project the storage of data and documents follows the practical needs and is built up intuitively. Only some meta data are represented in folder structures and file names. The idea behind this initial nomenclature usually is lost after a while or when people involved are changing. Archiving data in that way holds the risk of at least long search times. Exchange of information amongst people involved is not supported. Moreover data get lost because they cannot be retrieved or they become worthless as they cannot be interpreted in the right way.

Werum developed the platform HyperTest® that handles data and all related information through the lifecycle in a use-case specific way.

# Hyper | Test

From Measurement  
to Knowledge

## Test Data and Information Management for a good scientific praxis and long-term usability of data

© Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung September 2007 - HyperTest

To minimize the risk of non-usability of data following information must be handled:

- Circumstances of data acquisition
- Where data is stored
- How to interpret data
- Relationships between data
- Related documents
- Necessary tools

With this, an archive information management system can be set up, which uses meta data to build up logical views that are independent of the technical archive solution. The system keeps track of the data and information generated by the use of the software tools. It uses these meta data to organize stored data in meaningful logical relationships. Logically linked data, documents and other files represent the background for long-term interpretation of the data.

The combination of data base search in meta data and full text search as well in designated meta data as in documents allows to find even unexpected results quickly. Search time is reduced to a minimum. As this is supplemented by an intuitive navigation through logical structures along links, know how about interdependencies and circumstances can be retrieved. In return links from documents lead to related information, files - and the tools needed.

**werum**  
SOFTWARE & SYSTEMS

## Test Data Management Systems

© Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung September 2007 - HyperTest

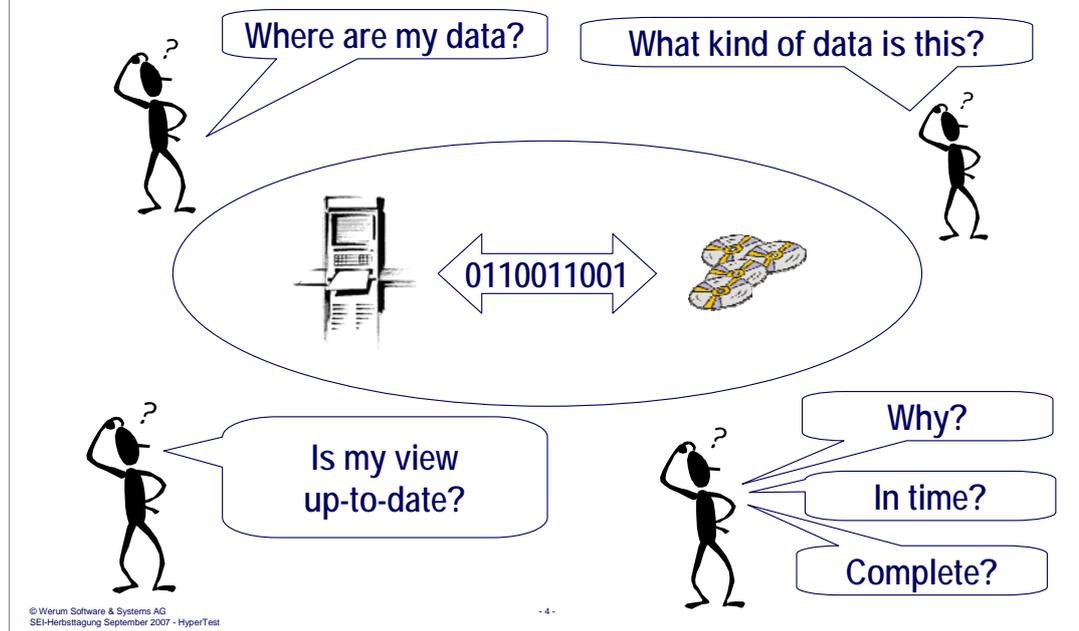
Test data are handled and used on different system levels:

The test level focuses on real time aspects and specific tasks. Thus here are lots of different, often very specific systems involved to control and monitor tests.

Test data then are stored at the next level. They are organized in a way that supports the specific evaluation and access needs.

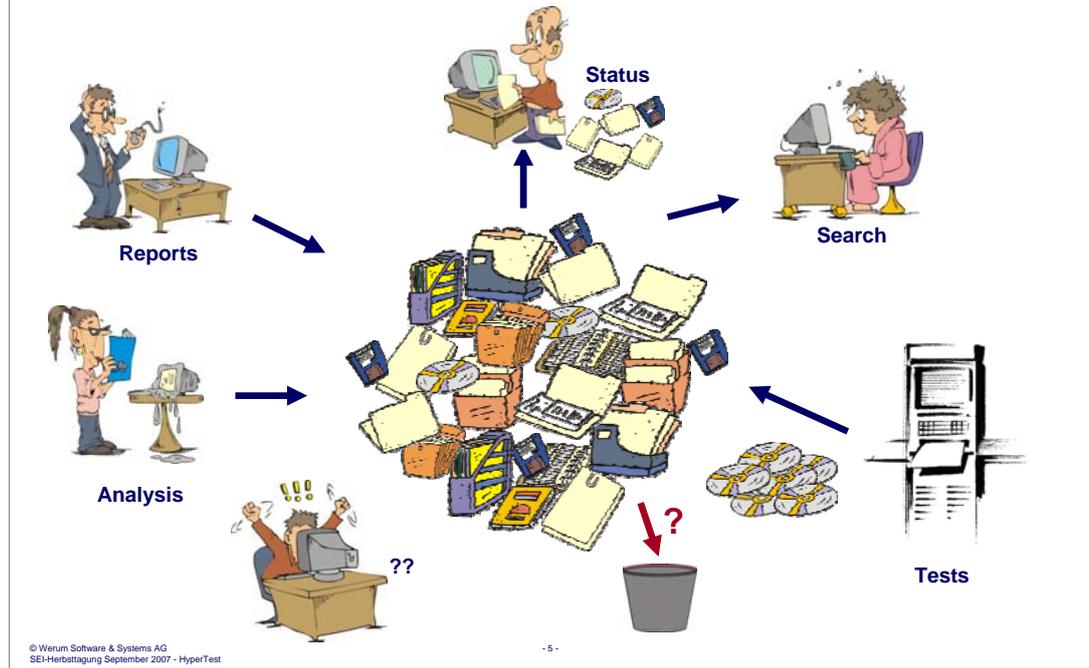
From a higher point of view an engineer must be able to find data independently from their specific format and physical storage. This is the level where information and new knowledge is derived from the data handled in the lower levels. For this HyperTest® is the state-of-the-art platform.

## Data management problems (local)



Local data management tasks may be performed by asking people involved. But with growing amounts of data or after a while it becomes necessary to manage data professionally.

## Data management problems (global)



The risk not to know what the meaning of data is or to find them at all grows the more data have to be handled.

Local copies have the risk that they are not up-to-date.

HyperTest helps to keep the value of the data, keeping all information together and organizing the access to it.

## Typical requirements (1)

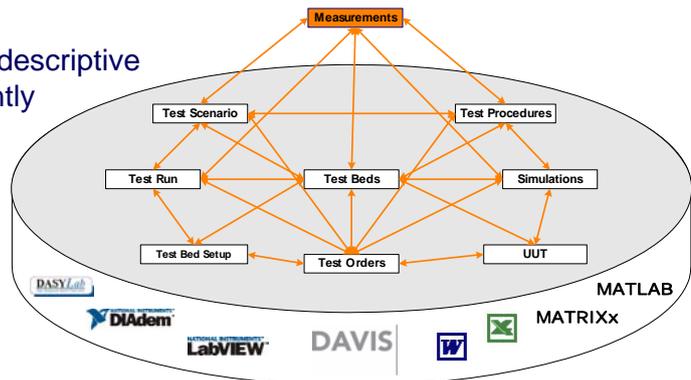
- Manage test orders, test procedures, test data and associated documents
- Make test retrievable and its data understandable
- Enable to re-construct an experiment
- Share data and tools in the scientific community
- Integrate test and laboratory systems
- Enable to make evaluations on data in a data base
- Use web-techniques for enquiries

HyperTest® was developed under influence of customers from science, automotive and aviation.

## Typical Requirements (2)

### What was tested why and how by whom?

- Provide transparency
- Administer data and descriptive information consistently
- Information available at your fingertips
- Evaluate data



© Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung September 2007 - HyperTest

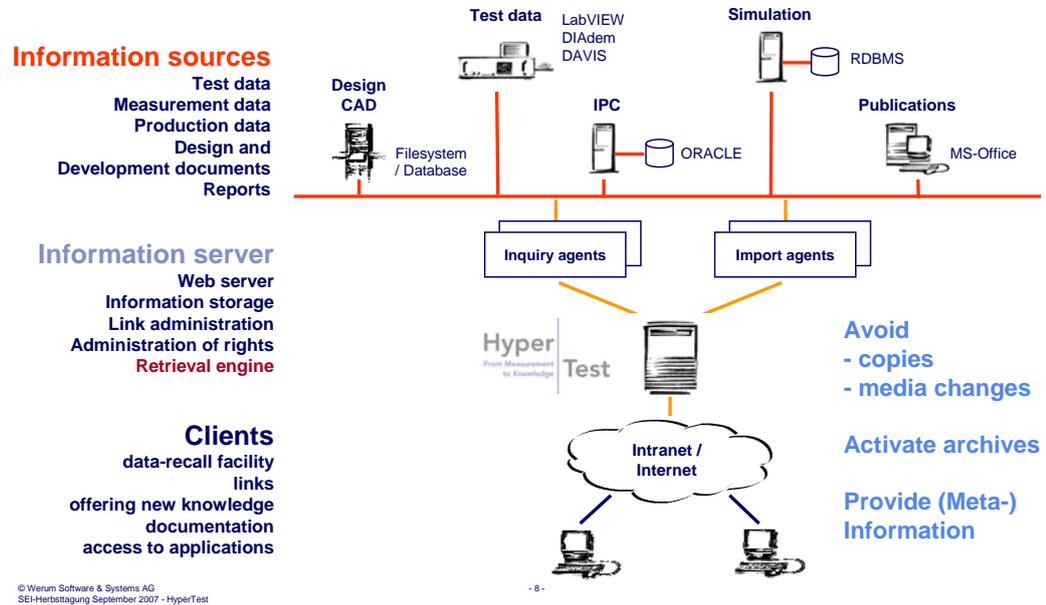
- 7 -

The idea of HyperTest® is to link all information that is needed to understand long-term or share across teams the meaning of data.

Especially the requirements of a good scientific praxis for handling of raw data and all relevant research circumstances are fulfilled by HyperTest®.

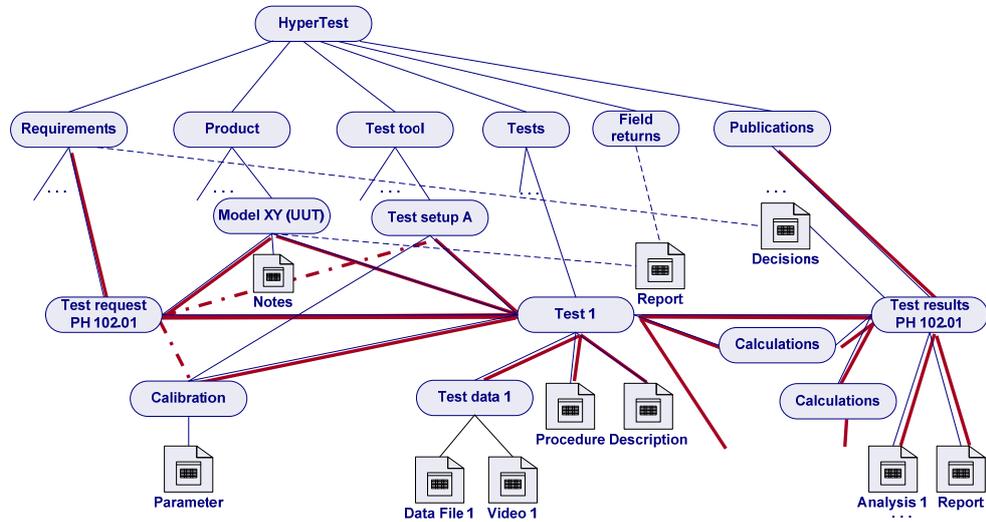
Tools for evaluation can simply be integrated.

# System integration



HyperTest® integrates the technical systems and provides search functions to serve the information to your desktop.  
 Own documents can be uploaded and then shared with others.  
 Thus, archived data and information can be found and accessed easily.

## Navigation in logical structures – independent from physical file storage



© Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung September 2007 - HyperTest

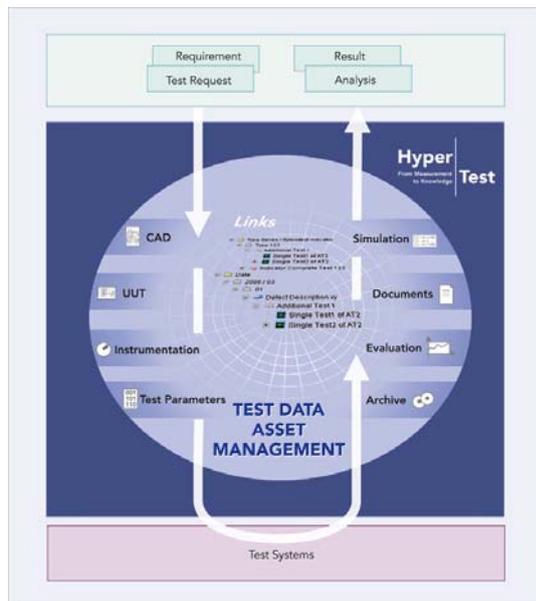
- 9 -

Besides searching even navigating through a logical network is an efficient way to find information. The user can follow associations and see what is related to a document or a test or a set-up etc.

This enables to see which data and experimental set-up a document (e.g. publication) is based an.

Users with different rights get different views to data. This allows to use one server for various research activities.

## From test to knowledge



- Data and Information
  - come along with the process
  - is used by the process
  - is necessary to understand long-term and keep the value of data (why, what, how, comparability)

Use meta data to link data and information

To enrich data and documents with meta data is an organic process. Whilst the activities are performed meta data are known and can be handled.

When files and documents are imported to HyperTest®, the meta data are used to build up the links representing the logical network.

HyperTest® has an standardized XML import interface, were as well meta data as associated files are handled.

## Virtual Lab for PHILAE, ISS and other microgravity projects



### ■ The Rosetta Lander "Philae"

- Development / tests / documents since 1996
- Operation of the Rosetta Lander Mission 2004 to 2014/15
- Maintaining the platform and payload operations know-how
- Sureness in interpretation of data long term
- Share data and information in a science web

### ■ This means

- Lots of documents (91.000)
- Lots of tests (based on 1.000 test descriptions)
- Lots of configuration information for each test
- Specific tools to be integrated

12.12.2007 © Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung 2007 - HyperTest

- 11 -

## USE CASE

The Rosetta Lander Control Center (LCC) at DLR/MUSC is amongst others responsible for

- Operation of the Rosetta Lander Long Term Mission until 2015
- Operating and maintaining the Lander Ground Reference Model
- Maintaining the Rosetta Lander platform and payload operations know-how

In the development of the Rosetta Lander 'PHILAE' with its 9 scientific instruments since 1996, configuration setups are frequently changed before the satellite's launch in 2004. Scientists and engineers involved in that phase know the reasons for changes in procedures, setups and data formats and how to use the (appropriate!) tools.

This knowledge is to be preserved through the entire mission as only a small operations team keep track of the mission. In addition, the know-how and data acquired before launch have to be available for new team members throughout the mission until the mission target is accomplished in the timeframe 2014/2015.

This means PHILAE documents and data must be accessible along with their context information for a reliable and precise interpretation of data and documents produced. Moreover, the necessary tools to use the data must be known and available. Besides the conventional way of searching, relationships between data shall be used to access data following links in an intuitional way.

For PHILAE HyperTest® manages information about

- Circumstances of data acquisition
- Where data is stored
- Necessary tools to use the data
- How to interpret data
- Relationships between data

and experiment's background, setups and results from various project documents

At present, about 91.000 documents already exist in the Philae HyperTest® system. It is expected that about 100.000 documents (20 – 25 GB) will have to be under control in the final version.

Data files are presently implemented in HyperTest® and will be referenced in test descriptions. It is envisaged to store about 30GB of data files, which will be accompanied by about 1000 test descriptions.

## Description of a Test

**Descriptive metadata keep know-how about**

- UUT configurations
- Test cases
- Remarks
- ...

**Descriptive metadata avoid unnecessary transfer of data**

The screenshot shows a software dialog box titled "Edit Test Description CDMS + TxRx Commissioning". It contains several input fields and lists. The "Further Actions" section at the bottom is highlighted with a red circle, containing buttons for "Open with Tool" and "Show in Tree".

Experiments are described by meta data. For every object type known in HyperTest® this may be different. (E.g. projects may be described different from it tests.)

Taking over test data to HyperTest® these data can be taken from the standardized XML-interface or – as in this case - taken from file headers and the structure of the file system.

Missing data can be edited in a description dialogue.

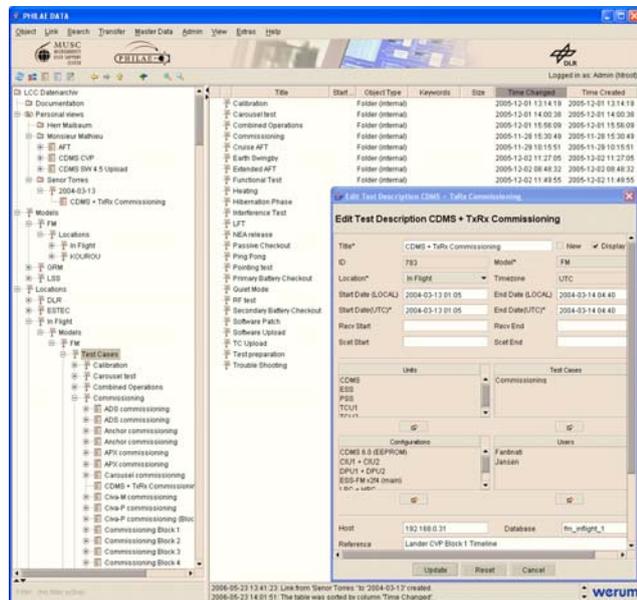
As further actions it is possible to open the experiments data with the specific tool or show the relations in the navigation tree.

## Find a Test by Navigation

Use (e.g.)

- Personal view
- UUT models
- Locations
- Test cases

Set filters to focus on the important information



Independently from the physical storage the HyperTest® navigation tree show the relations of a test.

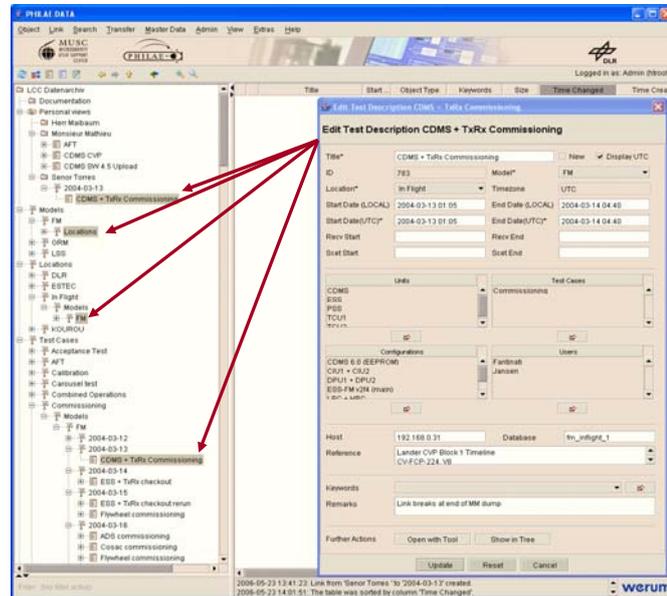
Besides personal views where folders and files can be linked in manually by “drag and drop”, the logical network may contain further trees that help to navigate to a test quickly.

Filters can be established, that reduce the content shown.

With a click its descriptive meta data can be shown or files can be opened.

# HyperTest - a Test in its Context

Use links to find associated information without knowing where it is stored



HyperTest® can show, where a test or other object is linked to. From these entry points it is easy to find further information by navigating along links.

## Find a Test using a Generic Search Function

- Additional to navigation
- Use meta data
- Combine full text search and meta data use
- Find data that are related to a document

**Advanced Search**

Find Object of Type: PHILAE File

Meta Data

Author	=	Torres	OR ()
Author	=	Mathieu	
Date	>=	2005-10-01	
Model	=	STM	

File Type  
Identifier DLR  
Identifier Extern  
Issue  
Location  
Model  
Released  
Revision

Mathieu) AND NOT (Date >= 2005-10-01) OR (Model = STM)

Edit Expression

Conjunction: AND

Full Text

Search Restore Cancel

File contents, managed with HyperTest® and specific meta data contents can be indexed for full-text search. A full-text search can be performed on file contents and specific meta data. Indexing and full-text search is done via the K2® server and the full-text search engine Verity®.

Besides this generic search usually simple search forms are integrated that provide fields for search items that are often used by specific user groups.

A search can be stored and easily repeated.

In addition a “what’s new” function shows the latest entries.

## Evaluate Search Results and Work with It

**Discover the unexpected!**

No.	Title	Id	Start Date	End Date	Location	Model	Units
1	Test Description 4	2567	2005-12-13 0	2005-12-15 1	DLR	GRM	Unit 1, Unit 3,
2	Test Description 2	2568	2005-12-13 0	2005-12-15 1	Korou	GRM	Unit 2
3	Test Description 1	2569	2005-12-13 0	2005-12-15 1	DLR	GRM	Unit 1
4	Test Description 3	2570	2005-12-14 0	2005-12-15 1	DLR	GRM	Unit 1

**Select Tool:**

- Dump TestDescription
- TMC2-Client
- LCC-Website

**Integrate your tools**

Execute Tool Cancel

12.12.2007 © Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung 2007 - HyperTest

- 16 -

Search results are shown in configurable lists or tables.

Specific tools needed for data with their specific formats can be integrated. Thus with a double-click data in various formats can be opened with the appropriate tools.

## Organized access

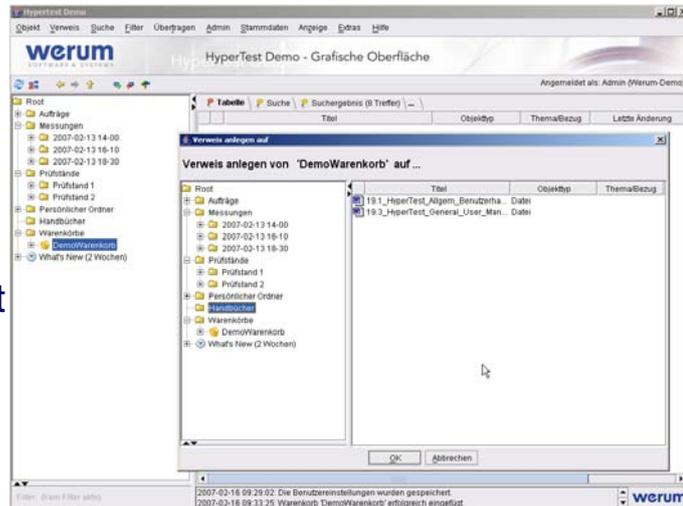
- Parallel reading
- Locked for modification

Meas\_0519\_01.TDM  
Meas\_0519\_01.tdx

Meas\_0519\_01.TDM  
Meas\_0519\_01.tdx

- Shopping cart function

- Export / import function



© Werum Software & Systems AG  
SEI Herbsttagung September 2007 - HyperTest

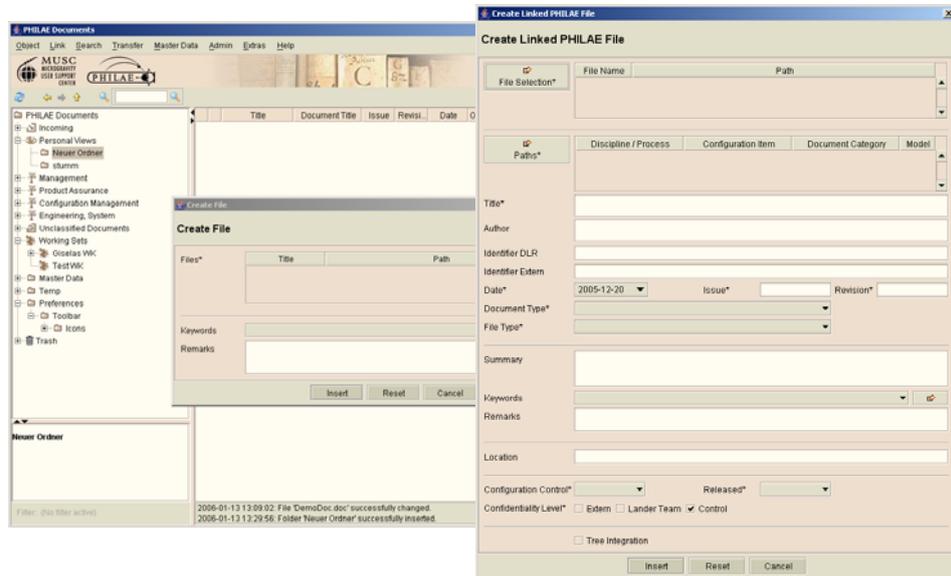
Data can be downloaded using HyperTests Download Manager.

To control changes, files downloaded cannot be modified by others. This is indicated by a locker-symbol.

Objects linked into a (personal) shopping cart can be handled commonly.

Export / import functions allow not only to handle files but even complete folders.

## Add Information



12.12.2007 © Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung 2007 - HyperTest

- 18 -

New files can be imported to HyperTest®. As well selecting single files as complete directories is possible.

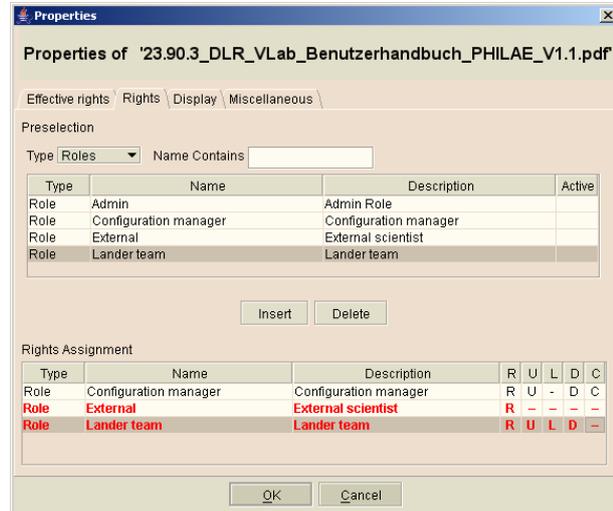
Remarks, standard-classifications and specific meta data can be added when files or directories are prepared and described to be uploaded and linked to a directory selected.

## Share Information in a company network

### Build a virtual laboratory

- with controlled access rights
- providing
  - information
  - data
  - tools

Web start brings the client application to the user

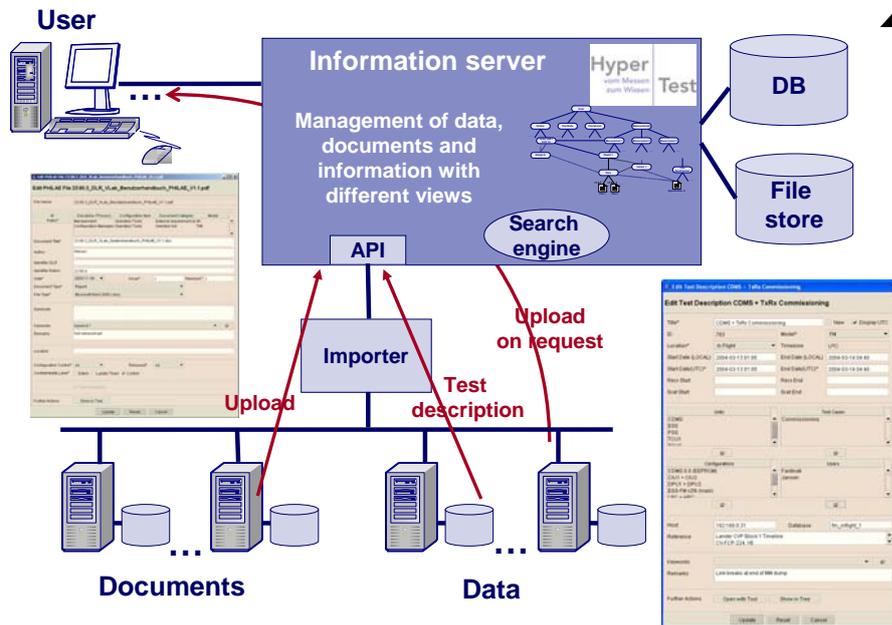


To share information may be critical – if the wrong person gets access.

To prevent this and – furthermore – provide specific views to data, HyperTest® has got a sophisticated role and rights management.

## Example: PHILAE Data and Documents

werum  
SOFTWARE & SYSTEMS



12.12.2007 © Werum Software & Systems AG  
SEI-Herbsttagung 2007 - HyperTest

- 20 -

This example shows an example where scientific data and documents are managed with HyperTest® :

About 90.000 Documents were uploaded from different computers to a file storage controlled by HyperTest® and all documents are indicated by the search engine and were enriched with meta data that represent their content and interdependencies.

Data files of each experiment are stored on different servers. HyperTest® keeps all descriptive and access information, thus data can be fetched on demand from various servers and opened with appropriate tools at the HyperTest® client computer.

## HyperTest in use

### Customers

- AIRBUS
- DaimlerChrysler
- Mercedes AMG
- smart
- Volkswagen
- DLR



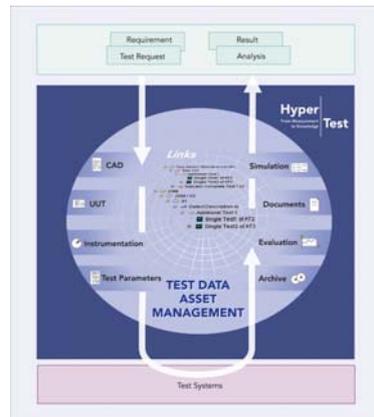
### Field of application

- F&E (Components, motors, wind tunnel)
- Trial (Car endurance test)
- Quality management (Electronic field return)
- Fundamental research (Virtual scientific laboratory)

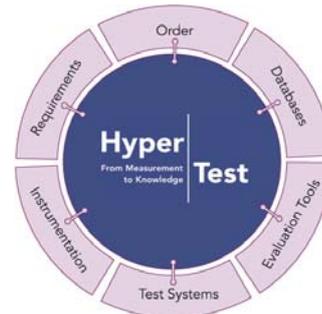
Requirements of our industrial customers are similar to those from the scientific community: It must be known how data were produced, how to use them correctly and how to understand them. In both cases all circumstances of data production and rules applied for data evaluation must be known to have confidence in results and conclusions drawn.

## HyperTest at a glance

**Test Data Asset Management**  
- linking data and know how  
to make it long term usable



**Platform for information management solutions**  
- handle data and information independent from where they are physically stored



HyperTest® keeps the value of test data and derived scientific results.

For this it provides test data asset management.

With its API HyperTest® integrates different systems involved that provide data, information and/or evaluation tools.

HyperTest® is industrial and scientific use from R&D to maintenance.

**For further information see:  
[www.HyperTest.de](http://www.HyperTest.de)**



## **CONTACT**

**Sören Schwartz**  
**Werum Software & Systems AG**  
**Wulf-Werum-Straße 3**  
**21337 Lüneburg, Germany**

**[www.werum.de](http://www.werum.de)**  
**[soeren.schwartz@werum.de](mailto:soeren.schwartz@werum.de)**

**SEI 24.-26.09.2007**

***POLDI - Monolithically Integrated  
Optical Sensors with Polarization Filters  
and their Applications***

**24. September 2007**

**Günter Grau  
gg@advico.de  
+49(0)2361/90438-72**

- **About adviCo**
- **History of POLDI**
- **Magnetic Field Measurement**
- **What is POLDI?**
- **Manufacturing POLDI**
- **POLDI simulations**
- **Application Examples**
- **Conclusion**

**advico is an IC design house**

**our services are:**

**Circuit Design  
(analog/broadband/RF)**

**Design-Kit development and support**

**Analog IP**

**Complementary Services**

**Examples of our activities:**

**10 Gbps 100mA n-side down laser driver for direct bonding to LD**

**40 Gbps Eye Diagram Monitor („single-chip sampling scope“)**

**10 Gbps Blind Adaptive Feed Forward Equalizer**

**Radiation Hard Design Rules & Circuit Design**

**ECL Standard Cell Library and Gate Array design  
for applications up to 15 Gbps**

***Origin of POLDI not related to microelectronics...***

- **How to measure strong and/or pulsed magnetic fields in presence of strong interferers?**
  - **Small dimensions of field (~10cm) within large apparatus**
    - No direct manual access during experiment
  - **Low homogeneity**
    - Pointwise measurement or integrating sensor?
  - **Field frequencies from DC to 100kHz**
    - High frequency restricts use of many measurement techniques
  - **Expected values between 0.1T and 3T**
    - Too strong for some, too weak for other methods

***Pulsed magnetic field measurement problems***

- **Types of Interferers**
  - **High voltages (10-100kV)**
    - Electrical isolation against breakdown, DC leakage & corona
    - Capacitive crosstalk to 100dB weaker sensor signal
  - **High currents (1-10kA)**
    - Mechanical forces on sensor and cables
    - Magnetic isolation against induction into sensor cable
  - **Mechanical shock**
    - Some measurement methods are sensitive to sensor movements relative to the field

**Magnetic Field Measurement Methods**

- **Fluxmeter (induction in moving/rotating coil)**
  - Only DC, mechanical and electrical problems
- **Hall-effect (Lorentz force in conductive probe)**
  - Limited to few Tesla, linearity?, calibration?, electrical problems
  - Widely used for many purposes, cheap sensors
- **Magneto-resistive/-inductive effects**
  - For medium-strength fields, nonlinear response
  - Widely used in special applications like hard disk, compass, ...
- **SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)**
  - Only low fields, requires cryogenic cooling

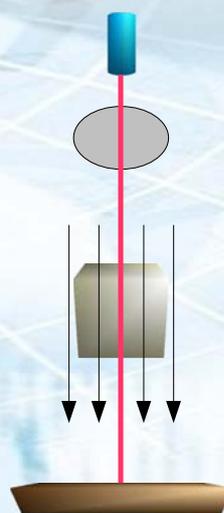
**Magnetic Field Measurement Methods**

- **NMR/ESR (Nuclear Magnetic/Electron Spin Resonance)**
  - Best absolute accuracy
  - Only for DC
  - Not useful for low fields (weak signal, low SNR)
  - No direct electrical interaction with the probe
  - Echo detection may fail due to transient magnetic stray fields
- **Magneto-optical Effect: Faraday rotation**
  - Optical measurement immune to electric and magnetic interference
  - Hardly used due to rare optical sensor material?
  - DC to MHz bandwidth possible
  - Appears to be the best suitable method, but...
  - ...no commercially available instrument known

## **Realization of Optical Magnetic Field Measurement**

- **Requires measurement of polarization angle rotation**
- **Avoid large „discrete“ optical assembly**
- **Reduce alignment effort**
- **Ideally measure the polarization angle of a laser beam with a special photodetector: POLDI**
- **Abbreviation for POLarization sensitive photo DIodes**
- **Basic structure:**
  - Array of light detectors with polarization filters
  - Each filter has a different polarization angle
- **Light passing two crossed linear polarizers shows Malus law**
  - Intensity changes with  $\cos^2(\varphi)$
  - Photocurrent changes with  $|\cos(\varphi)|$

## **Principle of Optical Magnetic Field Measurement**



Laser beam

Linear polarizer

Optical probe, e.g. TGG  
(Terbium-Gallium Garnet)  
Beam parallel to B-field

POLDI detector with array of  
polarization sensitive photo  
diodes

## ***Realization of Optical Magnetic Field Measurement***

- **Basic structure of the POLDI sensor:**
  - Array of reasonable small light detectors
  - Each detector has its own polarization filter
  - Minimum of two orthogonal filters is required
- **Using 4x45° angles allows better measurement**
  - Polarization degree of incident light (amount of unpolarized light)
  - Relative measurements, insensitive to illumination changes
  - Sign and angle of linear polarization
- **Patent pending (DE,PCT)**

## ***Main Challenge for POLDI***

- **How to make photo diodes polarization dependent?**
- **Polarizers available only as large homogenous filters**
- **Polaroid films are cheap polarizers**
  - Temperature and moisture sensitive
  - Film thickness about 20 to 50um
  - Contrast around 500:1 to 1000:1 for visible light
- **Each sensor element should have ~100um size**
  - Polaroid film difficult to cut, align, and glue at this size
  - Angular alignment accuracy very limited
- **Different solution needed**

**Proposed Options: Lowest Cost or Best Performance****a) Standard CMOS technologies (0.13 $\mu$ m or less):**

- Wire-grid polarizers using standard chip metallization
- For common infrared sources such as 950nm IR LED
- Best alignment accuracy

**b) Alternative manufacturing process based on filter foils:**

- Wafer preparation, transfer of large modified filter foil using lithographic steps ( $\gg 1\mu$  feature size), laminating, and CMP
- Works in entire visible spectrum
- Some remaining alignment accuracy issues ( $\pm 0.01^\circ$ )
- Additional manufacturing cost
- New production steps with unusual material (anisotropic polymer)

**Realizing a Monolithic POLDI Sensor****• Fully integrated version preferred**

- Production process readily available, known cost, mass production
- Zero additional cost
- Limitation to IR not important for many measurement applications
- Very small sensor cells can be realized

**• Difficulties**

- Prediction of the optical performance
- Optimization of the filter for a given semiconductor process
- Evaluate cost-neutral process variation to improve performance
- Extension to visible light for other applications

## Realizing a Monolithic POLDI Sensor

- Prediction of the polarizer based on literature data difficult
- Field simulations required
- Most EDA-simulators are limited to RLCK problems or antenna patterns
- Found COMSOL Multiphysics to be a suitable simulator candidate
- Early simulations based on data for DC conductivity proved principle, but showed unrealistically high contrast ratios
- Ellipsometric data for complex refractive index from the semiconductor fab allows more realistic simulations
- Conductivity and wire thickness must allow absorption according to skin depth. Metal filter can be significantly thinner than polymer filter
- **Typical semiconductor technologies have well-suitable cross section**

$$\sigma = \sqrt{(\rho / \mu_r f)} / \sqrt{(\pi \mu_0)} \quad \sigma_{\text{aluminum, DC-conductivity, 800nm}} = 4.3\text{nm} \quad t_{\text{aluminum}} = 450\text{nm}$$

## Wire Grid Polarizer

- Wire grid acts as a linear polarizer if grid period < wavelength
- E-field parallel to grid leads to interaction, causing absorption and reflection
- E-field perpendicular to grid can pass with little attenuation
- Wavelength in the wire grid reduced due to interlayer dielectric
- **Allowed metal line width and spacings larger than „minimum feature size“ of a CMOS technology, e.g. 170~200nm instead of 130nm.**
- Standard glass dielectric with n=2
- **Critical wavelength for 130nm-technology about 800nm**

$$c = c_0 / \sqrt{\epsilon_r} \quad f_g = c / \text{pitch} \quad \lambda_g = c_0 / f_g$$

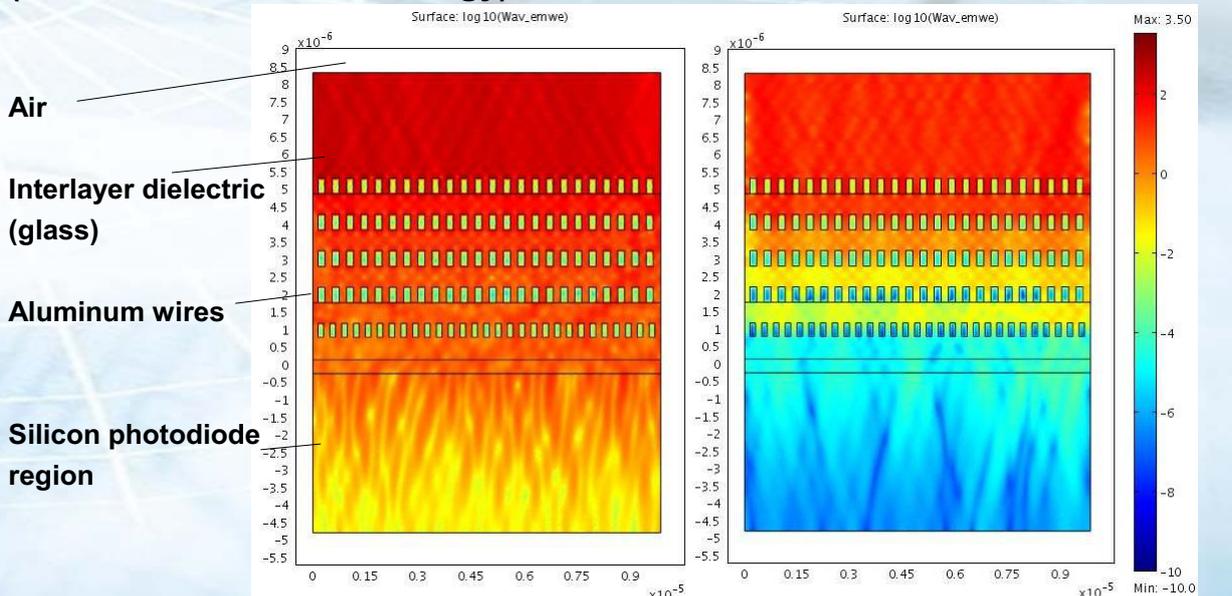
## Wire Grid Polarizer

- Polarization contrast depends on ratio between light wavelength and critical wavelength
- Photoeffect in Silicon requires  $<1.1\mu\text{m}$  wavelength
  - Photon energy  $hf >$  bandgap energy of 1.2eV
- Reasonable absorption depth requires  $\leq 950\text{nm}$  wavelength
  - $50\mu\text{m}$  for 950nm
  - $20\mu\text{m}$  for 870nm
- Available contrast is insufficient for a single aluminum layer in a cheap 130nm silicon/aluminum/glass technology

## Wire Grid Polarizer

- Better contrast available in more advanced technologies
  - 90 and 65nm with low-k dielectric is available for mass production
  - Sufficient even for visible range?!
  - Predominant copper may has worse properties in visible range
  - Mask cost is prohibitive for small production quantities!
- Contrast increases with filter order
  - Ideally the filter coefficients can be multiplied
  - Stacks with sub-wavelength spacings show resonance effects
  - Effective contrast gain is smaller for integrated filters
- Simulated 5-layer-stack contrast/wavelength slope  $\sim 40\text{dB}/100\text{nm}$
- Use several interconnect layers (typically 3 to 5 are available in 130nm)
- Useful contrast predicted for both 870 and 950nm

**Simulation with 950nm wavelength for p- and s-polarization  
(IHP SG13 130nm-technology)**



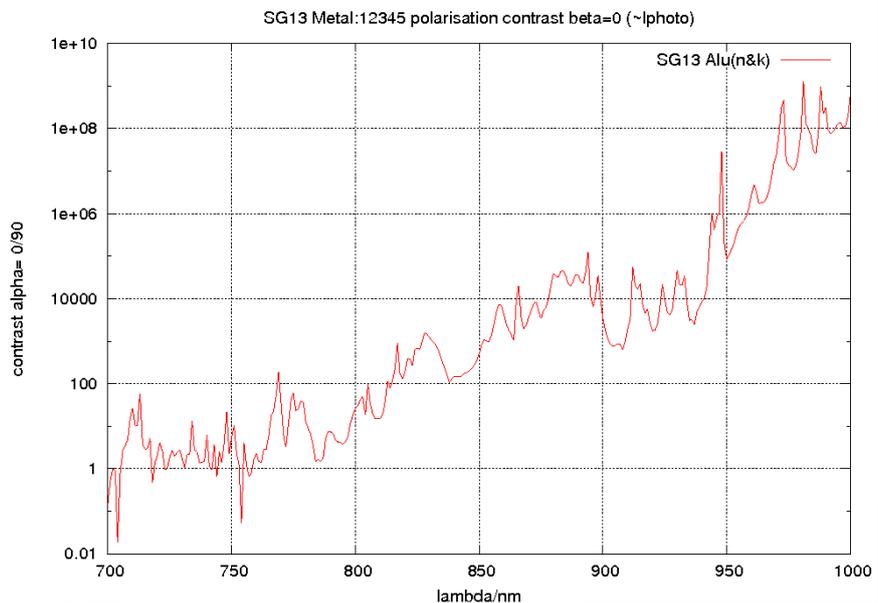
Steinstraße 12  
D-45657 Recklinghausen, Germany

(c) 2007 advico microelectronics GmbH  
rev. 070924

www.advico.de  
info@advico.de

**Simulation in 130nm-technology with 5-layer Aluminum metallization**

- Using measured n/k data
- Contrast >100:1 at 820nm or above
- Contrast 10000:1 at 870nm
- 100000:1 at 950nm
- 18dB attenuation at 950nm
- Test structures should be available for measurement in October

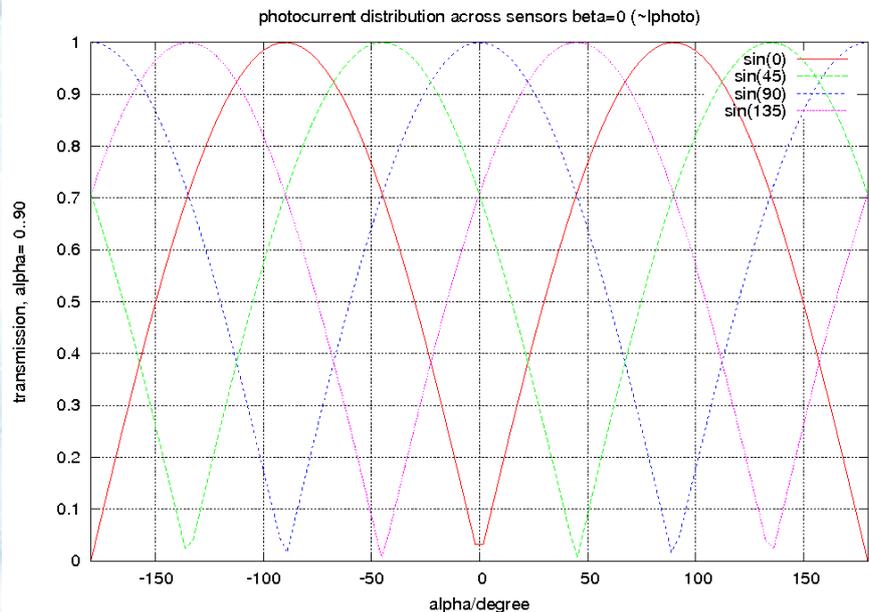


Steinstraße 12  
D-45657 Recklinghausen, Germany

(c) 2007 advico microelectronics GmbH  
rev. 070924

www.advico.de  
info@advico.de

- Photocurrent response of four 45° rotated sensor elements
- Sign of angle available
- 180° period
- Relative measurement between two sensors allows good accuracy
- Two orthogonal pairs with 45° offset allows measurement in range with sufficient current and slope



Steinstraße 12  
D-45657 Recklinghausen, Germany

(c) 2007 adviCo microelectronics GmbH  
rev. 070924

www.advico.de  
info@advico.de

## POLDI Properties

- Basic function is analog measurement of an absolute angle
- Expected angle resolution in the order of 12 bit or 0.02°
- Relative measurements is insensitive to illumination changes
- Polarization measurement is insensitive to translations
- Extension to 360° period possible in combination with other encoders
- Filters, sensors and electronics can be easily integrated on the same chip

Steinstraße 12  
D-45657 Recklinghausen, Germany

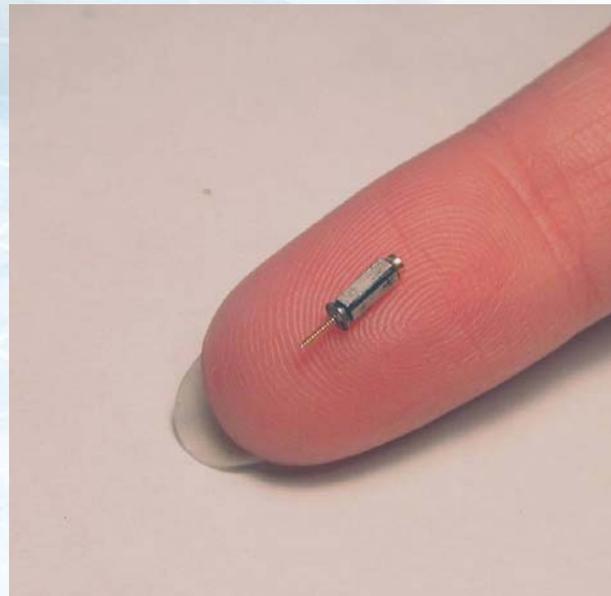
(c) 2007 adviCo microelectronics GmbH  
rev. 070924

www.advico.de  
info@advico.de

### Applications:

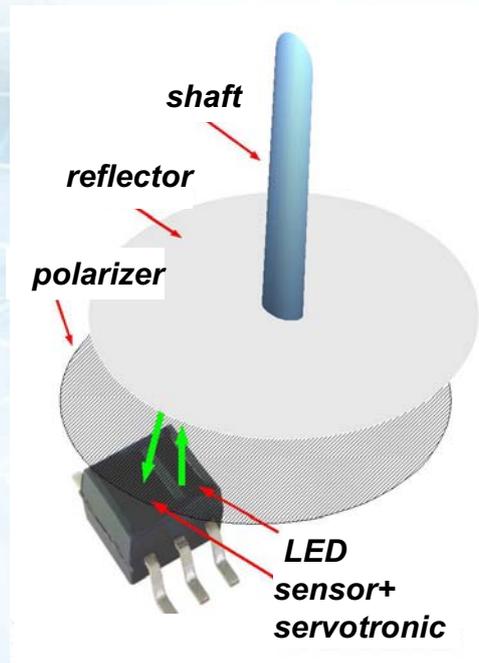
- **General purpose angle detector**
  - Potentiometer replacement
  - Encoder disk replacement
- **Micro servo**
- **Image sensors with polarization information**
- **Versatile measurement instruments for strong electromagnetic fields**

- **Micro-Servo**
- **Integrated sensor, regulator and driver**
- **Perfect for mikro motors, e.g. 4mm-ultrasonic motor (image: courtesy of Dr. Uchino, Penn State University)**
- **Traditional micro angle encoders lack resolution or need extremely high alignment precision**
- **POLDI enables 1mm<sup>3</sup> small servo systems with low alignment effort**
- **e.g. for minimally invasive surgery**



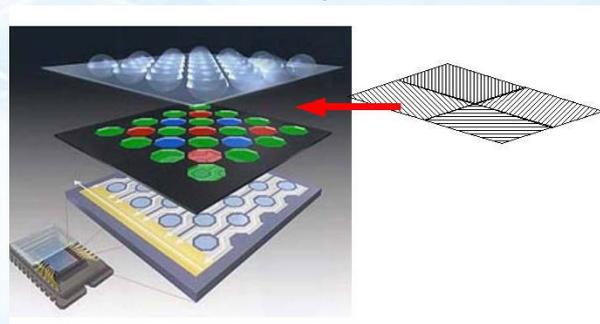
• **Mikro-Servo concept:**

- IR-LED and detector in one plane
- Sensor contains 4 detectors with 45°-rotated filters
- Rotating polarization filter foil on a shaft or gear
- Diffuse reflector behind the filter
- Light passes polarization filter twice, reflexion has polarization angle of foil
- Extremely high speed possible
- Minimum size
- Minimum weight
- Minimum cost
- No encoder alignment

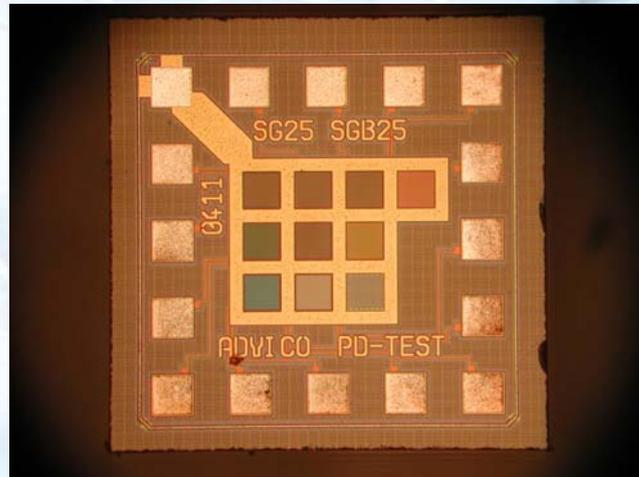


• **Image Sensor with Polarization Information:**

- Can be used like a normal image sensor
- Works with black&white and color sensors
- Allows measurement of polarization degree
- Allows measurement of polarization angle
- Production control (streak photography)
- Surveillance cameras (automatic reflexion suppression)
- Prosumer-cameras which allow electronic reflexion removal after taking the shot - without having to use external rotatable filter



- POLDI turns out to be useful for many applications
- First samples will be measured in Q4/2007
- Looking for partners to push development



*Test structures in  
0.25 $\mu$ m technology*



VME  
cPCI  
M-Module  
IPTM  
PCI  
PMC  
Custom  
TCP/IP  
ATM  
ISDN  
SS7  
Voice

# Innovation Communication

**N.A.T.** is the specialist for high performance connectivity products for data and telecommunication solutions. The product portfolio is dedicated to the embedded market, covering requirements from local area networks (LAN) up to wide area networks (WAN).

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

N.A.T. GmbH  
Gesellschaft für Netzwerk- und Automatisierungstechnologie mbH (N.A.T.)  
Kamillenweg 22, D-53757 Sankt Augustin



## Agenda

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- Kurzvorstellung N.A.T.
- MicroTCA und AMC standard
- MicroTCA Carrier Hub, das zentrale Nervensystem eines MicroTCA-Systems
- Standardisierte, Betriebssystem unabhängige Management Software
- Film
- Implementierung
- Erste Beispiele von AMC-Karten
- Morgen wird im Vortrag von Powerbridge Chassis und weitere Boards gezeigt

# Our Knowledge Base

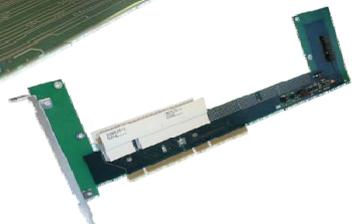
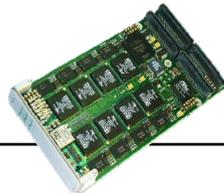
Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



<b>Form factor and busses</b>	VME, PMC, PCI, PCIe, cPCI, AMC, $\mu$ TCA, ATCA, IndustryPack, M-Module, TDM, customized
<b>Physical Layers</b>	Ethernet (10/100/1000), TokenRing, FDDI, E1/T1/J1, E3/T3, S/T+U, STM-1/OC3, STM-4/OC-12, SDH, ATM
<b>Processors</b>	DSPs, 68K, ColdFire, PowerPC, PowerQUICC I+II+III, Wintegra
<b>Protocols</b>	TCP/IP, DECNet, ISO/OSI, SNMP, ISDN (BRI, PRI), X.21, X.25/X.31, EFT, CAPI, V5.x, ATM, VoIP, SS7, I-TDM
<b>Operating Systems</b>	OS-9, VxWorks, pSOS+, HP-UX, Solaris, Linux, WinNT, proprietary, customized

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH



Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

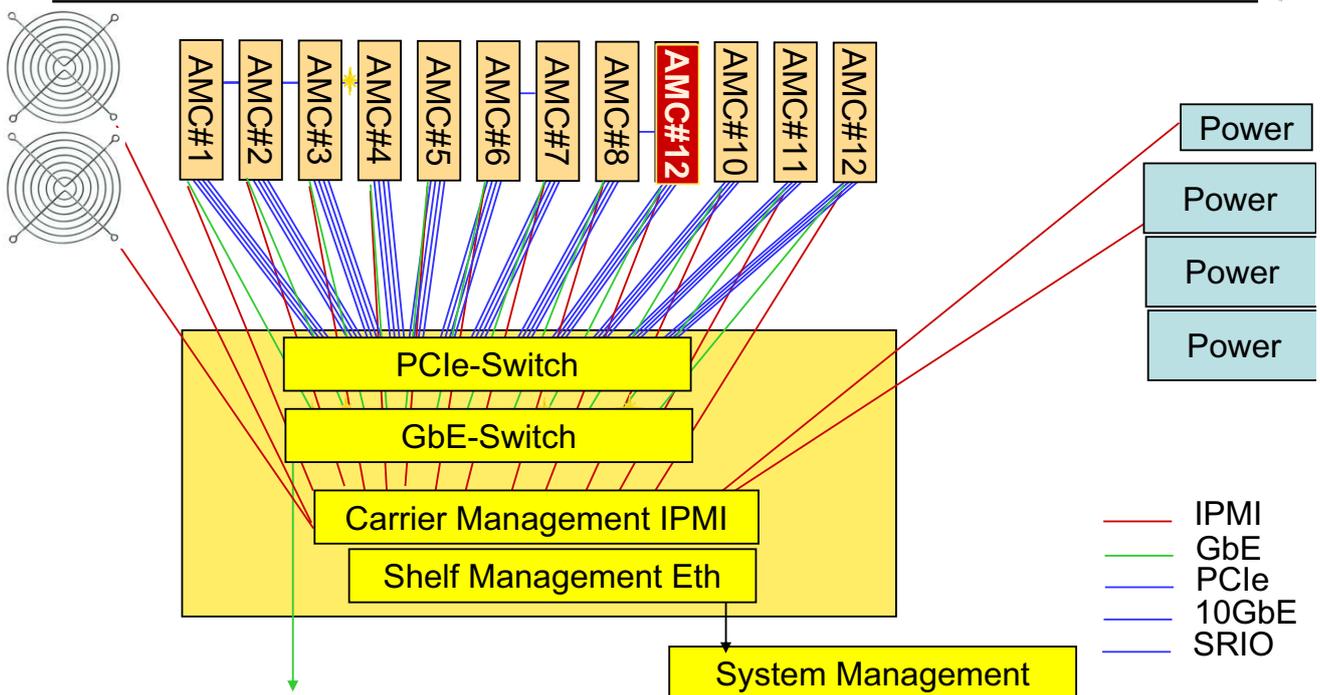


- Kurzvorstellung N.A.T.
- MicroTCA und AMC standard
- MicroTCA Carrier Hub, das zentrale Nervensystem eines MicroTCA-Systems
- Standardisierte, Betriebssystem unabhängige Management Software
- Film
- Implementierung
- Beispiele von AMC-Karten

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

## How to build a System?

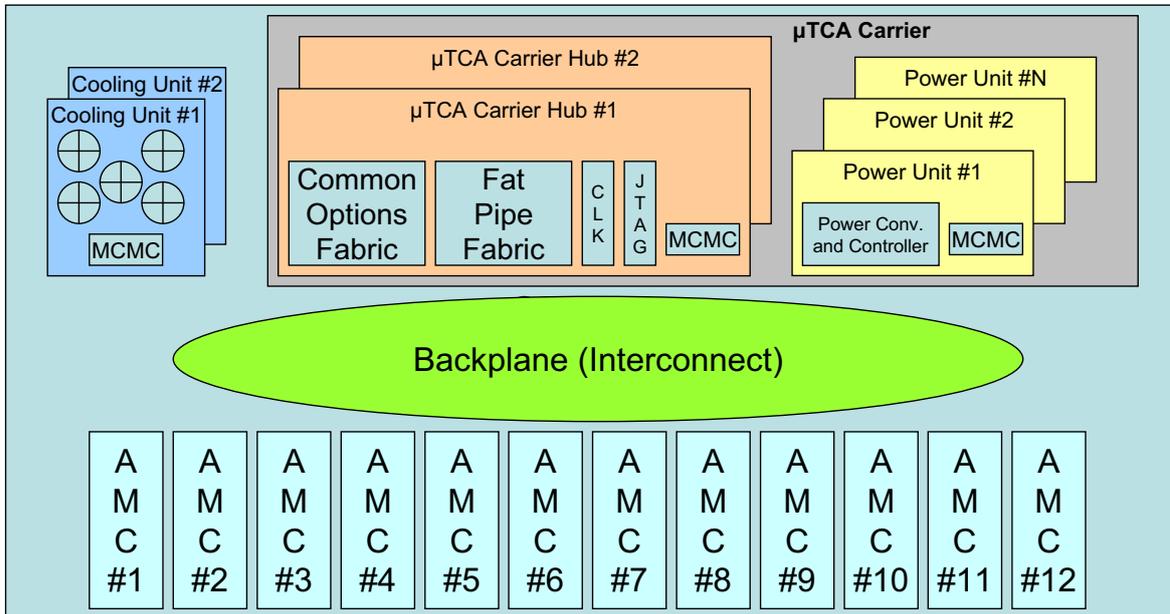


All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH



• Components of a  $\mu$ TCA shelf



All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH



- system interconnect
  - Data and control plane: high speed serial (LVDS) point-to-point links (GigEth, PCIe, RapidIO ...) in star or dual-star topology → hub required
- shelf Management
  - IPMB, based on I<sup>2</sup>C, messages
  - failure detection and isolation
  - power and cooling management
  - hot-swap management
  - electronic keying
  - power mangement
  - cooling management
  - monitor status and health of managed devices
  - fault management and recovery
- clock distribution
  - 3 clocks, covering special (tele)com requirements, different modes defined:
    - external, internal, line hold-over
- power supply and cooling
- mechanics

All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH

# AMC- Advanced Mezzanine Card form factors

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



Module Type	Height	Width
Single, Compact Module	13.88	73.8
Single, Mid-size Module	18.96	73.8
Single, Full-size Module	28.95	73.8
Double, Compact Module	13.88	148.8
Double, Mid-size Module	18.96	148.8
Double, Full-size Module	28.95	148.8

1.1



All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH

# μTCA™ Region Mapping

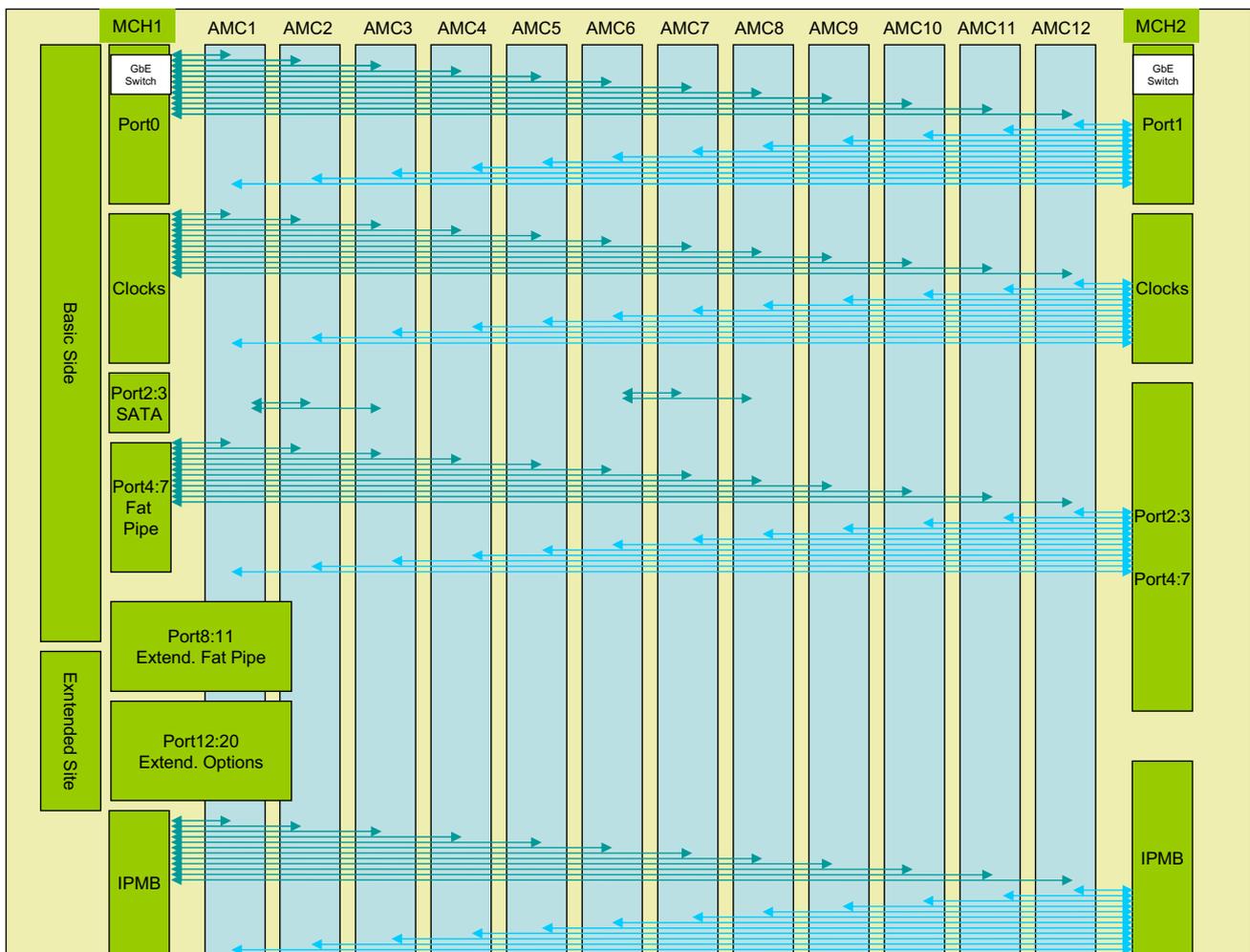
Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



Connector Region	AMC Port #	Signal Conventions				Non-redundant MCH Fabric #	Redundant MCH # / Fabric #	
Basic Side	0	AMC 2 1000BASE-BX				A	1 / A	
	Common Options	1	AMC 2 1000BASE-BX				B	2 / A
		2	AMC 3 SAS					1 / B
	Fat Pipe	3	AMC 3 SAS				D	2 / B
		4	AMC 1 x4 PCI-Express	AMC 4 x4 SRIO	AMC 2 1000BASE-BX	AMC 2 10GBase-BX4		1 / D
		5			AMC 2 1000BASE-BX			1 / E
		6			AMC 2 1000BASE-BX			1 / F
7		AMC 2 1000BASE-BX			1 / G			
8	AMC 2 1000BASE-BX	2 / D						
Extended Side	Extended Fat Pipe	AMC 4 x4 SRIO	AMC 2 1000BASE-BX	AMC 2 10GBase-BX4	2 / E			
			AMC 2 1000BASE-BX		2 / F			
			AMC 2 1000BASE-BX		2 / G			
	Extended Options	12						
		13						
		14						
		15						
		16						
	17							
	18							
	19							
	20							

- Basic communication, Ethernet (dual star mandatory)
- Storage devices, Dual Star, Star or direct connections between slots?
- Data transfer, different protocols, defined by use of MCH plug-on switch logic and AMC modules
- User defined, maybe 4th Clock (PCIe) on port 16?

All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH



## Functionality of the NAT-MCH

NAT-MCH – data fabrics

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



## Fabric Comparison

Protocol	PCIe	10 Gbe	SRIO
<b>Advantage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memory mapped access</li> <li>Software compatible to PCI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not only for system internal connectivity</li> <li>Data is ready for connect direct to LAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hardware data integrity</li> <li>Memory mapped access</li> </ul>
<b>Disadvantage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Host needed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>High Software Overhead</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not commonly used</li> </ul>
<b>Typical Application</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Processing Blade</li> <li>Next generation Industrial PC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Media Gateway Network Convergence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distributed Data processing or Data Acquisition</li> </ul>



- Kurzvorstellung N.A.T.
- MicroTCA und AMC standard
- MicroTCA Carrier Hub, das zentrale Nervensystem eines MicroTCA-Systems
- Standardisierte, Betriebssystem unabhängige Management Software
- Film
- Implementierung
- Erste Beispiele von AMC-Karten
- Morgen wird im Vortrag von Powerbridge Chassis und weitere Boards gezeigt

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

## Introduction to $\mu$ TCA and AMC standards

MCH functionality: management

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- MCH functionality overview
  - management interface:
    - connections: system, shelf, carrier, CUs, PUs
  - hub (switch) interface
    - data fabrics
  - clock interface
    - distribution
    - high precision and synchronised clocks
  - system aspects
    - high-availability and redundancy
    - "normal" system

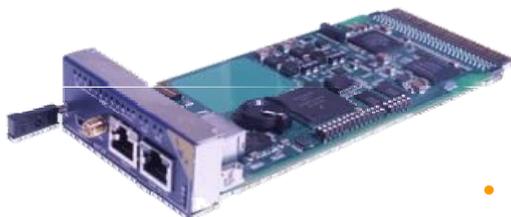
All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# NAT-MCH

layout – PCB 1<sup>st</sup> tongue

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- **IPMI and Compliance**
  - 12 AMCs, 2 cooling units, 1-4 power units
- **Supported Fabrics and Compliance**
  - **Gigabit Ethernet** (Fabric A) for 12 AMCs
  - **Serial Attached SCSI, Serial ATA** (Fabric B)
    - PICMG AMC.3 R1.0 (no market demand)
  - **PCI Express** (Fabric D-G) for 12 AMCs, x1-x4 each
    - 2007
  - **Serial Rapid I/O** (Fabric D-G) for 12 AMCs
    - 2007
- **Clock Distribution**
  - Telecom
    - Stratum 3 PLL with reference from either 1 of the 12 AMCs or external clock via front panel
  - PCIe
    - Spread Spectrum Clock (100MHz mean) or 100MHz fixed
- **CPU and memory**
  - Freescale ColdFire 547x @ 200MHz, V4e (MMU, FPU)
  - DRAM: 64 MB, FLASH: 32 MB
  - O/S: OK1. Linux ready but wait for market demand
  - API: OpenHPI

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

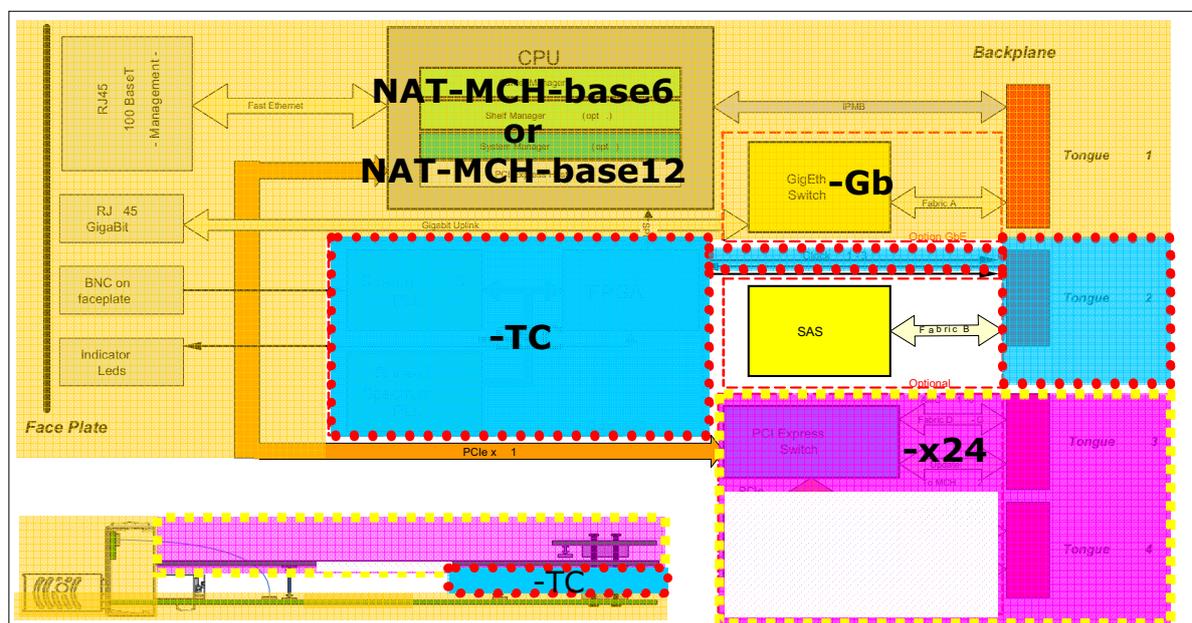
# NAT-MCH

layout – overview

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



## • NAT-MCH-base6-GbE-x24

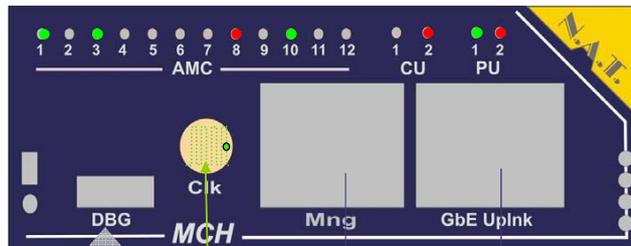


All trademarks and logos are property of their respective holders

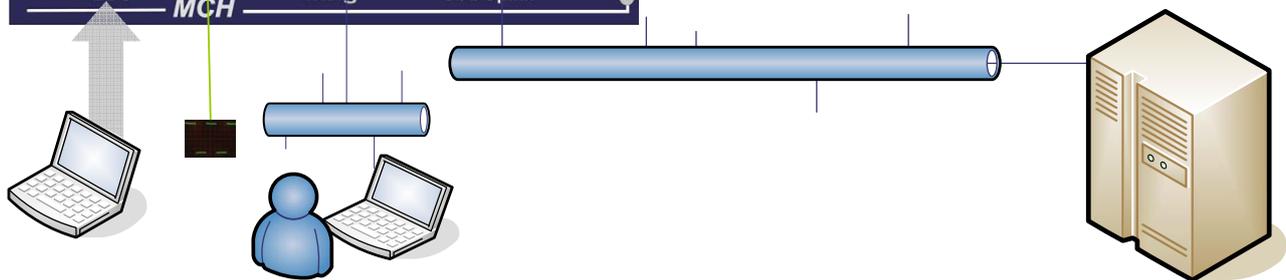
© 2007 N.A.T. GmbH



PCB arrangement of **NMCH-XXX**:



- **Indicator LEDs**
  - 4 standard AMC LEDs
  - 12 bi-colour LEDs for AMC slot status
  - 2 bi-colour LEDs for cooling units
  - 2 bi-colour LEDs for power units
- **Front Panel Connectors**
  - 100 BaseT management connection
  - 1GbE system up-link
  - external clock reference
  - serial debug connector



All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

## Collected Informations during Power Up



- Information about backplane
  - Which busses available to which AMC slots
  - Number of AMC slots
  - Dimensions of AMC slots
  - Locations of AMC slot
  - Manufacturer, part number, serial number
- Informations of Cooling and Power Units
- Informations about inserted AMC modules
  - Needed infrastructure
  - All sensor data and status and actors status
  - Manufacturer, part number, serial number
- Redundancy available
  - Second MCH available, which MCH number one is

# Hot Swap In Process

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- Power module detects insertion of AMC module
- Power unit switches 3 V management power on
- AMC Module Controller powers up and informs via IPMI carrier manager on the MCH
  - its status
  - Name, serial number, all sensor and actors
  - Needed high speed busses
  - Power demand
  - Blue LED blinks
- Carrier manager on MCH puts data in a data base, communicates with system manager
- Carrier Manager checks power budget, backplane infrastructure
- If ok, sends the available backplane infrastructure and the ok to AMC module
- If ok, Carrier Manager gives probably command to cooling unit to cool more and gives command to Power Unit to switch on the 12 V payload power
- AMC module powers up and gets the environment informations from its MMC (Module Management Controller)

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# Agenda

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- Kurzvorstellung N.A.T.
- MicroTCA und AMC standard
- MicroTCA Carrier Hub, das zentrale Nervensystem eines MicroTCA-Systems
- Standardisierte, Betriebssystem unabhängige Management Software
- Film
- Implementierung
- Erste Beispiele von AMC-Karten
- Morgen wird im Vortrag von Powerbridge Chassis und weitere Boards gezeigt

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# IPMI-Demo mit Eisenbahn

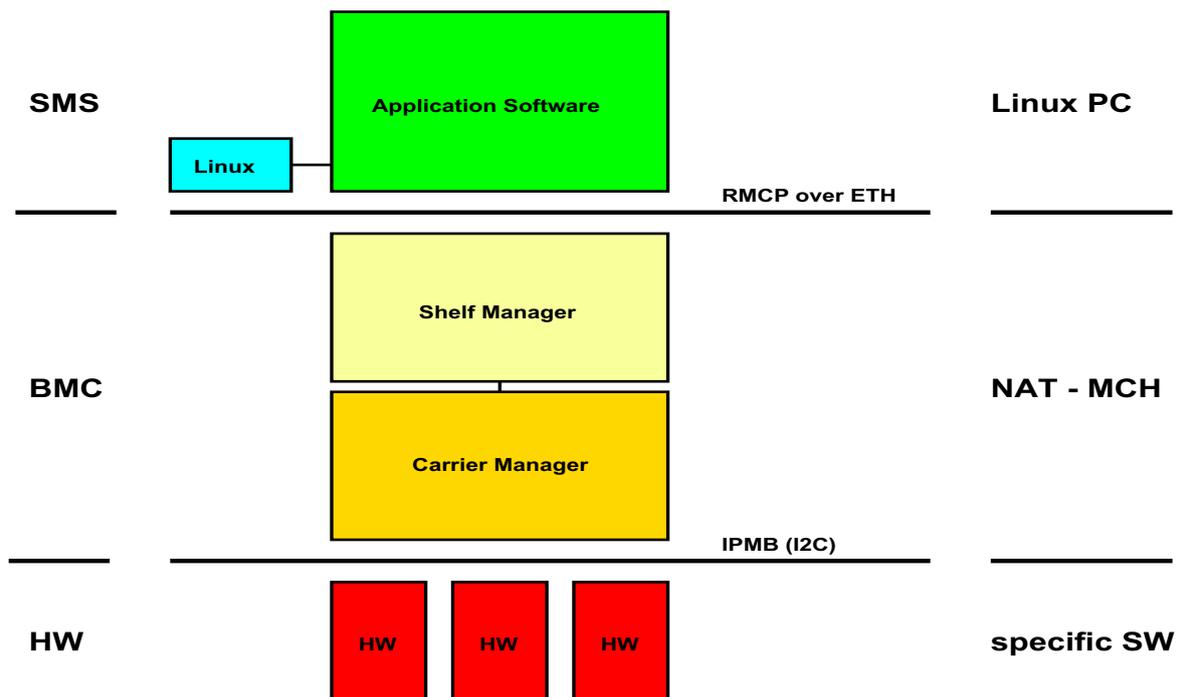
Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH

# NAT MCH: Software Structure Overview

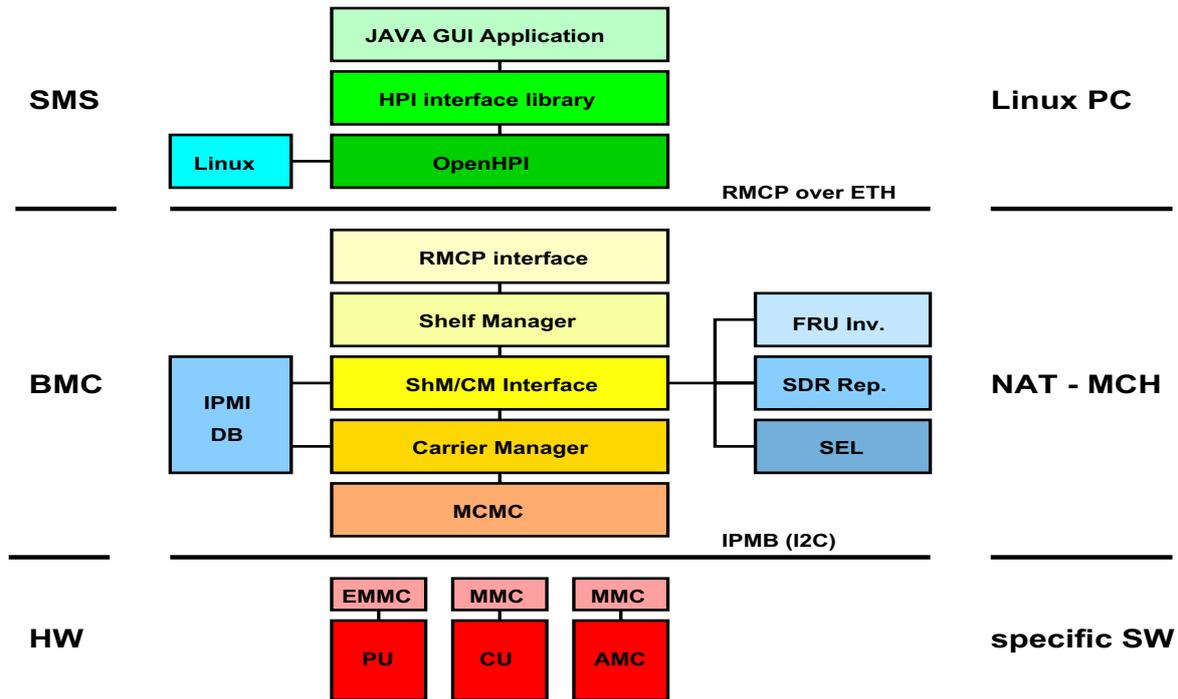
Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH

# NAT MCH: Software Structure Details

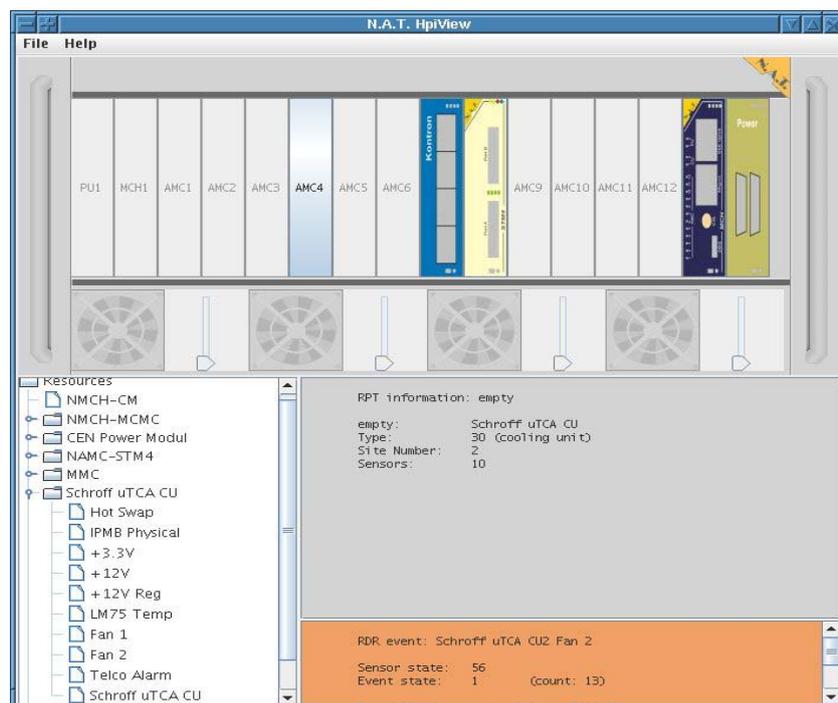
Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007.



All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH

# GUI: Live Demonstration of the JAVA Application

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



All trademarks and logos are property of their respective holders © 2007 N.A.T. GmbH

# Agenda

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- Kurzvorstellung N.A.T.
- MicroTCA und AMC standard
- MicroTCA Carrier Hub, das zentrale Nervensystem eines MicroTCA-Systems
- Standardisierte, Betriebssystem unabhängige Management Software
- Film
- Implementierung
- Erste Beispiele von AMC-Karten

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# Pictures of MTCA systems

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007

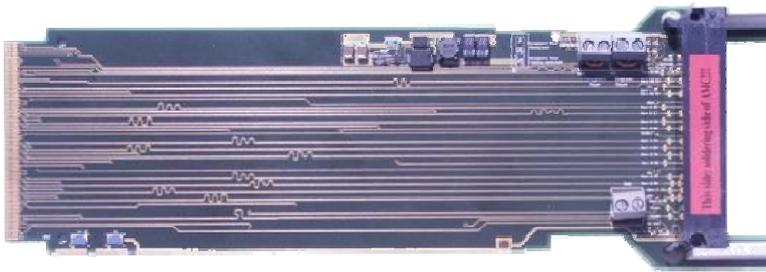


All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# AMC Extender for your own development

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- AMC-Extender for AMC-modules
- Does only need one slot
- supporting all fabric connectors
- provides access to the tracks of payload power and management power voltage
- all test points on the AMC module under test on both sides (soldering and assembly side) of AMC are accessible
- New: S1 defines the source of Management Power (backplane or locally generated from 12 V)
- New: signals testpoints are printed on the silkscreen

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# NAMC-8560-IO

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



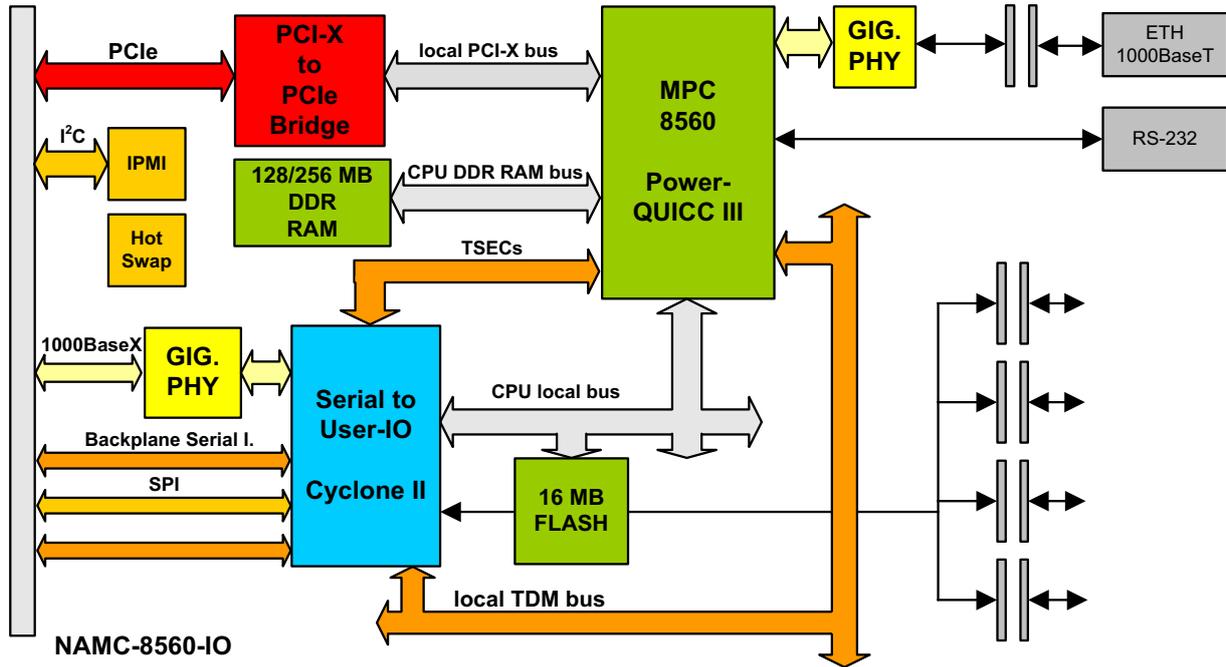
- **PCIe Interface and Compliance**
- 4 lanes
- PICMG AMC.1 R1.0
- **IPMI and Compliance**
- PICMG AMC.0 R2.0
- PICMG 2.9 R1.0
- **Serial Interfaces**
- serial interfaces are routed to extended option region
- **Networking**
- one GigEth at front panel, another GigEth at common options region (type P Control Path PICMG SFP.1 R1.0)
- **Indicator LEDs**
- 4 standard AMC LEDs + two bicolor LEDs per RJ-45 at front panel
- **Memory**
- 256MB DDR SDRAM
- 32MB FLASH
- **Operating System Support**
- OK-1, VxWorks, LINUX
- **Applications**
- - high density IO

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# NAMC-8560-IO Block Diagram

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007

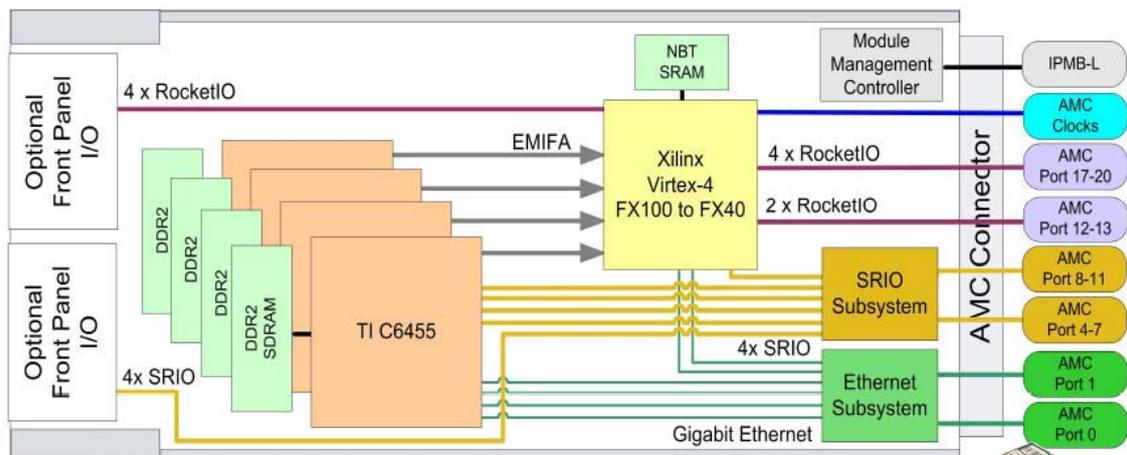


All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# AMC-4D1F

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007

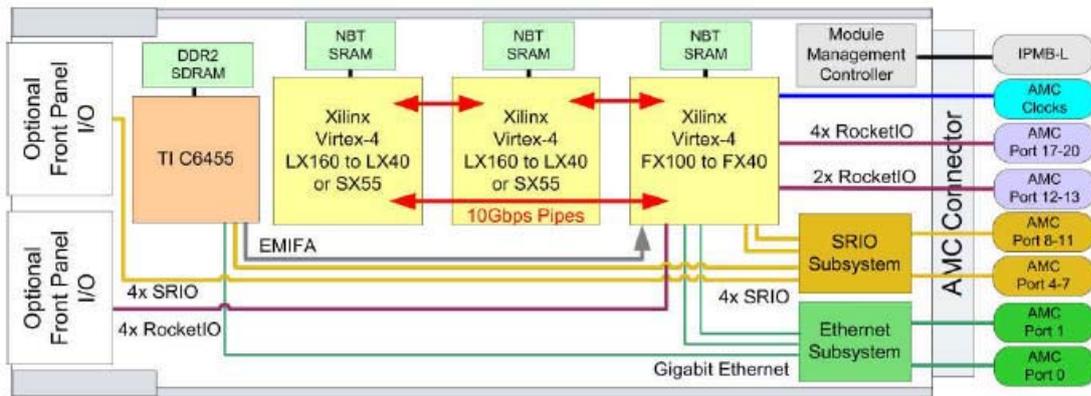


All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

# AMC-D1F3

Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



## AMC-D1F3 HARDWARE SPECIFICATIONS

TMS320C6455 DSP running at 1 GHz with 256MB of x32 DDR2-500 SDRAM

Xilinx FX40, FX60 or FX100 FPGA. 64-bit 125 MHz DSP EMIF interface plus I/O. Up to 18 MB of x36 ZBTRAM™

Two Xilinx Virtex-4 LX40-LX160 or SX55 FPGAs, each with up to 18MB of x36 ZBTRAM and 256MB DDR2 SDRAM.

10 Gbps bi-directional mesh interconnect between all three FPGAs using 20-bit DDR data busses at 250 MHz

Serial RapidIO using on-board Tundra Tsi578 switch, gives full 4x 10 Gbps bi-directional links to DSP and FX series FPGA, plus two external links to AMC connector

Gigabit Ethernet using on-board Broadcom BCM5389 switch, gives full Gigabit Ethernet links to DSP and FX series FPGA, plus two external links to AMC connector

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH

## Summary

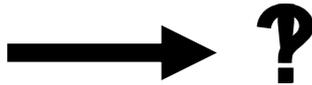
Vollrath Dirksen  
MCH zentrales Nervensystem  
eines MicroTCA-Systems  
SEI-Herbsttagung 2007



- uTCA systems use IPMI as standard for hardware control and monitoring
- Management is independent of Operating System
- IPMI messages define versatile and extensible communication mechanism for management tasks
- NAT MCH's RMCP interface allow customer specific applications
- GUI application provides comfortable interface for system management

All trademarks and logos are property of their respective holders

© 2007 N.A.T. GmbH



**$\mu$ TCA Training :**

- $\mu$ TCA and AMC Standards
- N.A.T.  $\mu$ TCA Carrier Hub (NAT-MCH)
- $\mu$ TCA management (IPMI)
- $\mu$ TCA payloads (AMCs)



All trademarks and logos are property of their respective holders

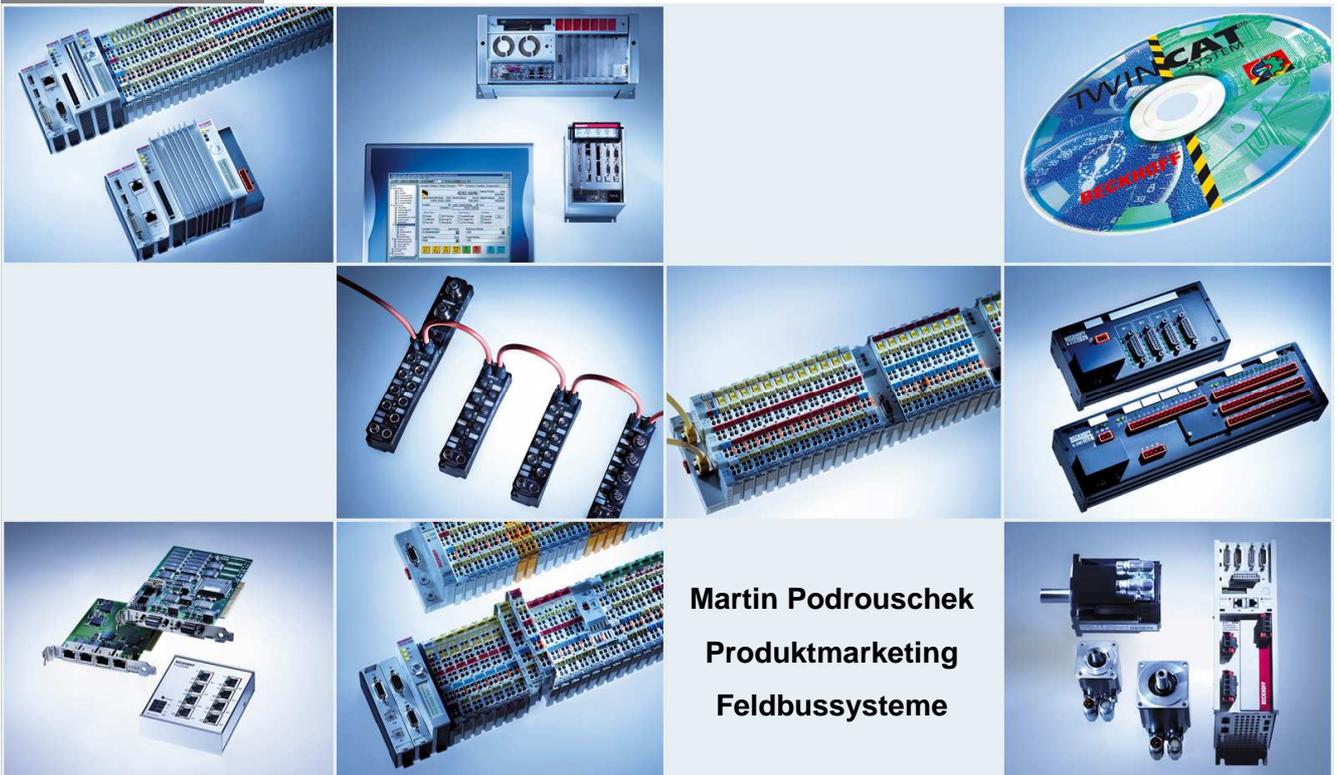
© 2007 N.A.T. GmbH



**BECKHOFF** New Automation Technology



**New Automation Technology**



**Martin Podroušek**  
**Produktmarketing**  
**Feldbussysteme**



## Beckhoff Automation GmbH, seit 1980

- Beckhoff
- I/O-Klemmen
- XFC
- XFC - Praxis

**Headquarters, Verl, Deutschland:** 18.000 m<sup>2</sup>  
**Mitarbeiter weltweit:** 800  
**Niederlassungen Deutschland:** 9  
**Beckhoff Tochterfirmen/Niederlassungen:** 18  
**Internationale Vertretungen:** 60 Länder

Jahr	Umsatz
2003	98 Mio. EUR
2004	129 Mio. EUR
2005	151 Mio. EUR
2006	190 Mio. EUR

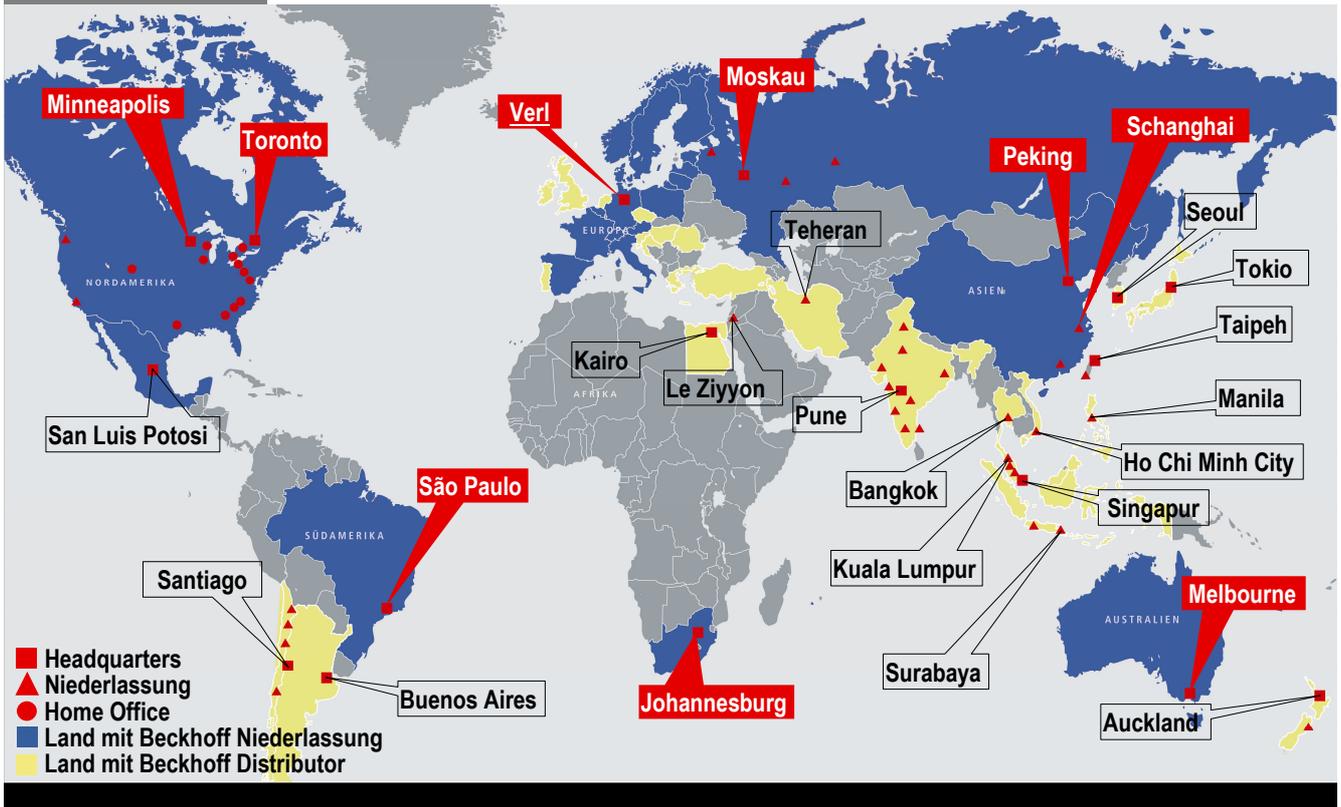


## 10 Vertriebs-/Technische Büros in Deutschland

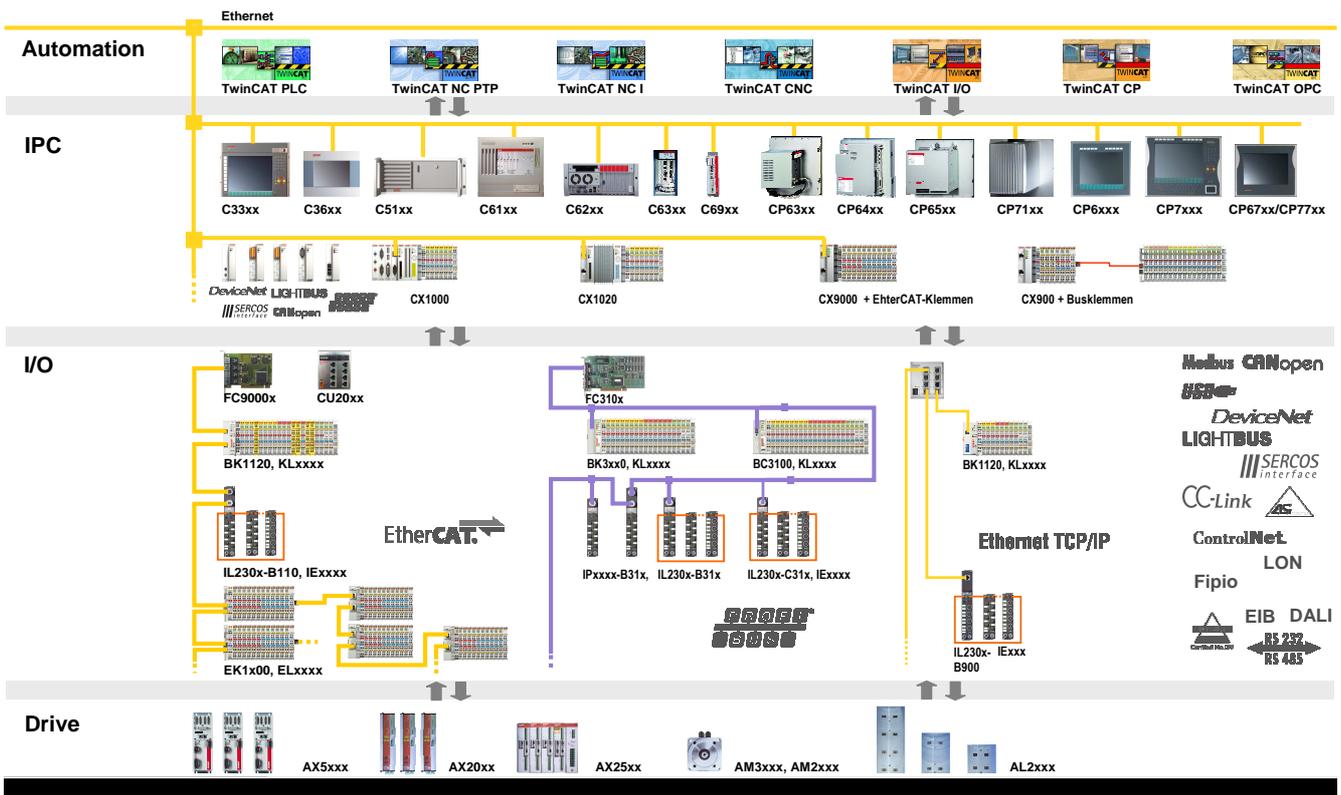




# Beckhoff Automation weltweit



# Systemübersicht Beckhoff Produkte



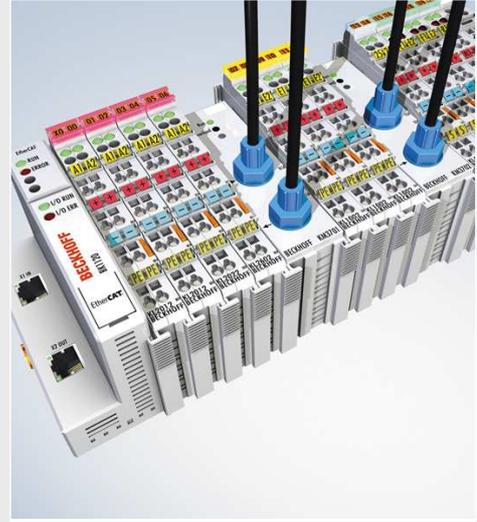
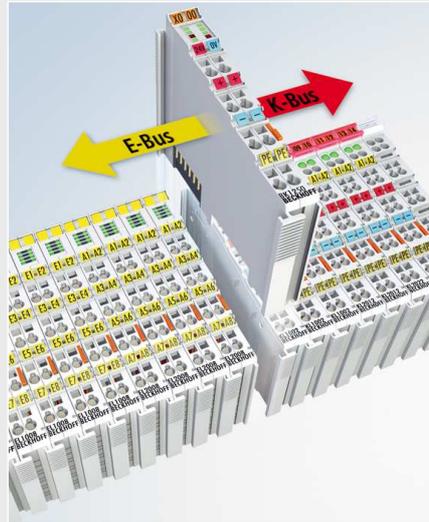
## Busklemmen – modulare I/O-Hardware

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis



Seit 12 Jahren entwickelt Beckhoff Klemmen für den K-Bus, bisher über 300 Typen

## EtherCAT-Klemmen

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis



- 100 Mbit/s Ethernet durch jeden Slave
- EtherCAT-Protokoll vermeidet Datenoverhead
- Frameverarbeitung im Durchlauf: weniger als 2  $\mu$ s Verzögerung je Slave
- lokale synchrone Uhren: Distributed Clocks löst zeitgesteuert Vorgänge in den Slaves aus

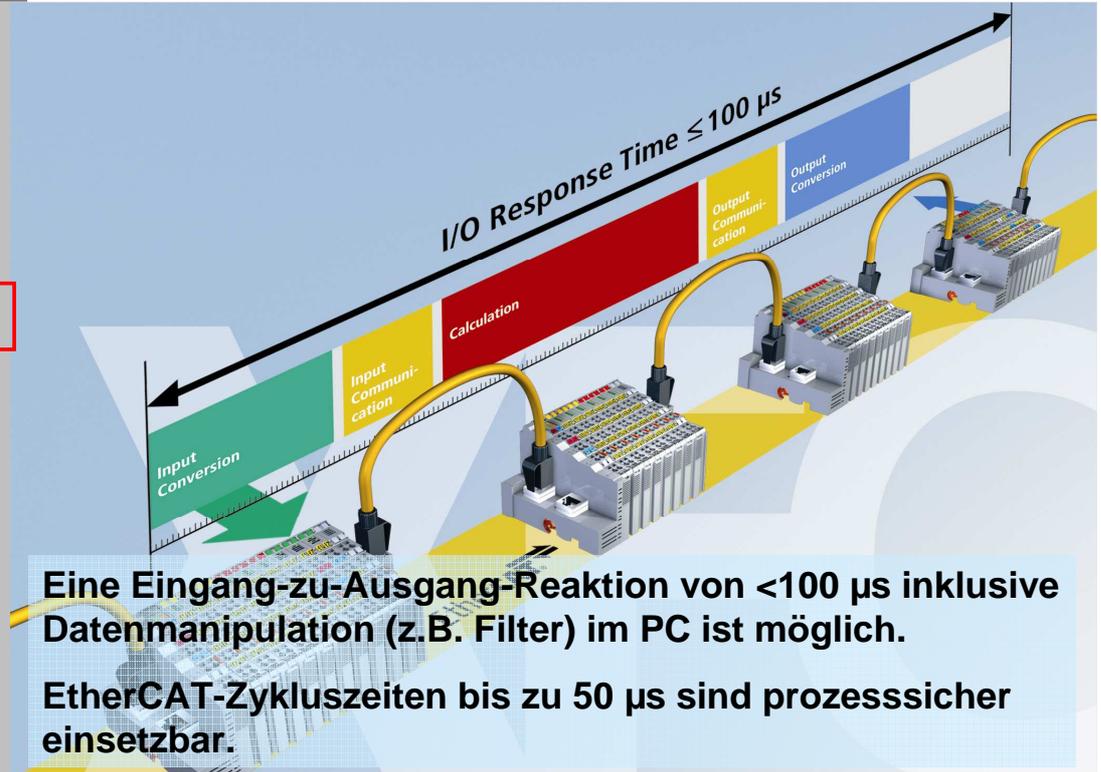
# XFC - eXtreme Fast Control Technology

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis



# Optimierte Steuerungs- und Kommunikations-Architektur für höchste Performance

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis

## Fundament für XFC

- die Software - TwinCAT
- der Feldbus - EtherCAT
- die Steuerung - Industrie PC



## Optimierte Steuerungs- und Kommunikations-Architektur für höchste Performance

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis

### TwinCAT The eXtreme fast real-time Control Software



- Echtzeit mit MS Windows  
Zykluszeiten von bis zu 50µs
- Standard IEC61131 Programmierung  
in XFC Echtzeit tasks
- Standard Eigenschaften von Windows  
und TwinCAT sind XFC konform

## Optimierte Steuerungs- und Kommunikations-Architektur für höchste Performance

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis

### EtherCAT The Extreme Fast Control Communication Technology



- 1000 verteilte digitale I/O's in 30µs
- EtherCAT direkt bis zur Klemme, kein Sub-Bus
- Optimierte Nutzung von Standard Ethernet Controllern,  
wie z. B. Intel PC Chipsatz Architektur
- Erweiterte Echtzeit Eigenschaften basierend auf den Distributed Clocks:
  - Synchronisation, Time Stamping, Oversampling

# Optimierte Steuerungs- und Kommunikations-Architektur für höchste Performance

Beckhoff

## IPC The Extreme Fast Control CPU



I/O-Klemmen

XFC

- Industrie-PC's basierend auf leistungsstarken und echtzeitfähigen Motherboards
- Kompakte Bauform optimiert für Steuerungsapplikationen

XFC - Praxis

# Schnelle Reaktion gefordert ? Schnelle I/O Klemmen <1µs Ton/Toff

Beckhoff

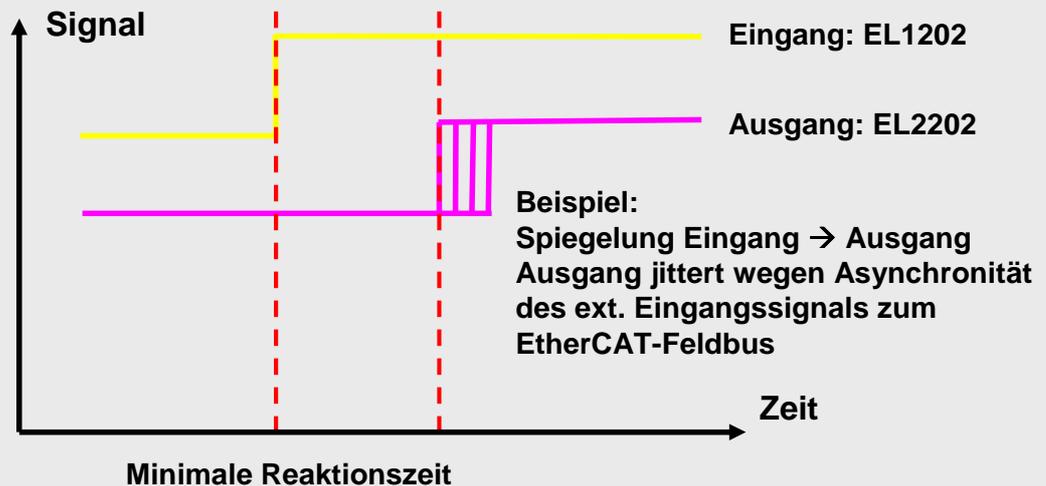
Um XFC angemessen zu nutzen, wurden Klemmen mit entsprechend schneller Hardware entwickelt  
→ die Familie der EL12xx und EL22xx

I/O-Klemmen

EL1202: schnelle Eingänge für steilflankige Signale

EL2202; schnelle Ausgänge mit Push/Pull-Endstufe

XFC



XFC - Praxis

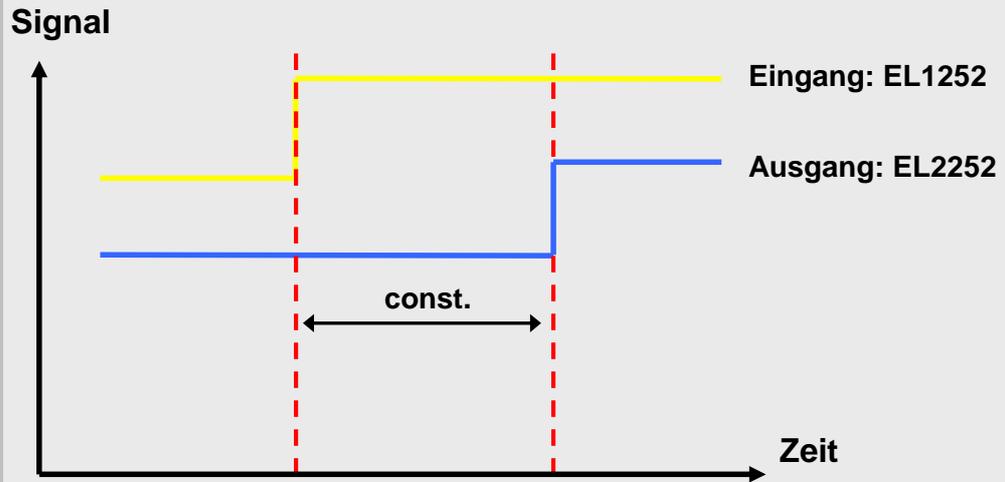
## Exakte Zeitauflösung oder zeitäquidistante Reaktion erforderlich – Time Stamp Klemmen

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis



Exakte Reaktionszeit

der Ausweg: Timestamp-Klemmen

Spiegelung Eingang → Ausgang

Ausgang kommt hochkonstant nach dem Eingang, trotz Asynchronität des ext. Eingangssignals zum EtherCAT-Feldbus

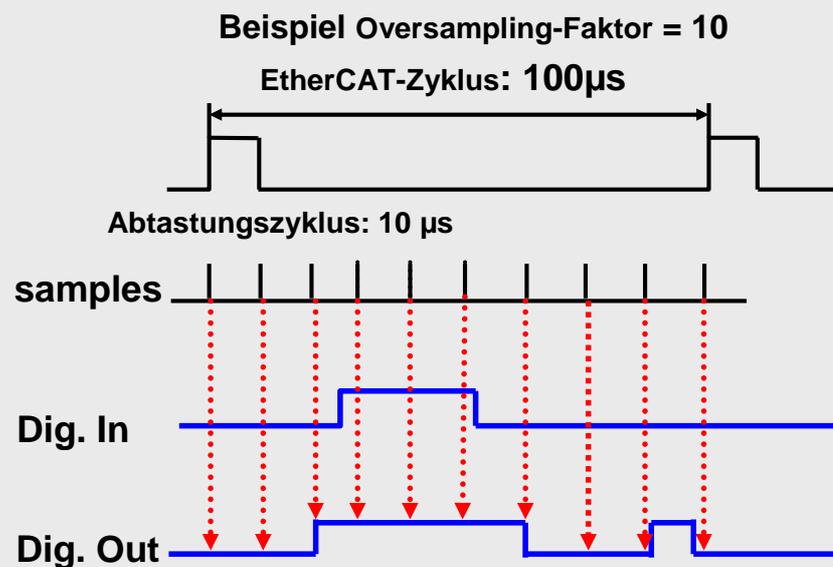
## Schnelle Signalabtastung / Abtastung kurzer Impulse - Oversampling Klemmen

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis



Klemmen: EL1262 / EL2262 / EL37xx / EL47xx

# Schnelle Signalabtastung / Analogwerterfassung - Oversampling Klemmen

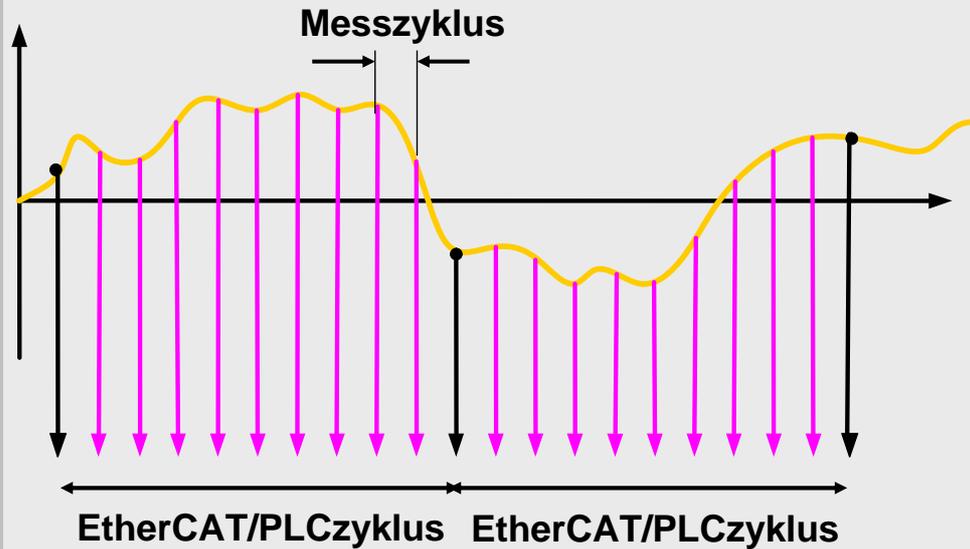
Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis

Oversampling – eXtreme measurements analoger Eingangssignale



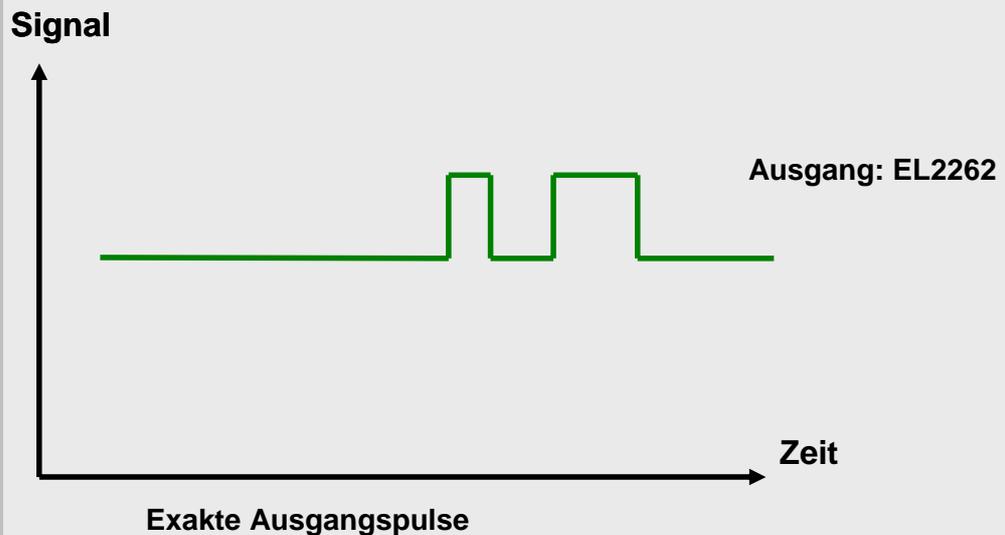
# Ausgabe kurzer Impulse Oversampling Klemmen

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis

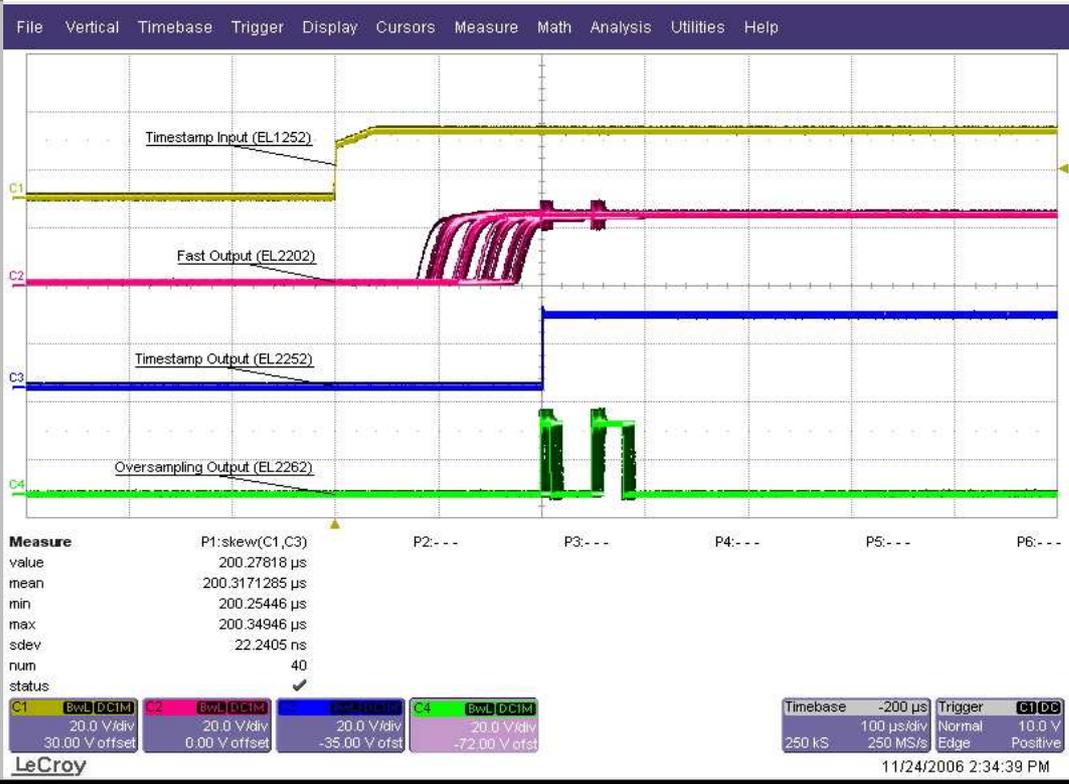


digitaler Oversampling Ausgang:

die EL2262 bekommt einen Satz Prozessdaten, den sie fortlaufend ausgibt, minimal im 1  $\mu$ s Raster (1 MSps)

# XFC Demo – mit dem Oszilloskop betrachtet

- Beckhoff
- I/O-Klemmen
- XFC**
- XFC - Praxis



# XFC – Performance Daten

- Beckhoff
- I/O-Klemmen
- XFC**
- XFC - Praxis

## System Performance

- Zykluszeit: 100 µs (min. 50 µs)
- I/O Reaktionszeit: 85 µs (185 µs)
- **Distributed Clocks**
  - Auflösung: 1 ns
  - Genauigkeit: < 100 ns
- **Signal Oversampling**
  - Abtastrate: z.Z. bis 100 kHz (analog)
  - Zeitauflösung: z.Z. bis 10 µs (analog)
  - Genauigkeit: < 100 ns
- **Time Stamping Auflösung**
  - Auflösung: 10 ns
  - Genauigkeit: < 100 ns

# XFC – verfügbare Klemmen Ende 2007

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis

	Fast	Timestamp	Oversampling
24V digital Input	EL1202	EL1252	EL1262
24V/2A digital Output	EL2202	EL2252	EL2262
+/-10 V analog Input	EL310x		EL3702
0..20 mA analog Input	EL311x		EL3742
+/-10 V analog Output	EL413x		EL4732
0..20 mA analog Output	EL411x		EL4702

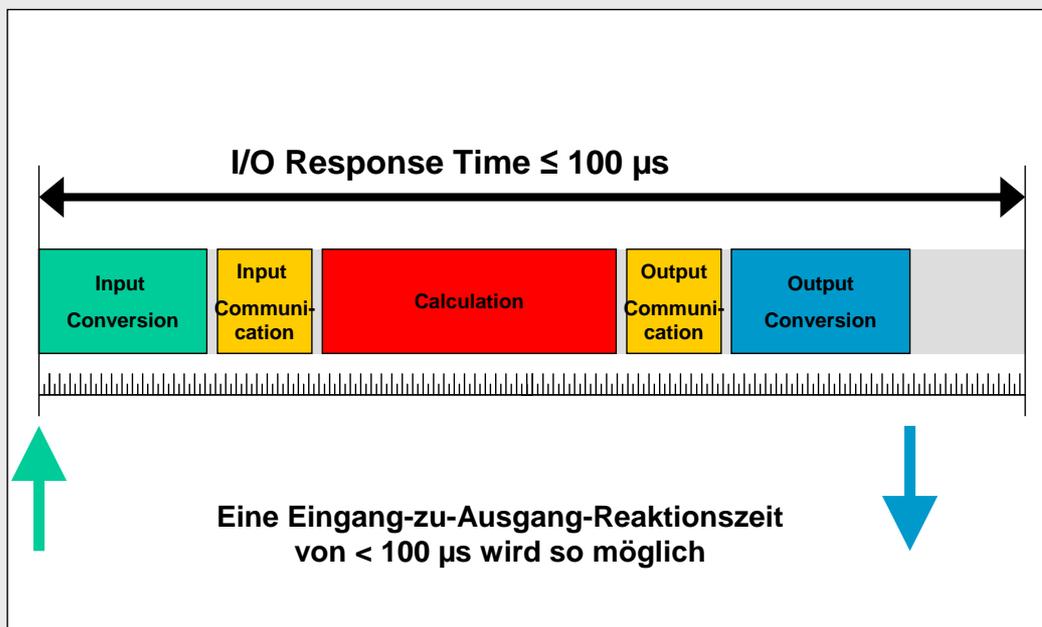
# I/O Response Time < 100µs

Beckhoff

I/O-Klemmen

XFC

XFC - Praxis



# Injection Hold Pressure Control

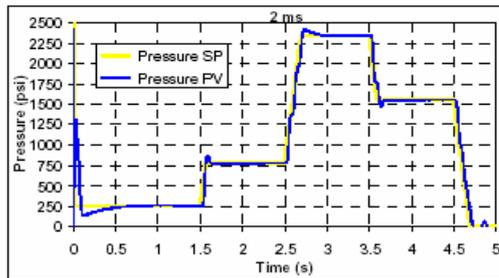
Beckhoff

I/O-Klemmen

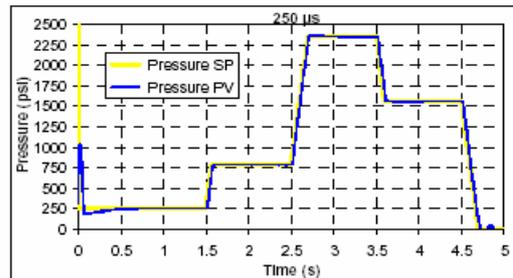
XFC

XFC - Praxis

2 ms control cycle



250 µs control cycle

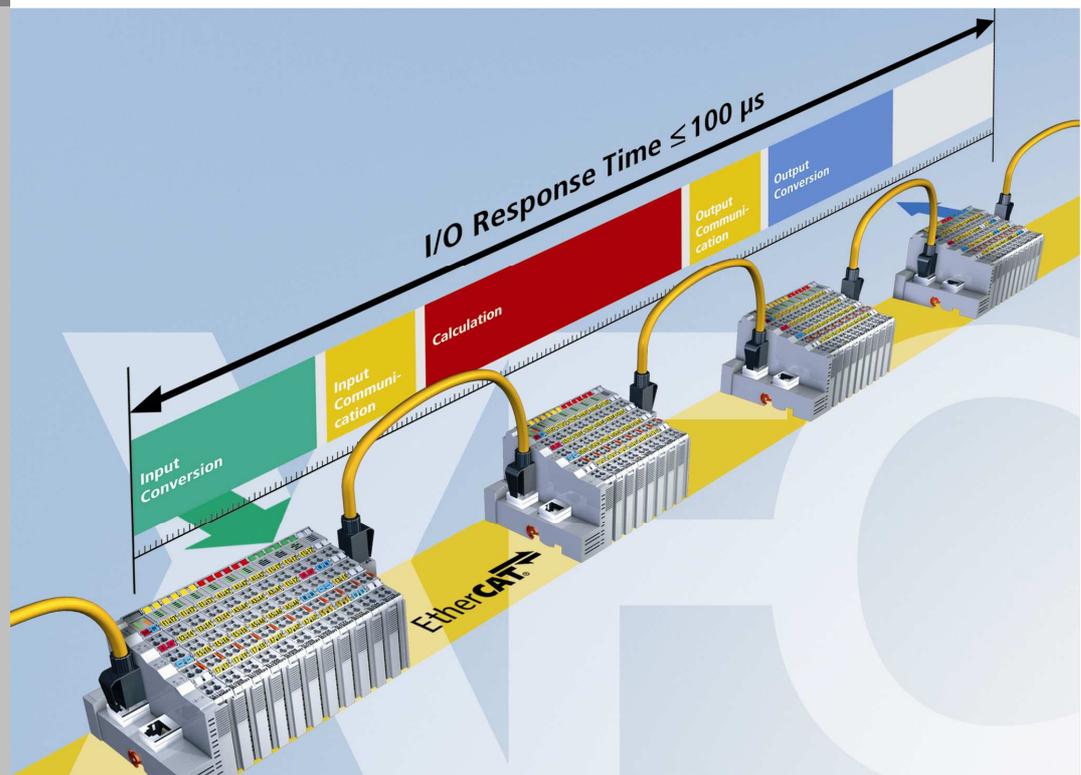


Anwendungsbeispiel XFC:

optimale Regelung eines Einspritzvorgangs  
in einer Spritzgussmaschine  
durch Oversampling-Messung von Druckverläufen  
bei stark reduzierter EtherCAT-Zykluszeit

# XFC - eXtreme Fast Control Technology

Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit



# Statistische Analysen mit Oszilloskopen

LeCroy Europe GmbH  
Frank Klapper

## Inhalt dieses Vortrages

- 1. Signalerfassung, worauf müssen Sie achten
- 2. Messen mit Parametern
- 3. Histogramme
- 4. Beispiele

## Regel #1

Quantisierungsfehler minimieren

## Regel #2

mindestens eine Periode des langsamsten Ereignisses erfassen

## Regel #3

auf Aliasing achten

## Regel #4

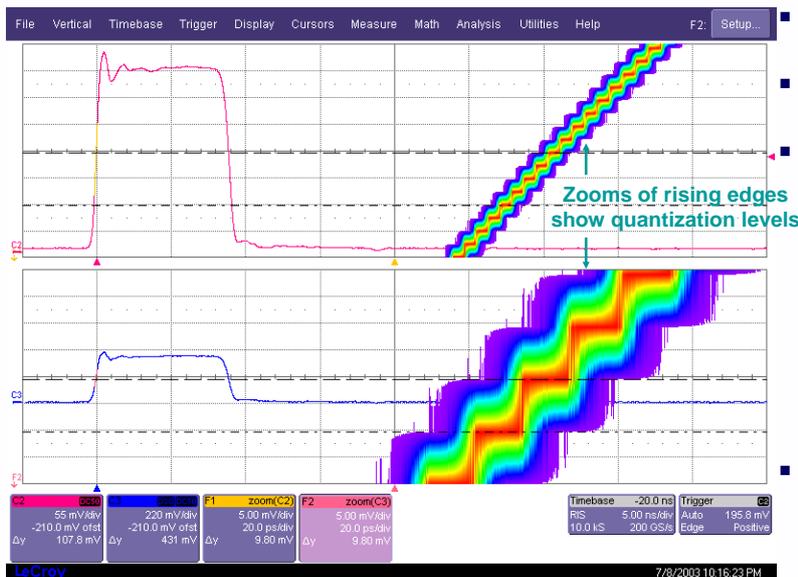
Geeignete Erfassungsarten und Berechnungsmethoden benutzen

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

3

# Quantisierungsfehler



- Ein 8-bit ADC besitzt 256 Quantisierungsstufen
- Nur ein Full-Scale Signal nutzt den vollen Bereich des ADC
- Skaliert man das Signal kleiner als den Full-Scale vergrößert man die Quantisierungsstufen und verringert die Genauigkeit
  - Full Scale = 8-bit Auflösung
  - ½ Scale = 7-bit Auflösung
  - ¼ Scale = 6-bit Auflösung
  - Ungenauigkeit =  $V_{full\ scale} / 2^n$ , wobei n = Anzahl der bits
- Eine variable Verstärkung kann benutzt werden um den ADC bestmöglich auszunutzen

*4x attenuation of lower signal produces 4x larger quantization steps = 2 bits less resolution!*

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

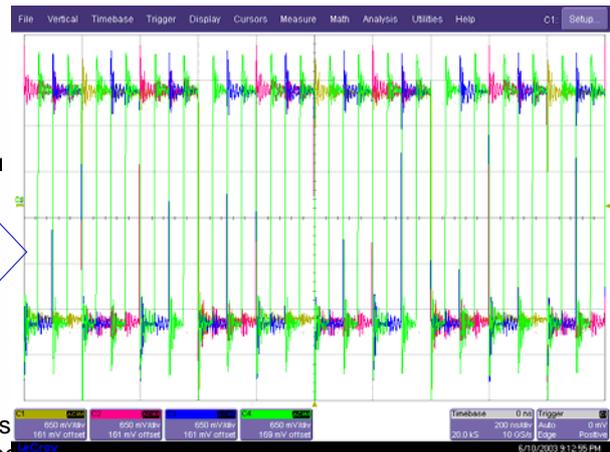
4

# Einige Oszilloskope lassen Ihnen die Wahl...



Jedes Signal benutzt  $\frac{1}{4}$  des Fullscale, dadurch reduziert sich die vertikale Auflösung auf 6 bits, aber es können alle Kurven übersichtlich angezeigt werden

Skaliert man die Signale passend zum Fullscreen, sodass 8-bit Auflösung genutzt wird ist es nicht möglich jede Kurve separat zu betrachten



Timing Mes-  
statistische Analysen

Bochum den 25.  
September 2007

# Multi-Grid – keine Kompromisse



- Multi-Grid Darstellung ermöglicht unabhängige Darstellung und Nutzung des Fullscale für jede Kurve
- Keine Kompromisse zwischen Anzeige und vertikaler Auflösung
- Benutzer können zwischen 1, 2, 4, or 8 Rastern auswählen
- Beliebig viele Kurven können in jedem Raster dargestellt werden

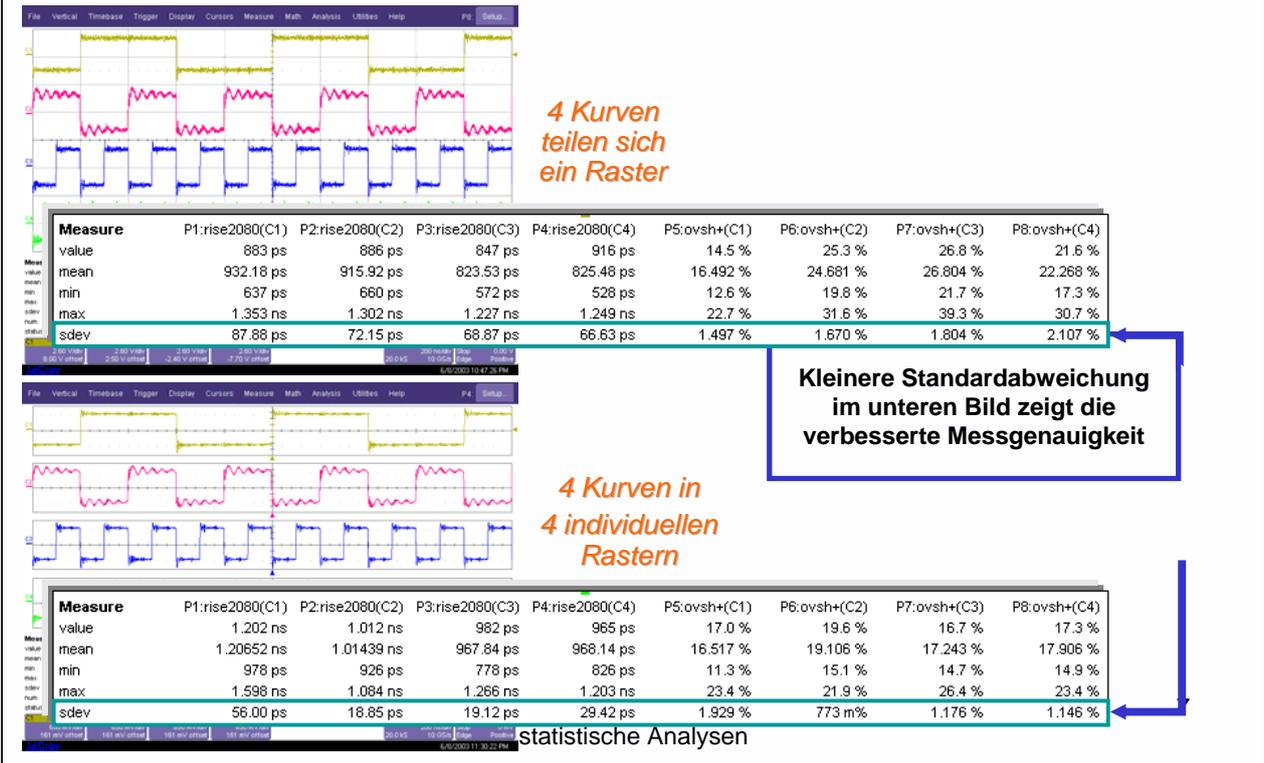
*Multi-Grid Darstellung ermöglicht volle 8-bit Auflösung für jeden Eingang und stellt diese Übersichtlich dar*

Bochum den 25.  
September 2007

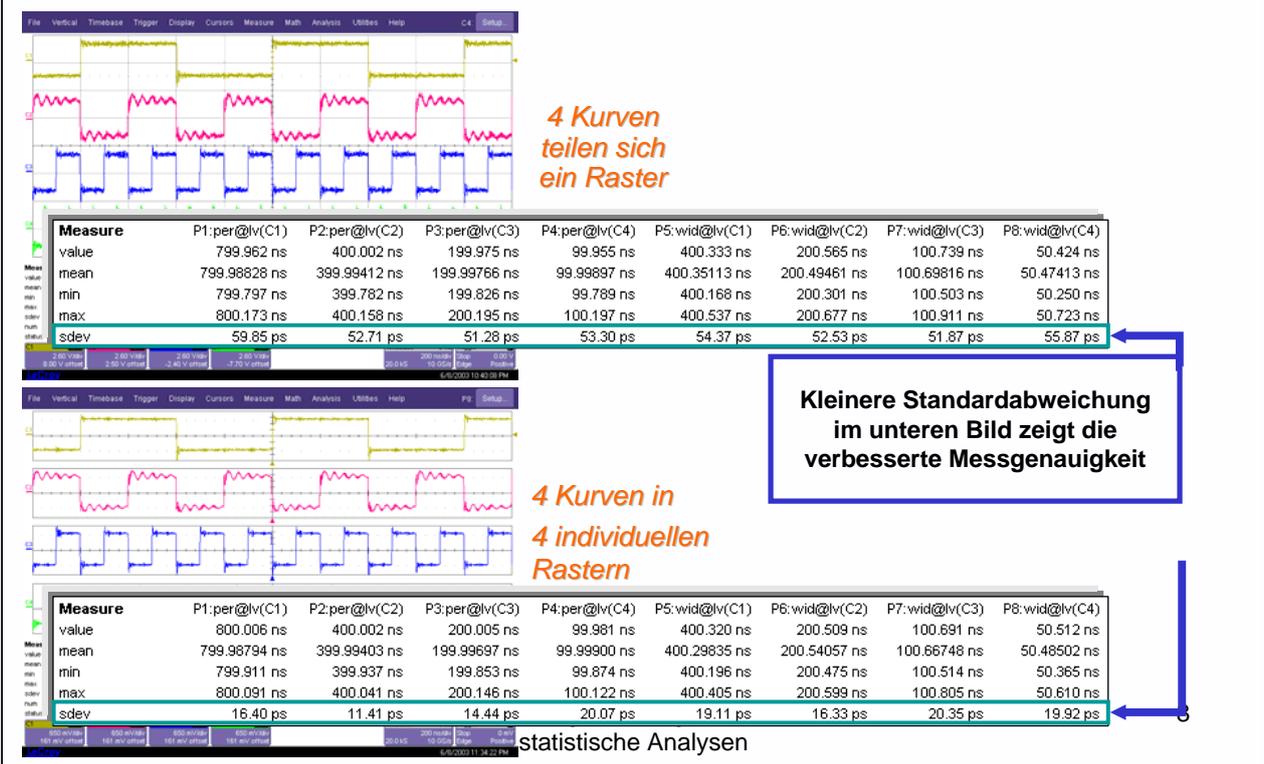
Timing Messungen und  
statistische Analysen

6

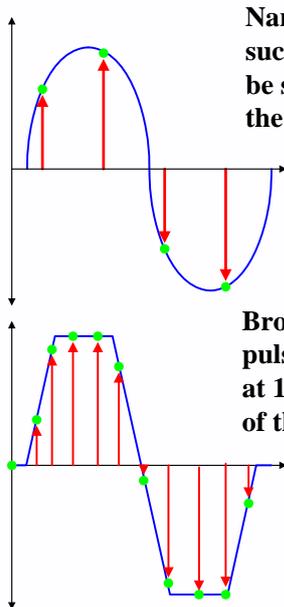
# Multi-Grid verbessert Messgenauigkeit !!!



# Multi-Grid verbessert Zeitgenauigkeit



# Sampling Basics



**Narrowband waveforms such as sine waves should be sampled at 4 times the signal frequency**

**Broadband signals like pulses need to be sampled at 10 times the frequency of the waveform**

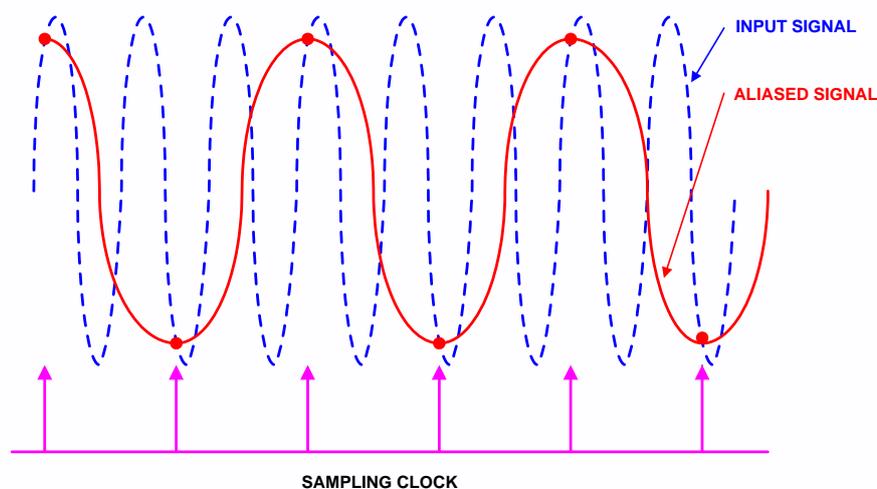
- Analog signals that are sampled at greater than two times the highest frequency contained within the signal can be reconstructed with no loss of information
- This ratio is called the Nyquist Limit
- This means that the highest frequency that can be present in a digitized waveform is one half the sample rate – this is the theoretical digital bandwidth of the waveform
- More practical limits are 1/4 to 1/10th of the sampling rate, depending on the nature of the waveform
- Oversampling never hurts waveform fidelity – more points are always better!

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

9

# Sampling Too Slowly Causes Aliasing



- If a signal is sampled at less than 2 times per cycle the DSO interprets the data as having a lower frequency. The resulting waveform is called an alias.
- The frequency of the alias is the difference frequency between the input signal and the sampling frequency or one of its harmonics
- The aliased signal will appear to be poorly triggered and move horizontally

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

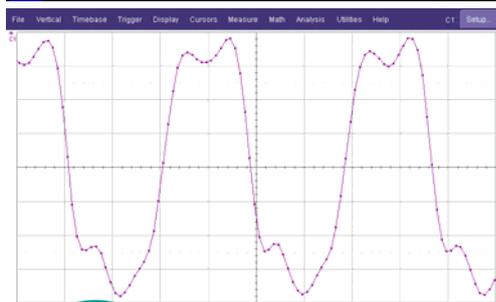
10

# Which measurement is correct?



*Clock  
Sampled at  
250 MS/s*

Measured Frequency  
= 28.049 MHz



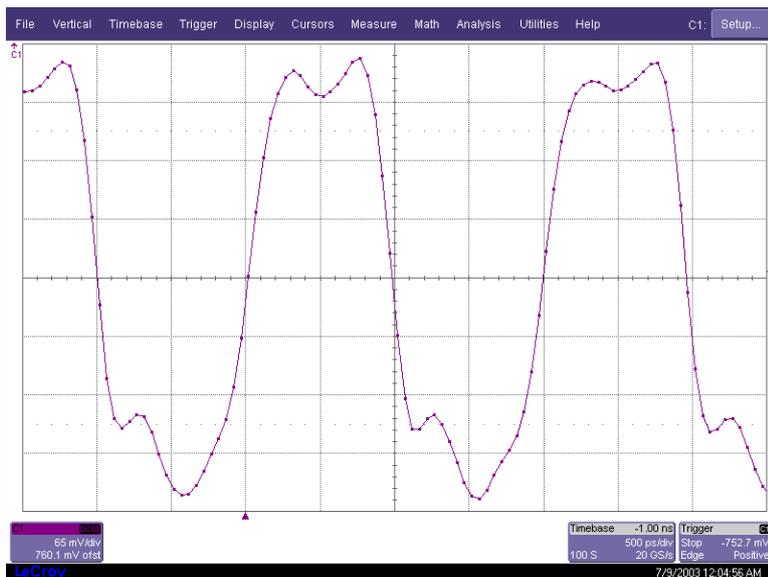
*Clock  
Sampled at  
20 GS/s*

Measured Frequency  
= 527.9 MHz

- The two waveforms look identical, but the measured frequencies are very different
- Clues to identify aliased waveform
  - Top waveform is not properly aligned with the trigger point
  - Frequency measured in top trace is approximately the frequency of the bottom trace less two times the sampling frequency
- Lesson: Always keep an eye on the sampling rate!

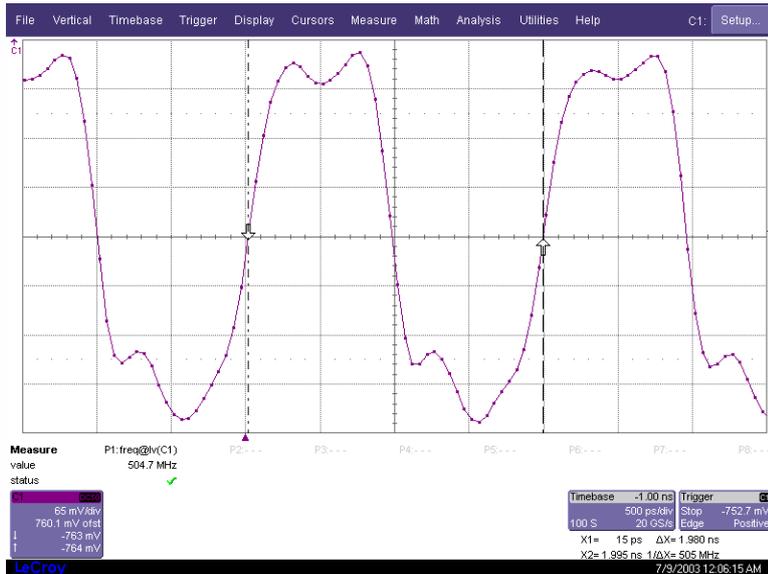
Timing Messungen und  
statistische Analysen

# Ich habe das Signal.... Was nun?



Nachdem das Signal korrekt erfasst wurde bietet ein Digitalspeicher-oscilloskop eine Fülle von Hilfsmitteln zur Analyse.

# Messungen mit Parametern



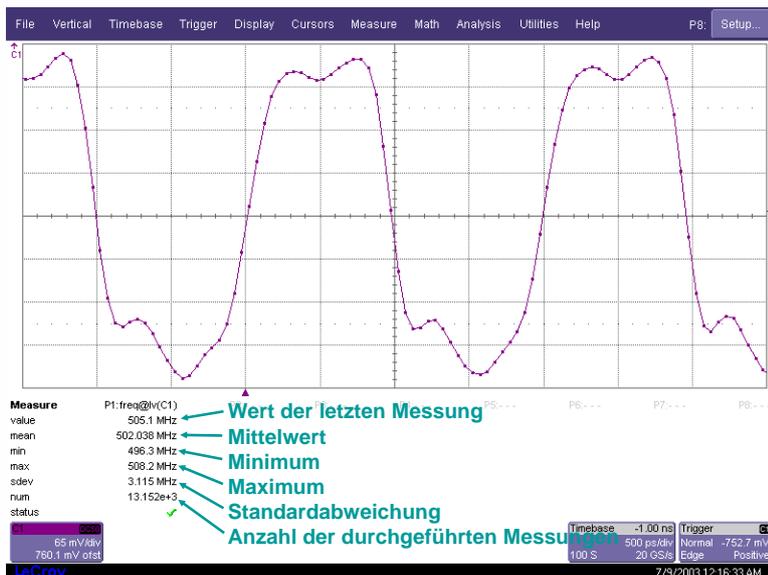
- Bis zu acht Parameter können gleichzeitig angezeigt und berechnet werden
- Parameter werden jedes mal neu berechnet wenn neue Daten vorliegen, mit jedem Trigger
- Alle möglichen Messwerte werden berechnet und können verwendet werden, Single Shot Statistik
- Vorteile der automatischen Messungen
  - schnell
  - einfach
  - genau
  - Wiederholbar

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

13

# Parameterstatistik

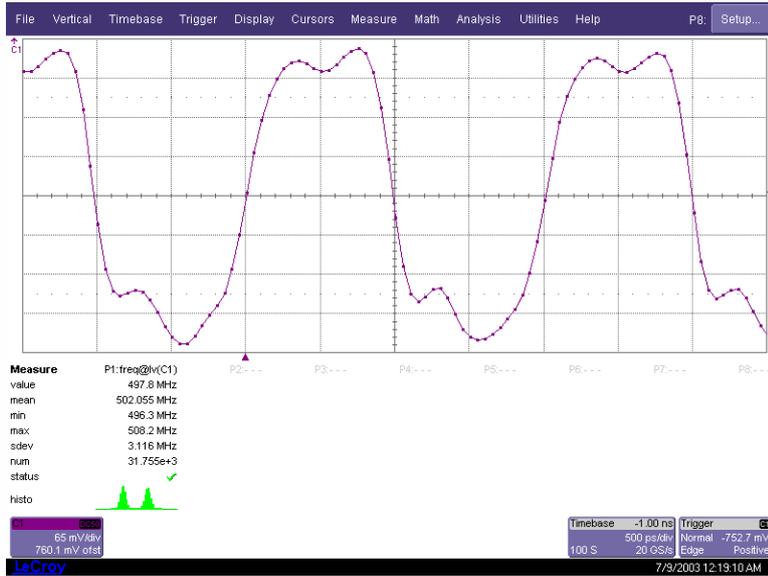


- Messungen werden über alle Ereignisse in der Erfassungskurve durchgeführt
- Möglichkeit Statistik mit einem Trigger über Millionen von Ereignissen durchzuführen
- Einfache Detektion von abnormalen Tiefstwerten oder Höchstwerten
- Anzeige beinhaltet keine Information über die Verteilung oder der Periodizität der gemessenen Werte

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

14



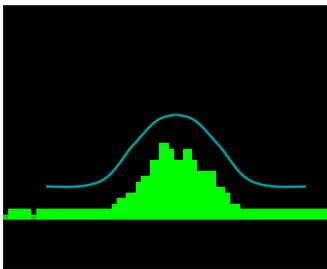
- Individuelles “Histogram Icon” kann für jeden Parameter angezeigt werden
- Histicons geben die statistische Verteilung der gemessenen Werte wieder.
- Die Form des Histogramms kann Anhaltspunkte für das Verhalten des Schaltkreises liefern

Bochum den 25.  
September 2007

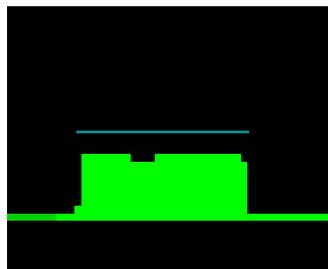
Timing Messungen und  
statistische Analysen

15

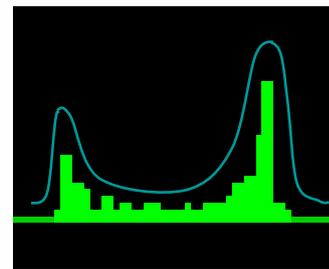
## Histicon Shapes Identify Signal Modulation Characteristics



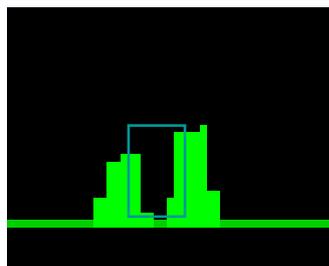
*Gaussian*



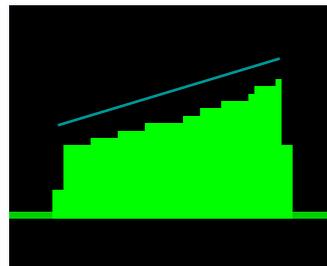
*Uniform*



*Sinusoidal*



*Bi-modal*



*Linear*

Bochum den 25.  
September 2007

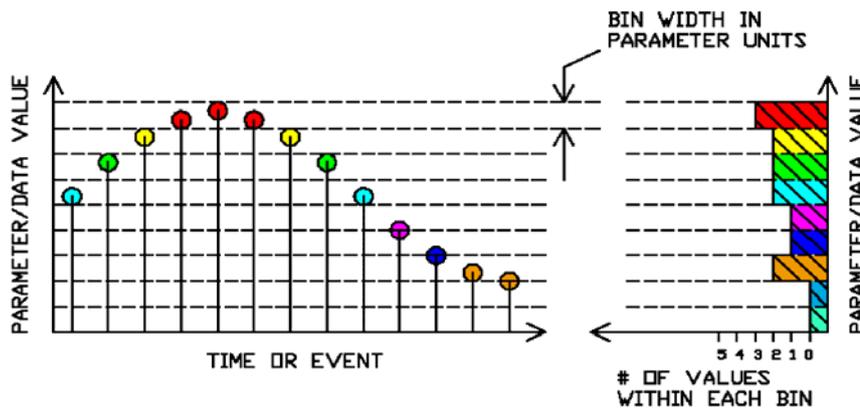
Timing Messungen und  
statistische Analysen

16

# Wofür werden Histogramme verwendet?

- Charakterisierung von Produkten oder Prozessen durch Ermittlung der Spezifikationen basierend auf statistischer analyse von Messdaten
- Nachweis von Produktqualität und Eigenschaften durch Darstellung der Verteilung von sehr vielen Messdaten
- Erkennung und Diagnose von Fehlern oder Problemen
- Jitter Messungen
- Erkennung von Entwicklungen in den gemessenen Daten

# Was ist ein Histogramm ?



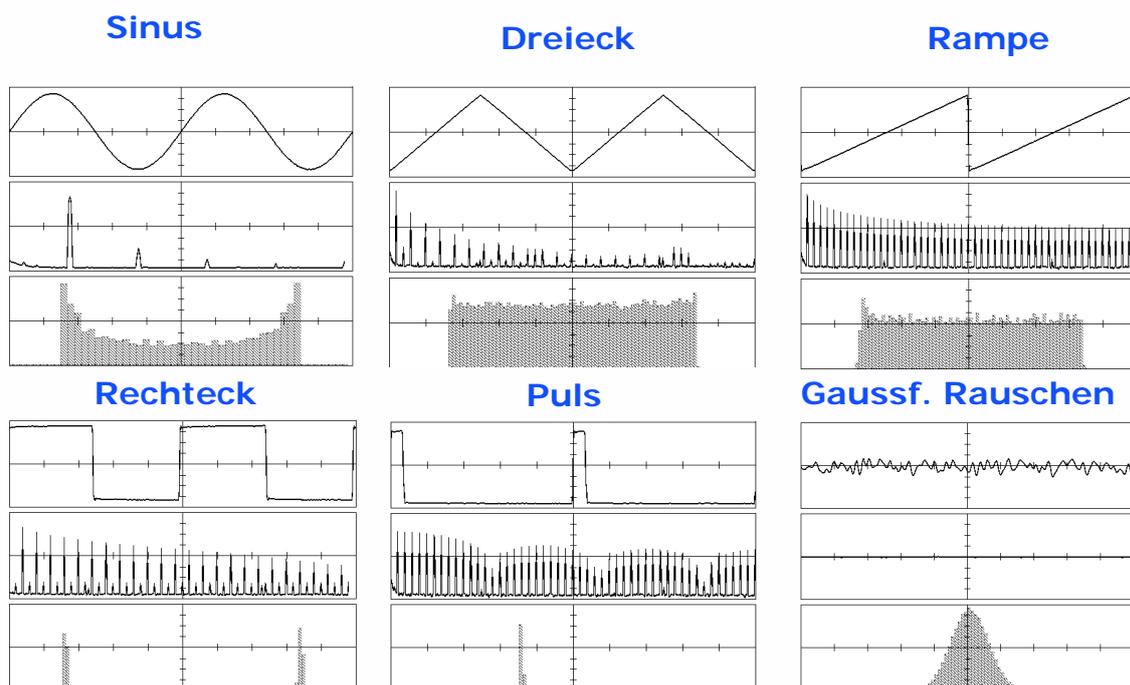
- Die Daten (Messwerte) des Histogramms werden in Unterbereiche unterteilt den Bins
- Das Histogramm zählt die Anzahl der Werte die in jedes Bin fallen und zeichnet den Graphen Häufigkeit pro Bin

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

19

# Histogramm von Kurvenverläufen der Messdaten



Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

20

Haupteigenschaften der Histogramme:

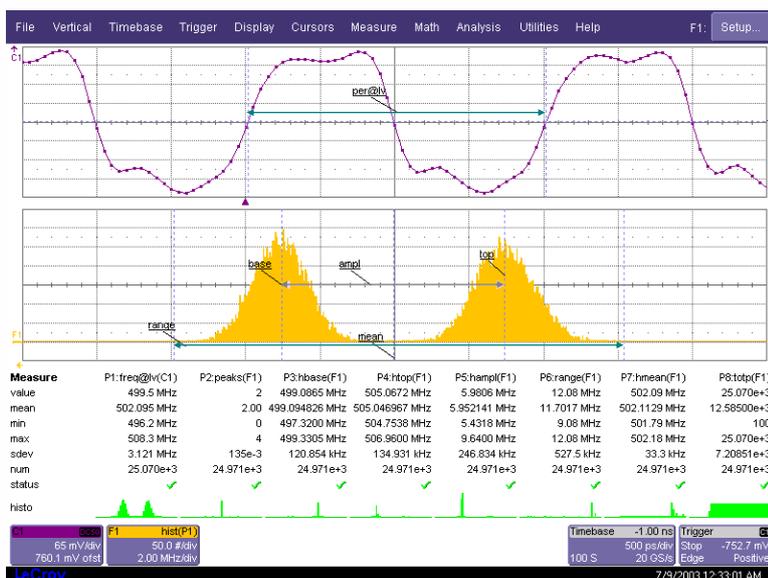
- Histogramme über mehr als 40 verschiedene Parametern / Messfunktionen
- 18 Zusätzliche Statistikparameter zur Analyse von Histogrammen
- Horizontal Auflösung mit bis zu 2000 Bins
- Absolute Häufigkeitsverteilung erfasst bis zu 2,000,000,000 Werten
- Automatische Skalierung und Messbereichsbestimmung

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

21

## Histogram Analysis



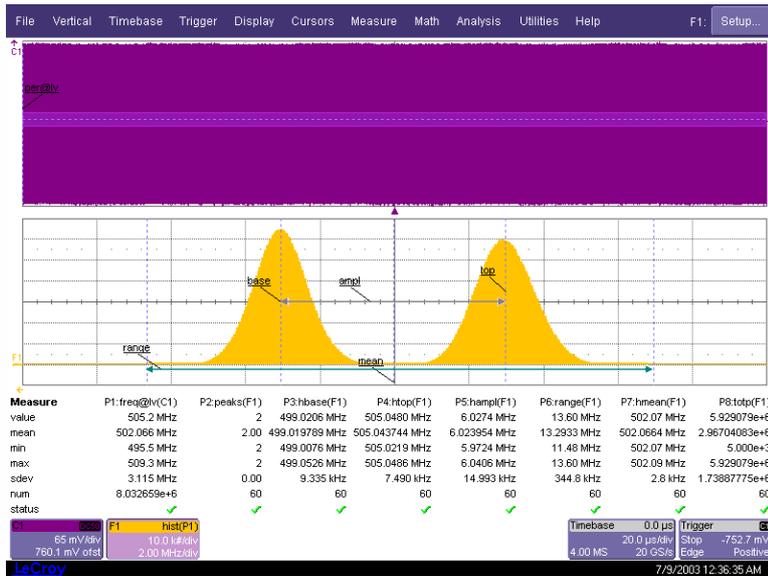
- Anklicken der Histicons erzeugt eine Histogrammfunktion
- 2 Milliarden Messungen können in bis zu 2000 bins dargestellt werden
- Cursor und Messfunktionen können benutzt werden um das Histogramm zu analysieren
- Help Markers verdeutlichen welche Messung durchgeführt werden

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

22

# Tiefer Speicher verbessert die Analyse mit Histogrammen



- Tiefer Speicher ermöglicht die Analyse vieler aufeinander folgender Zyklen
- Erhöht die Wahrscheinlichkeit Anomalien zu erfassen die sich nicht periodisch wiederholen.
- Für eine genaue Statistik wird mindestens eine Speichertiefe benötigt, die man braucht um mindestens einen Zyklus der langsamsten Frequenz zu erfassen.
- Tiefer Speicher erhöht den Datendurchsatz um mehr als das 100 fache!

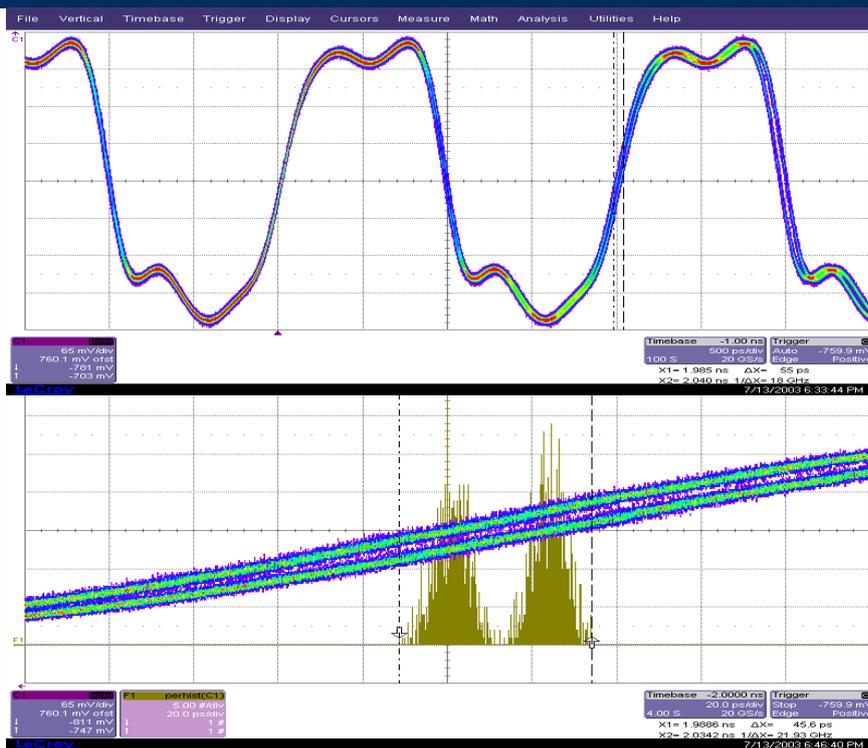
Note smoothness of histogram and equal height of peaks

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

23

# Persistence Histogramm



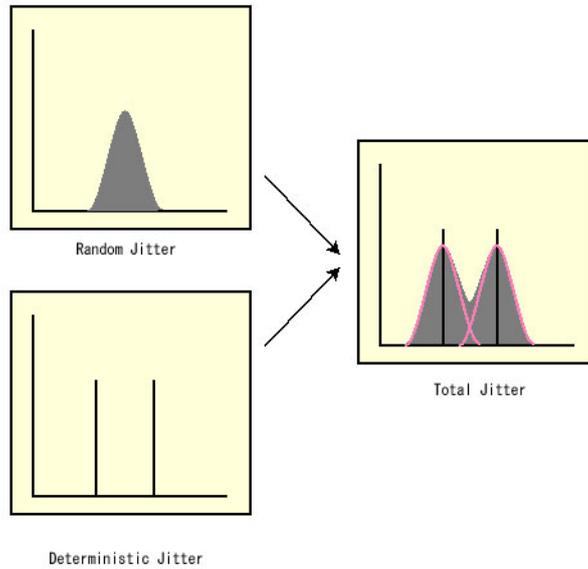
- Persistence Mode may be used to monitor signal behavior over an extended period of time
- Typically, persistence mode is used with delay to monitor jitter over a number of clock cycles
- Histograms can be used to view statistics on transitions through horizontal or vertical slices
- Relatively slow refresh rate limits ability to capture infrequent anomalies
- Persistence trace contains no information that indicates when or why something happened
- Trigger jitter can distort measurements

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

24

# Mischformen - Jitter Analysis



- Tj(Total Jitter) entspricht der Faltung des Rj(Random Jitter) und Dj(Deterministic Jitter).

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

25

# Data in the Q-Scale

Intersection of the white reference lines with the top of the grid represents the deterministic component in time (Effective Dj). Displayed as dotted vertical lines.

Top of scale represents BER = 0.5

Red line shows real data

Rho – fitting coefficient (Quality of model fit)

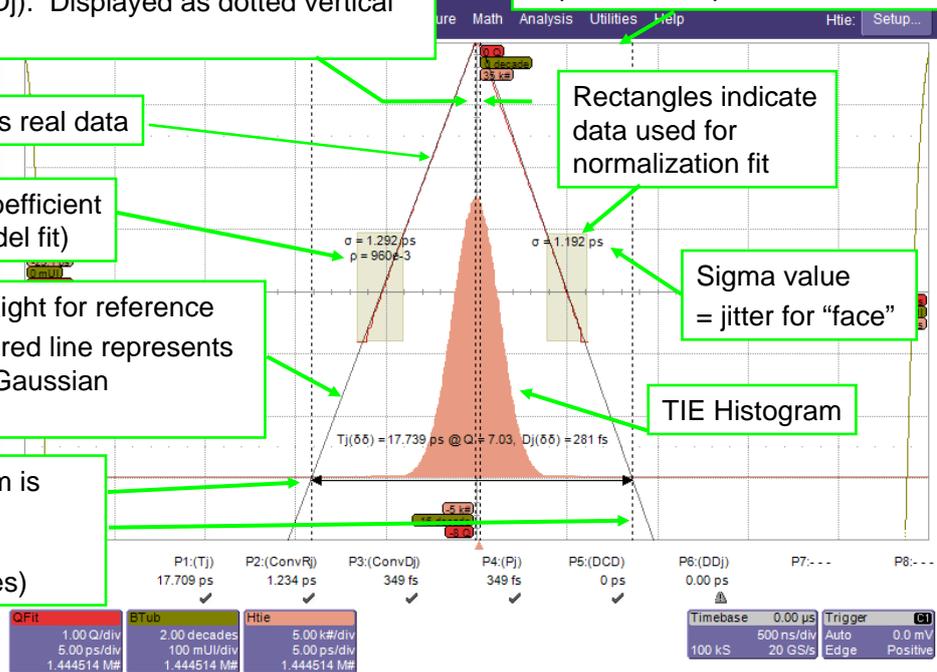
Gray line is straight for reference  
Non-linearity in red line represents deviation from Gaussian distribution

Rectangles indicate data used for normalization fit

Sigma value = jitter for "face"

TIE Histogram

Base of the histogram is total jitter interval at selected BER (shown as dotted lines)

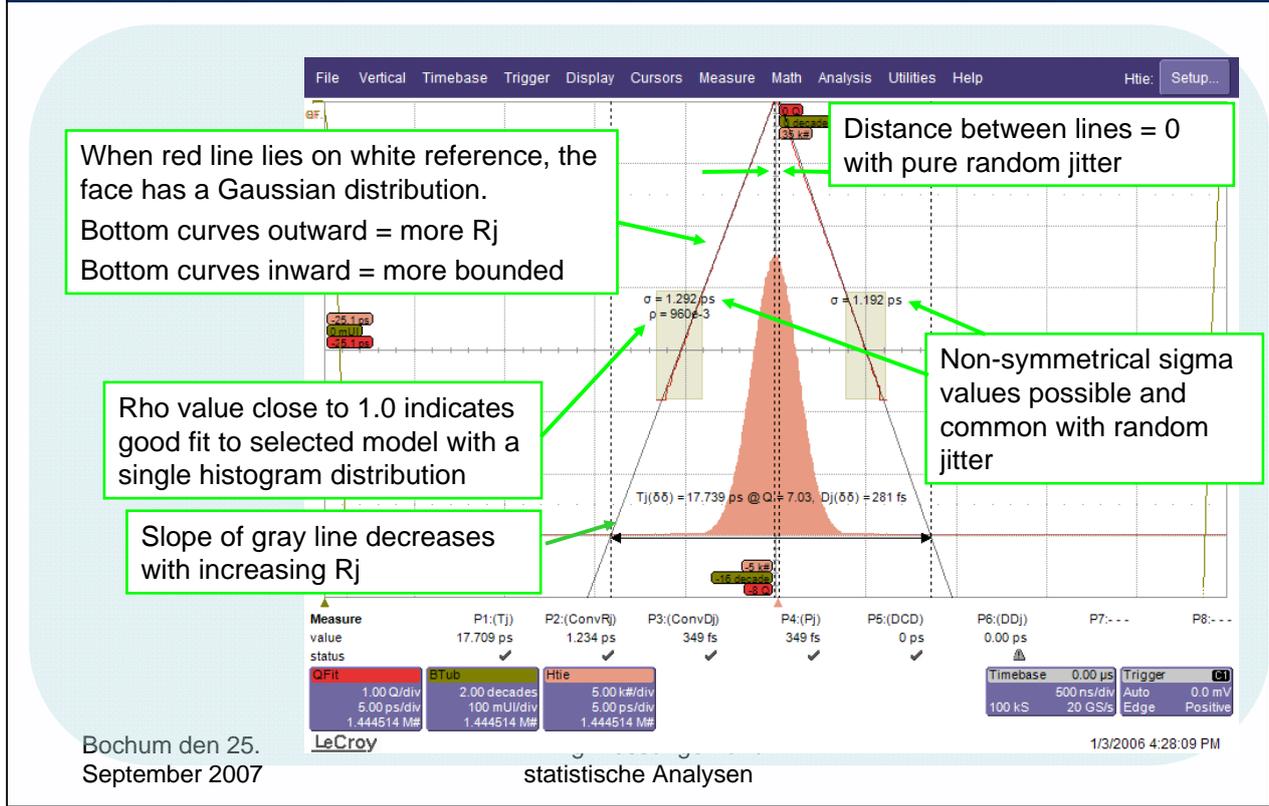


Bochum den 25. September 2007

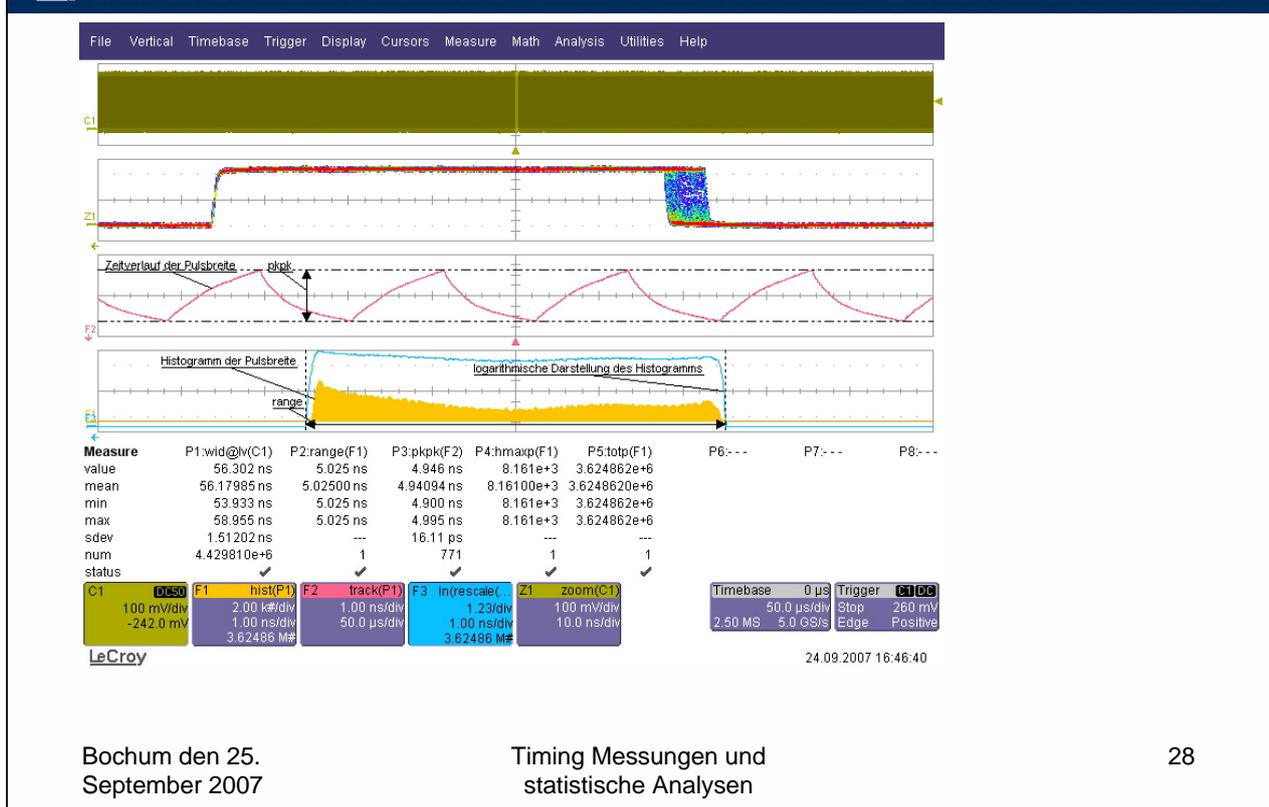
statistische Analysen

1/3/2006 4:28:09 PM

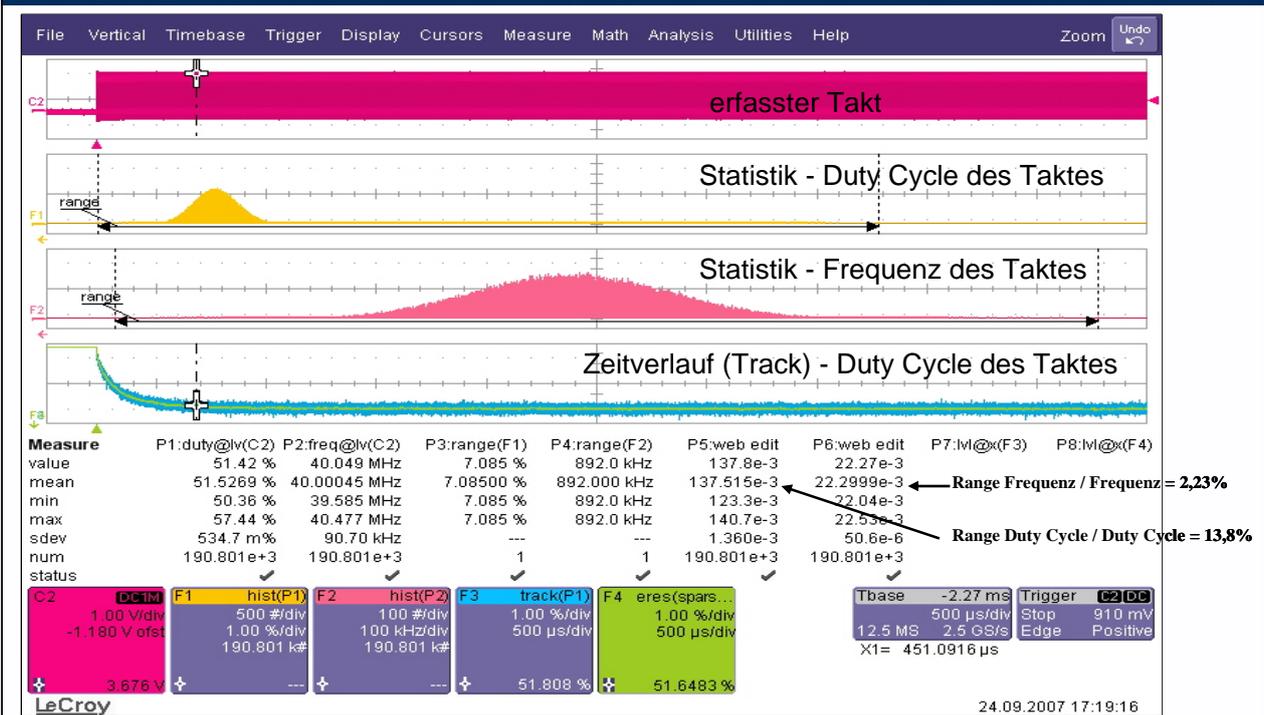
# Interpreting the Q-Scale



# Beispiel 1: PWM Modulation



# Beispiel 2: Einschwingverhalten eines Taktes



Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

29

# Beispiel 3: Anomalien finden



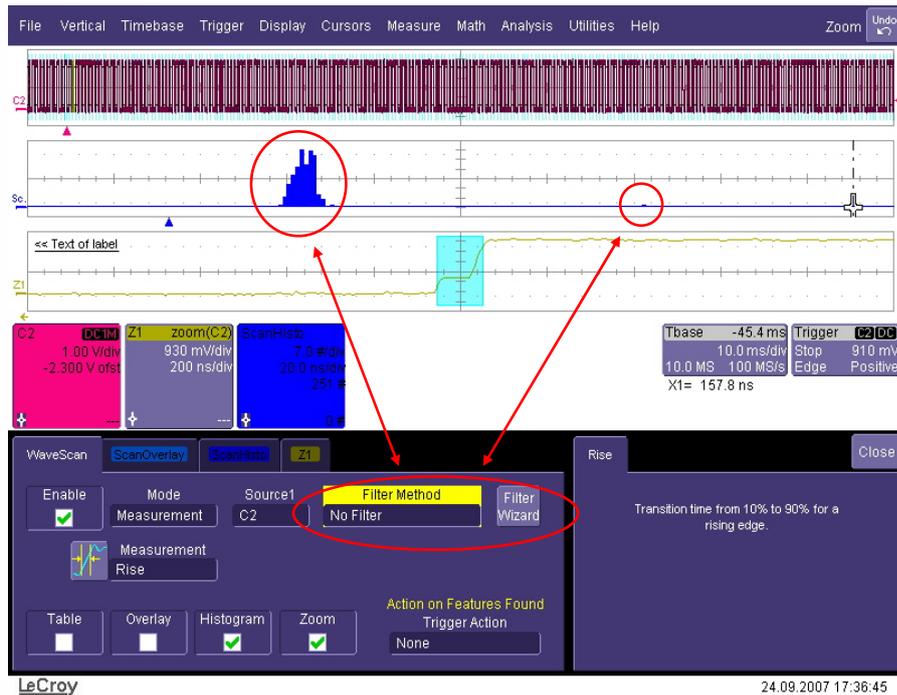
Messung der Anstiegszeit, mit einer Erfassung.

Die Statistik zeigt Anomalien. Diese können leicht mit der WaveScan Funktion gefunden werden

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

30



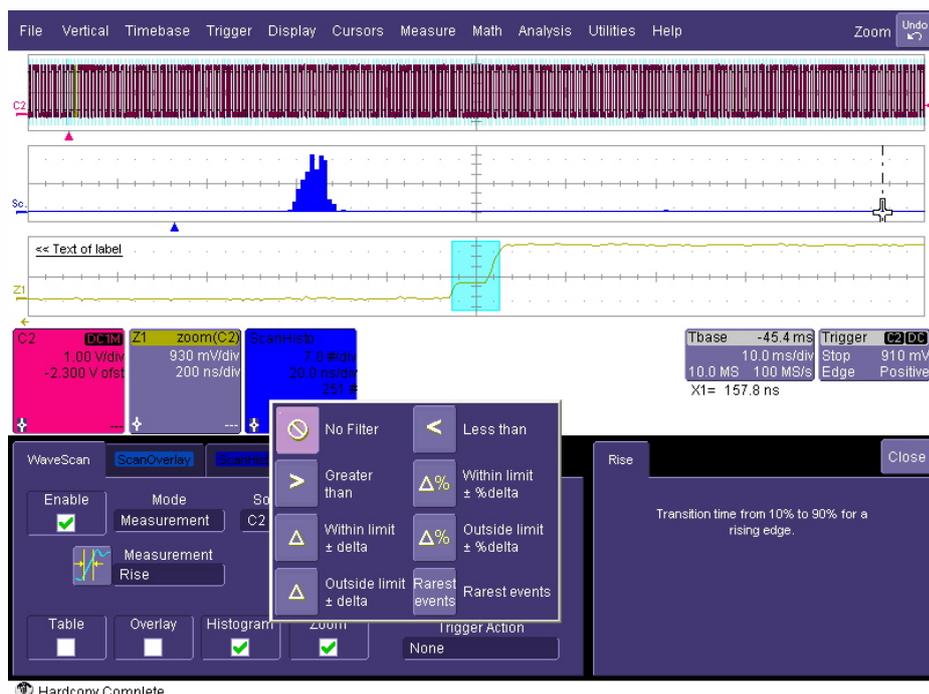
WaveScan ermöglicht gefilterte Messungen.

Hier ohne Filter, alle Messwerte werden in die Statistik übernommen

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

31



WaveScan ermöglicht gefilterte Messungen.

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

32



Es werden nur noch Anstiegszeiten grösser 70ns gemessen

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

33

# ENDE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Frank Klapper

frank.klapper@lecroy.com

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

34

## ■ Weitere Beispiele für Statistiken

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

35



Frequency is measured  
and plotted for each cycle

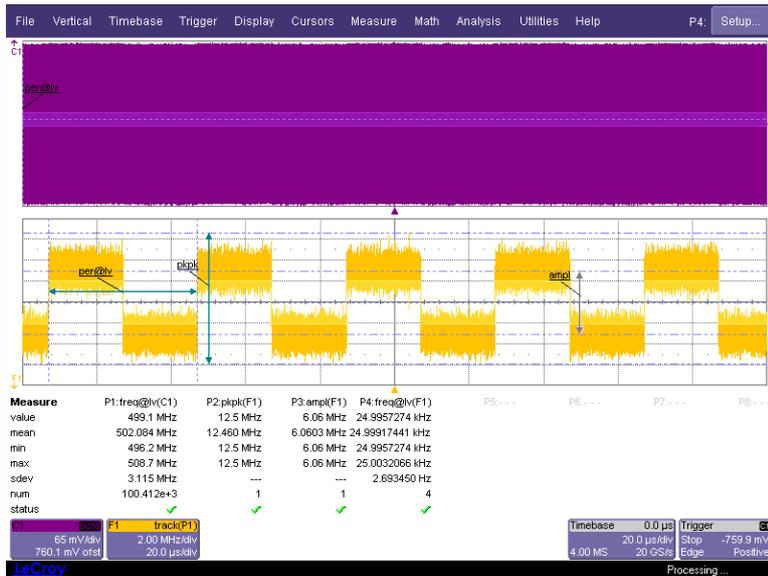
- Histograms reveal statistical distribution of values, but they contain no timing information
- Track View plots the value of a measurement versus time
- Track waveform values are calculated cycle by cycle
- Track waveform is time coincident with source waveform

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

36

# Deep Memory Enhances Track View



- Long capture time reveals periodic nature of frequency shift
- Deep memory prevents aliasing at long timebase setting

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

37

# Math on Math



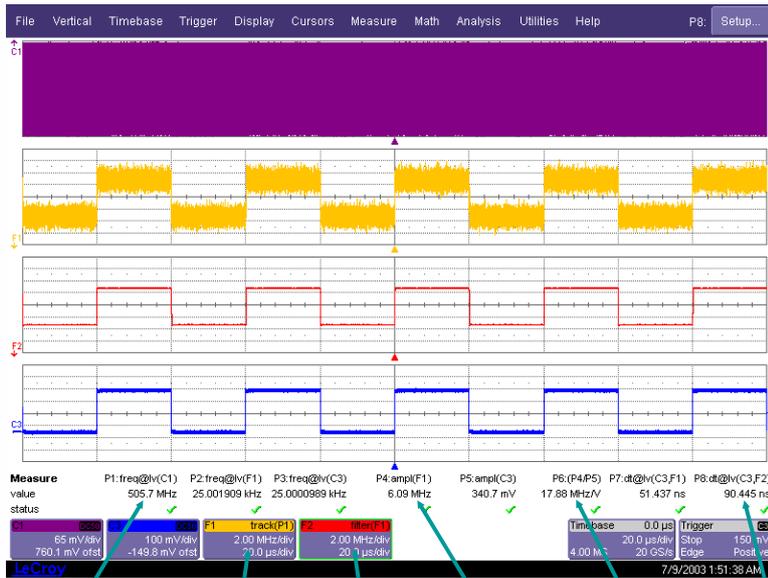
- Math can be performed on any waveform
- Trace 3 implements a Low Pass Filter to remove high frequency noise from Trace 2
- Filtered trace clearly reveals that the clock is being frequency modulated by a 25 kHz square wave

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

38

# Detailed Time Domain Analysis



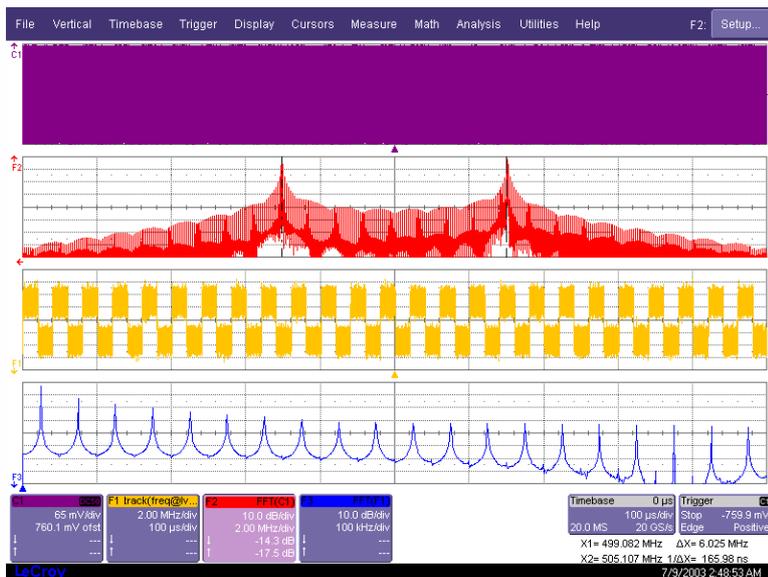
- Track view is a great tool for characterizing
  - Clocks
  - Data streams
  - VCO's
  - PLL's
  - PWM
- Track view assists in locating sources of signal anomalies

Measurement on Channel  
 Math on Measurement  
 Math on Math  
 Measurement on Math  
 Math on Parameters  
 Measurement on Channel and Math

Bochum den 25.  
 September 2007

Timing Messungen und  
 statistische Analysen

# Frequency Domain Analysis

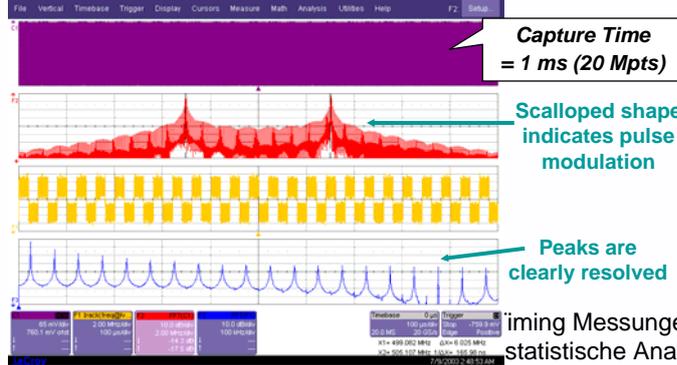
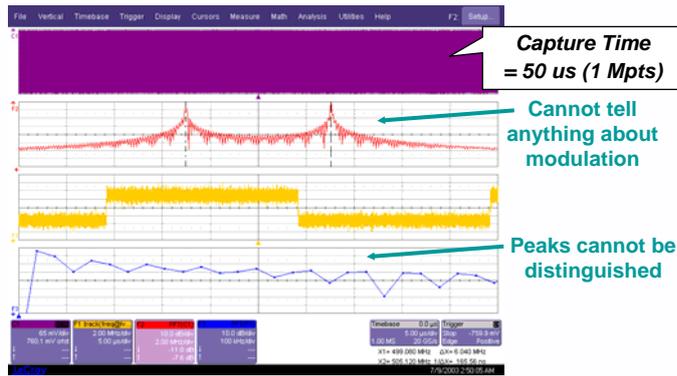


- Fast Fourier Transform (FFT) converts Time Domain waveform to Frequency Domain
- Useful for analyzing complex signals and isolating sources of interference
- Dual peaks in FFT confirm bi-modal behavior of clock
- FFT of Frequency Track shows frequency content of modulation source

Bochum den 25.  
 September 2007

Timing Messungen und  
 statistische Analysen

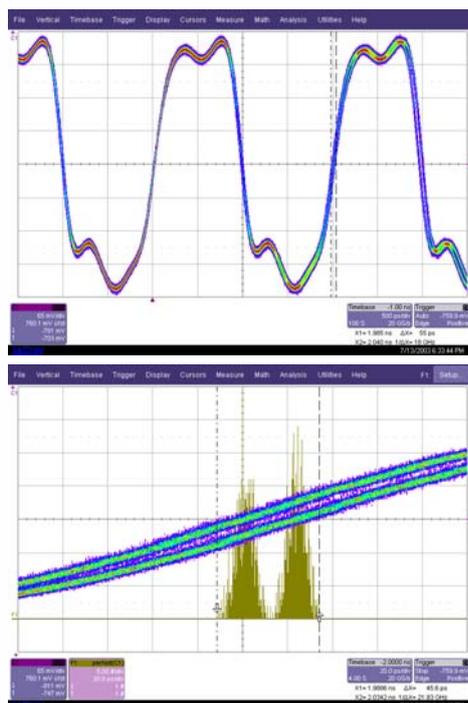
# Deep Memory Yields Better FFT's



- Deep memory increases frequency resolution and improves signal to noise ratio
- Note the superior detail in the FFT's calculated from 20 Mpt records
- Caution: FFT calculations on long waveforms are processor intensive and can bring some scopes to their knees!

Timing Messungen und statistische Analysen

# Persistence

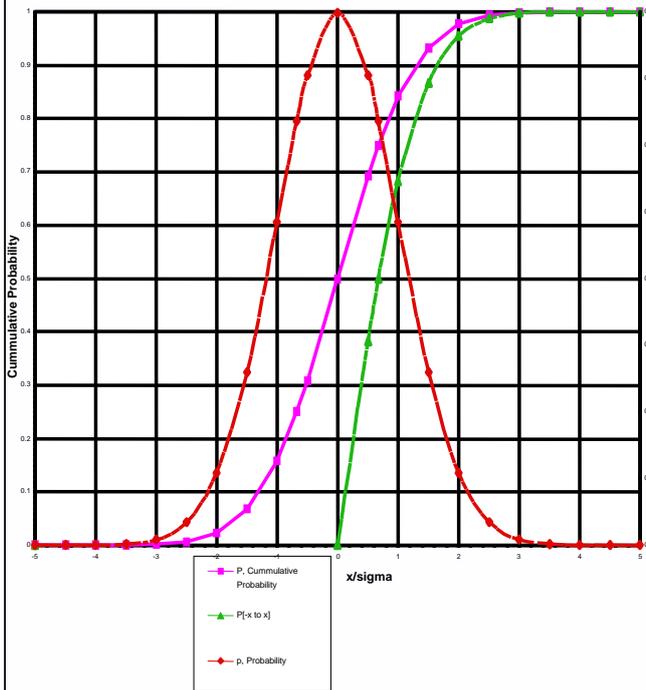


- Persistence Mode may be used to monitor signal behavior over an extended period of time
- Typically, persistence mode is used with delay to monitor jitter over a number of clock cycles
- Histograms can be used to view statistics on transitions through horizontal or vertical slices
- Relatively slow refresh rate limits ability to capture infrequent anomalies
- Persistence trace contains no information that indicates when or why something happened
- Trigger jitter can distort measurements

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

# The Gaussian Or Normal Distribution



The standard deviation,  $\sigma$ , is a measure of the dispersion of the data about the mean value

Range	Probability Falls Within This Range
-------	-------------------------------------

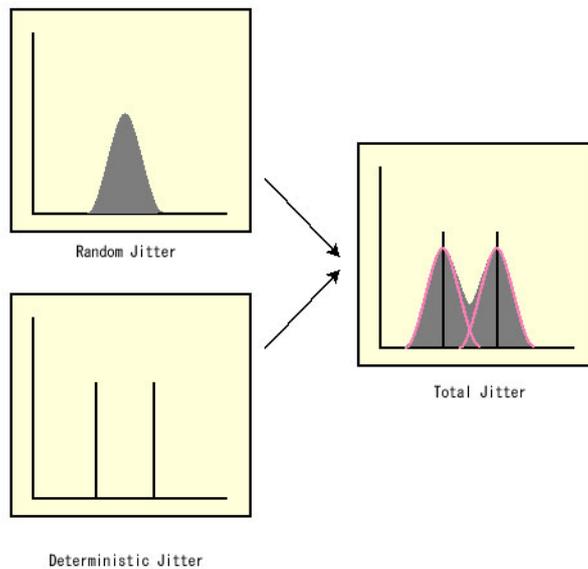
$\pm 1 \sigma$	68%
$\pm 2 \sigma$	95.4%
$\pm 3 \sigma$	99.7%
$\pm 4 \sigma$	99.99%

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

43

# Jitter Analysis



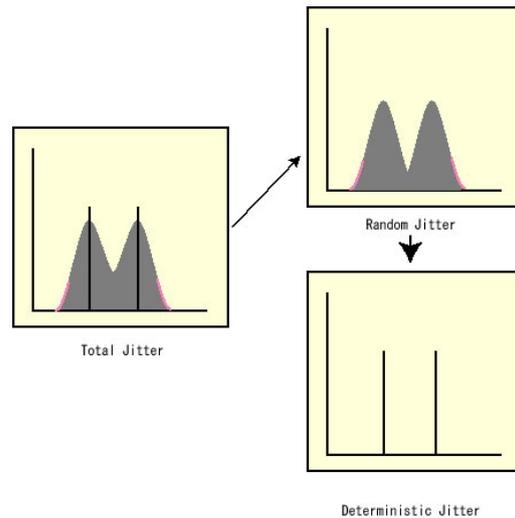
- $T_j$ (Total Jitter) is convolution of  $R_j$ (Random Jitter) and  $D_j$ (Deterministic Jitter).

Bochum den 25. September 2007

Timing Messungen und statistische Analysen

44

## Jitter Analysis Separation of Dj & Rj - >Wavecrest's Tail Fit



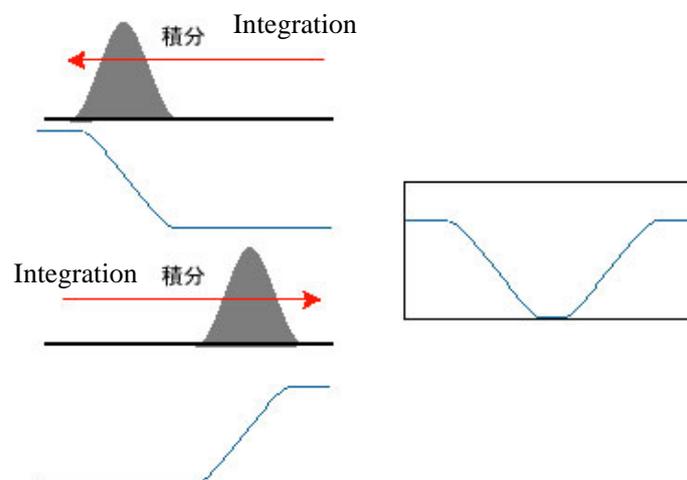
- They assume that both Tail parts of total distribution still keep information of each random distribution, thus curve fitting operation from the tail part can retrieve Gaussian distribution of random jitter component. And also, it assumes that displacement of two Gaussian distribution represents Deterministic Jitter amount.

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

45

## Estimation of Error Rate



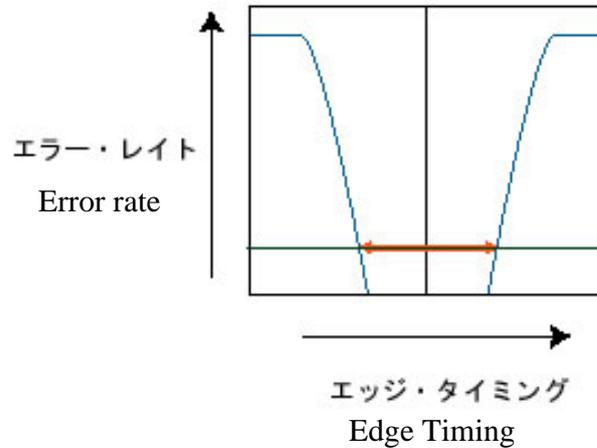
- Each distribution (Probability density Function) is integrated and the two integration results are added. The result looks just like a bath tub.

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

46

## Error rate estimation from “Bath tub” curve



- Error rate is estimated based on the allowable timing margin.

scale” using

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

47

## Benefits of Q-scale method for Jitter Calculation

### Improved Rj stability

More data and a better fit algorithm is used to generate the tails

### 1. Improved Tj measurement repeatability

More stable Rj results lead to more accurate Tj measurements

### 2. Ease of use: Q-Scale displays pure Gaussian as a line

Q-Scale plot is easier to interpret than classic bathtub curve.

Bochum den 25.  
September 2007

Timing Messungen und  
statistische Analysen

48

# Data in the Q-Scale

Intersection of the white reference lines with the top of the grid represents the deterministic component in time (Effective Dj). Displayed as dotted vertical lines.

Top of scale represents BER = 0.5

Red line shows real data

Rectangles indicate data used for normalization fit

Rho – fitting coefficient (Quality of model fit)

Sigma value = jitter for “face”

Gray line is straight for reference  
Non-linearity in red line represents deviation from Gaussian distribution

TIE Histogram

Base of the histogram is total jitter interval at selected BER (shown as dotted lines)



Bochum den 25. September 2007

LeCroy

statistische Analysen

1/3/2006 4:28:09 PM

# Interpreting the Q-Scale

When red line lies on white reference, the face has a Gaussian distribution.

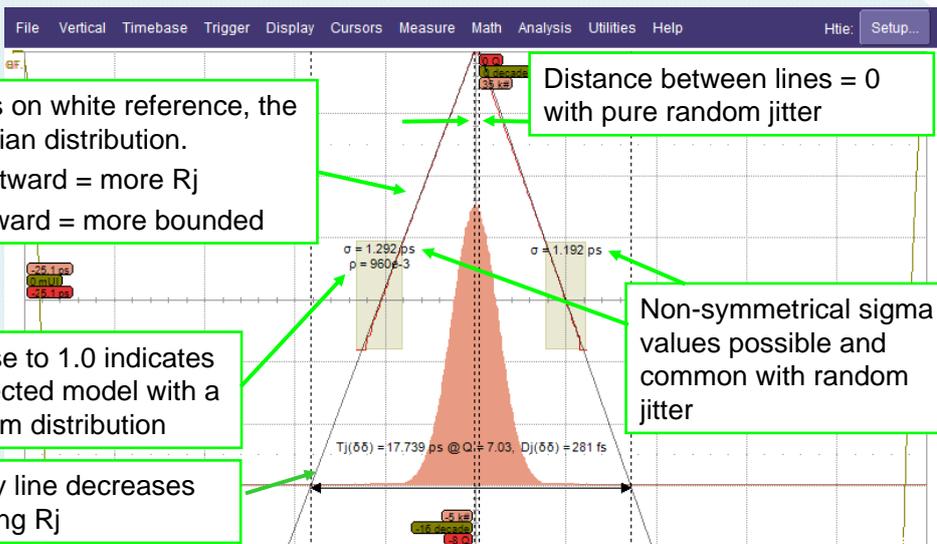
Distance between lines = 0 with pure random jitter

Bottom curves outward = more Rj  
Bottom curves inward = more bounded

Rho value close to 1.0 indicates good fit to selected model with a single histogram distribution

Non-symmetrical sigma values possible and common with random jitter

Slope of gray line decreases with increasing Rj



Bochum den 25. September 2007

LeCroy

statistische Analysen

1/3/2006 4:28:09 PM



# Leistungsfähige Technologien – einfach in der Anwendung

Technologische Fortschritte der PC-Messtechnik durch Multicore-Systeme und PXIExpress

## SEI – Herbsttagung 2007

Bochum, 25. September 2007

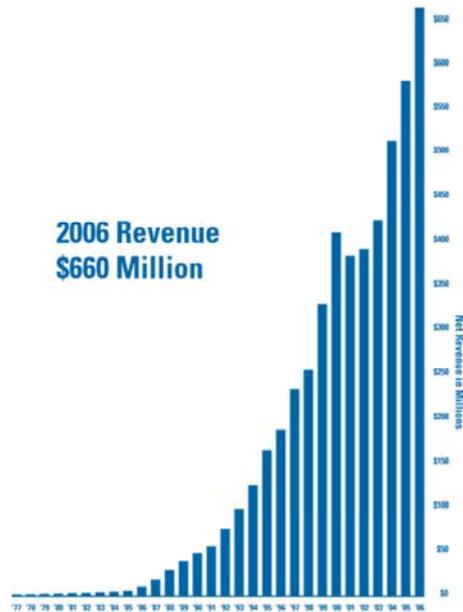
Dipl.-Ing. (FH) Carsten Sprung, National Instruments Germany

## Wer ist National Instruments?

- Weltweit führender Anbieter von computergestützter Mess- und Automatisierungstechnik
- Seit vielen Jahren (30+) stabiles Wachstum und steigende Gewinne
- Umsatz von 660 Mio. USD im Jahr 2006
- Umsatz von 172 Mio. USD im ersten Quartal 2007
- 4.000+ Mitarbeiter in Niederlassungen in mehr als 40 Ländern
- Zertifizierte Alliance Partner zur Systemintegration



2006 Revenue  
\$660 Million



ni.com



National Instruments verzeichnet seit seiner Gründung im Jahre 1976 ein kontinuierliches Wachstum. Dabei verfolgt NI das Ziel computerbasierte und innovative Produkte zur Verfügung zu stellen, mit denen die Kunden schneller qualitativ hochwertigere Systeme und Produkte erstellen können, um unser tägliches Leben zu verbessern. Aus diesem Grund führt National Instruments einen hohen Anteil des Umsatzes als Investition in Forschung und Entwicklung zurück. Dadurch kann NI neueste technologische Trends im industriellen Umfeld zur Verfügung stellen und so den ständig wachsenden Anforderungen seiner Kunden gerecht werden.

National Instruments beschäftigt weltweit mehr als 4.100 Mitarbeiter, die sich auf fünf Entwicklungsstandorte, mehr als 40 Vertriebsniederlassungen sowie die beiden Produktionsstandorte in Europa und USA verteilen.

Mit mehr als 25.000 Kunden in über 90 Ländern der Welt ist National Instruments ein sehr breit aufgestelltes Unternehmen. Die Kunden kommen dabei aus allen Bereichen der Industrie und der Forschung und setzen die mehr als 1.500 Produkte für unterschiedlichste Anwendungen ein.

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

## Was macht National Instruments?

### NI revolutioniert die Mess-, Prüf- und Automatisierungstechnik durch neue Ansätze

- Überwachung und Steuerung konventioneller Mess- und Automatisierungssysteme
- Ersatz klassischer Geräte durch PC-basierte Komponenten bei niedrigeren Systemkosten

### Wie wird dies erreicht?

Durch das Zusammenwirken folgender Faktoren

- Nutzen der **Vorteile von Standard-PCs**, Netzwerken, Halbleitertechnologien
- Benutzerfreundliche und **leistungsstarke Software**
- Kosteneffiziente und **modulare Hardware**
- **Nahtlose Integration** der Hard- und Software durch leistungsfähige Treiber

→ National Instruments nennt dies das **Konzept der virtuellen Instrumente**

*Automatisierung für die Messtechnik und Messungen für die Automatisierungstechnik*

ni.com



Seit mehr als 30 Jahren revolutioniert National Instruments die Art und Weise, wie Wissenschaftler und Ingenieure mithilfe leistungsfähiger Werkzeuge Aufgaben aus den Bereichen der Mess-, Prüf- und Automatisierungstechnik verwirklichen. Hierzu gilt das Hauptaugenmerk vor allem der Überwachung und Steuerung konventioneller Mess- und Automatisierungssysteme oder deren Ersetzung durch PC-basierte Komponenten bei niedrigen Systemkosten.

Dabei steht der Standard-PC als Plattform, erweitert um spezielle Hard- und Softwarekomponenten, von Anfang an im Mittelpunkt. Neue Technologien werden dabei konsequent aufgenommen, adaptiert und für die Aufgaben in Labor und Industrie angepasst. Dem Anwender stehen somit alle gewohnten Werkzeuge modernster PC-Technologien zu Verfügung.

Vor allem die benutzerfreundliche und **leistungsstarken Software**, wie z.B. **LabVIEW**, **LabWindows/CVI**, **DIAdem**, **TestStand** und **Measurement Studio** gepaart mit kosteneffizienter und **modularer Hardware** ermöglichen dem Anwender den Aufbau **flexibler** und in äußerstem Maße **individueller Lösungen** für die gestellten Aufgaben.

Das von National Instruments geprägte **Konzept der virtuellen Instrumente** ermöglicht Anwender bei der Lösung seiner Aufgabe, da die Schnittstelle zwischen Hardware und Benutzer nicht länger starr und unveränderlich sondern weich und formbar ist.

### **Software ersetzt Hardware**

# Agenda

## Technologische Fortschritte und ihre Anwendung:

- **Multicore-Prozessoren und ihre Programmierung**
- **Umsetzung von  in **
- **PXI und „Modulare Messgeräte“**
- **PC-basierte Messtechnik mit NI LabVIEW SignalExpress**
- **Daten-Streaming und RAID-Systeme / „Streaming-to-disk“**

ni.com



Dieser Vortrag befasst sich mit den technologischen Fortschritten in der PC-Technik und ihrer Anwendung in der rechnergestützten Messtechnik. Im Folgenden ein kurzer Überblick über die Fragestellungen, die im Einzelnen diskutiert werden:

### (1) **Multicore-Prozessoren und ihre Programmierung**

Welchen technologischen Fortschritt beinhaltet die Multicore-Technologie und wie kann die rechnergestützte Messtechnik davon profitieren? Welche Herausforderung stellt dies für die Anwender und was muss ein Anwender können, um Multicore-Prozessoren effizient nutzen zu können?

### (2) **Die PXI-Plattform und „Modulare Messgeräte“**

Was ist die PXI-Plattform und welche Vorteile bietet Sie im Zusammenhang mit modularen Messgeräten Entwicklern von Lösungen für komplexe, flexible und höchst individuellen Messtechnikaufgaben?

### (3) **Einfache Anwendung rechnergestützter Messtechnik durch „NI LabVIEW SignalExpress“**

Muss der Anwender eine Programmiersprache lernen, um die Vorteile rechnergestützter Messtechnik nutzen zu können und welche Hilfe bietet ihm hierbei ein Programm wie NI LabVIEW Signal Express?

### (4) **Die Umsetzung von PCIe auf der PXI-Plattform**

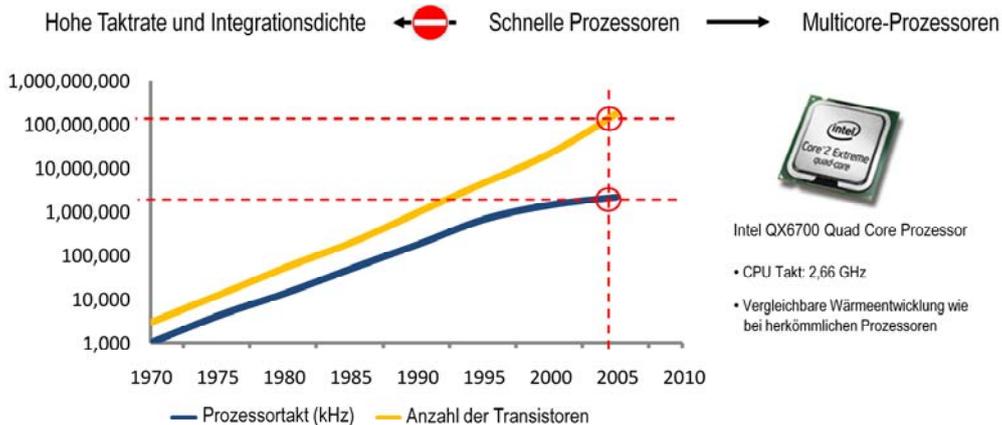
PCIe verbessert Bandbreite und Übertragungsraten innerhalb meines rechnergestützten Messsystems. Wie weit ist die PXI-Plattform, um dem Anwender diesen Vorteil bieten zu können?

### (5) **Streaming von Messdaten, RAID-Systeme und „Streaming-to-disk“**

Welche Möglichkeiten hat ein Anwender, um seine durch Multicore-Systeme und PXIExpress größer werdenden Datenmengen sicher und schnell zu speichern?

## Multicore-Prozessoren sind auf dem Vormarsch

- Taktraten und Integrationsdichten herkömmlicher Prozessoren erreichen ihre Grenzen
- Integration mehrerer Prozessorkerne auf eine Chip (gemeinsame Ressourcen)



ni.com



Die kontinuierliche Erhöhung der Leistung von integrierten Schaltkreisen, so auch der Prozessorenleistung, wird oft anhand des Moore'schen Gesetz verdeutlicht:

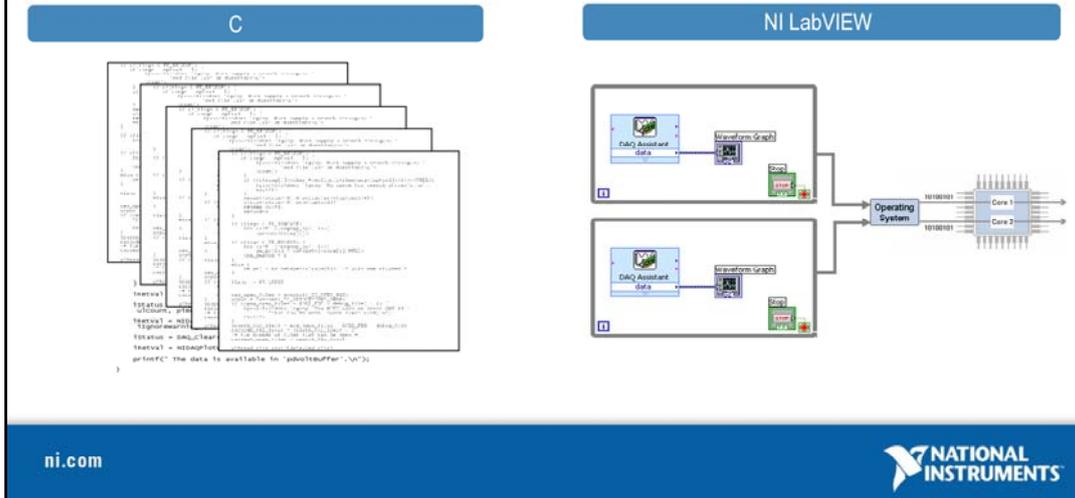
Das Mooresche Gesetz (engl. Moore's Law) sagt aus, dass sich die Komplexität integrierter Schaltkreise mit minimalen Komponentenkosten etwa alle zwei Jahre verdoppelt. Unter Komplexität verstand Gordon Moore, der das Gesetz 1965 formulierte, die Anzahl der Schaltkreiskomponenten auf einem Computerchip. Ursprünglich sprach Moore von einer jährlichen Verdoppelung, 1975 korrigierte er seine Angabe auf eine Verdoppelung alle zwei Jahre. (<http://www.intel.com/technology/mooreslaw/index.htm>)

Der vorherige Ansatz, einfach nur die Prozessortaktrate zu erhöhen, hat zu Problemen bei der Leistung und Kühlung geführt, so dass sich diese Herangehensweise nicht mehr lohnt. Ebenso ist es nicht ohne weiters möglich, die Integrationsdichte zu erhöhen. Um die Leistung weiterhin steigern zu können und diese Probleme zu umgehen, haben Entwickler nach einer Multicore-Lösung gesucht. Danach hat ein einzelner Prozessor mehrere „Cores“, (eigenständige Prozessorkerne) welche die parallele Verarbeitung auf kleinstem Raum ermöglichen, eigenständige Ressourcen haben (Cache, ALU) und auf gemeinsame zurückgreifen (Bus).

## Grafische Programmierung für Multicore-Architekturen

“Ein Kernproblem in den Computerwissenschaften ist die Suche nach einem Weg, der Compiler parallele Strukturen in Programmen definieren lässt.“<sup>[1]</sup>

- Richard Wirt, Intel Senior Fellow -



Anwender können nicht direkt von der Multicore-Leistung profitieren, denn sie erfordert eine Implementierung von parallel ausführbaren Strukturen im Programmcode. Diese Strukturierung ist in textbasierten Programmiersprachen nicht ohne weiteres zu bewerkstelligen. Anwender von grafischen Programmierumgebungen wie NI LabVIEW sind dabei im Vorteil, denn LabVIEW kann durch die Abstraktion und die intuitive Vorgehensweise einfach parallele Strukturen im Programmcode umsetzen. Der LabVIEW Compiler kann noch weitere parallele Strukturen identifizieren und damit den Grad an parallel ausführbaren Elementen nochmals erhöhen.

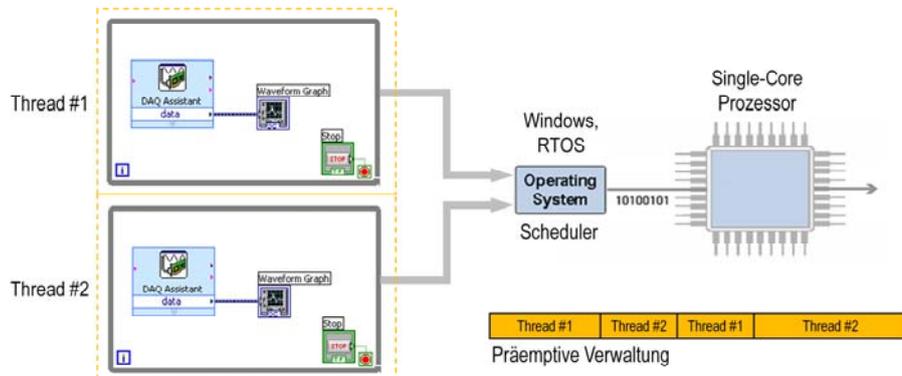
Da NI LabVIEW die Parallelisierung bereits übernimmt, können beispielsweise mehrere parallele Schleifen automatisch auf die zur Verfügung stehenden Kerne verteilt werden. Mit der aktuellen Version LabVIEW 8.5 wird die Verteilung des Programmcodes auf die einzelnen Kerne nicht mehr allein dem Betriebssystem überlassen, sondern ist vom Programmierer definierbar. Außerdem muss ein LabVIEW Anwender seinen Programmcode nicht zwangsweise modifizieren, um die Vorteile der Multicore-Technologie nutzen zu können.

[1] Sinngemäße Übersetzung nach:

“One Holy Grail of computer science research has been finding a way to let a compiler take care of parallelization.“

- Richard Wirt, Intel Senior Fellow -

## Verarbeitung auf einem Einkernprozessor (Single-Core)



- Die grafische Programmierung in LabVIEW ist ein intuitives Konzept zur Abbildung von (parallelen) Prozessen.
- Der LabVIEW Compiler analysiert den Datenfluss und die Knoten, bildet daraus (wenn möglich) mehrere Threads und ermöglicht somit eine quasi-parallele Verarbeitung.
- Das Betriebssystem verwaltet über den Scheduler die Threads und teilt auf präemptiver Basis Zeitfenster auf dem Prozessor zu.

ni.com



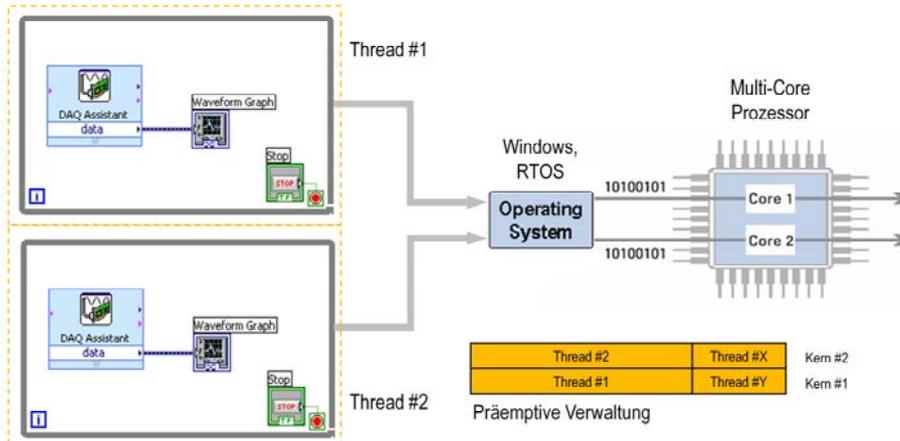
Im klassischen Fall steht für einen Prozess (also die Abarbeitung eines einzelnen Programms, z. B. ein LabVIEW VI) ein einzelner Prozessor (CPU) mit einem Kern (Core) im System zur Verfügung. Dadurch bedingt kann bei Verwendung einer solchen Architektur auch nur eine sequenzielle Abarbeitung der einzelnen Programmteile realisiert werden. Dies gilt auch für den Fall, dass innerhalb des Programms Elemente implementiert wurden, die eigentlich eine parallele Abarbeitung erlauben würden, da keine gemeinsamen Abhängigkeiten zwischen diesen oder anderen Programmteilen bestehen.

Damit dennoch eine quasi-parallele Abarbeitung stattfinden kann, erlauben moderne Betriebssysteme das so genannte Multithreading. Während Multitasking im Betriebssystem erreicht, dass mehrere Anwendungen sich quasi-parallel der CPU bedienen können, indem es den Anwendungen CPU-Zeit (Slots) zuweist und zwischen diesen hin- und herschaltet, kann durch Multithreading auf Task-Ebene eine noch feinere Unterteilung getroffen werden. Um die Programmteile zu identifizieren, die quasi-parallel verarbeitet werden können, analysiert der LabVIEW Compiler dazu die Knoten und den Datenfluss im VI und bildet dann eine unterschiedliche Anzahl von Threads aus (im obigen Fall ist die Unterteilung der beiden While-Schleifen in 2 Threads wahrscheinlich). Innerhalb des Ausführungssystems des VIs können in LabVIEW unterschiedliche Prioritäten vergeben werden, die sich allerdings nur auf das VI, nicht jedoch auf andere Threads unter Windows auswirken.

Damit einzelne Threads nicht allzu lange die CPU belegen und gewartet werden muss, bis der Thread die CPU wieder freigibt (kooperatives Verhalten), übernimmt ein Teil im Betriebssystem, der Scheduler, die Vergabe der Zeitfenster. Er kann somit zu jedem Zeitpunkt einen Thread anhalten und einen anderen einsetzen (präemptives Verhalten).

Der LabVIEW Compiler, Multithreading und das Betriebssystem erlauben somit eine scheinbar parallele – quasi-parallele – Verarbeitung.

## Unterstützung für Mehrkernprozessoren in LabVIEW 8.5



- Die Einteilung des LabVIEW Codes in unterschiedliche Threads erlaubt ab der Version 8.5 die Abarbeitung auf mehreren Kernen eines Prozessors.
- Eine definierte Zuweisung von Threads (bzw. Schleifen) kann **NUR** unter LabVIEW Real-Time erfolgen.
- Weitere Threads anderer Prozesse werden ebenfalls auf den Kernen abgearbeitet.

ni.com

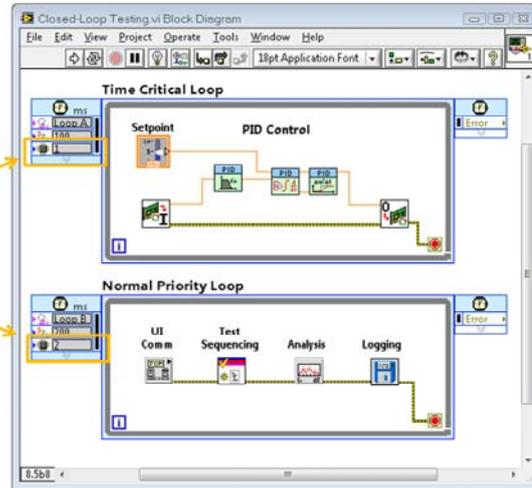


Mit der Veröffentlichung von LabVIEW in der Version 8.5 wird auch die Unterstützung für Systeme eingeführt, die Prozessoren mit mehreren Kernen (Multicore) enthalten. Dabei werden der Datenfluss und die Knoten wie gehabt im VI zusammengefasst und wenn möglich eine Aufteilung in mehrere Threads durchgeführt. Diese können aufgrund der hohen Anzahl von Kernen dann auf unterschiedlichen Kernen parallel abgearbeitet werden. Dabei bleibt jedoch zu beachten, dass eine Zuweisung eines Threads an einen bestimmten Kern in LabVIEW nicht möglich ist. Letztendlich wird der Scheduler von Windows entscheiden, welcher Thread auf welchem Kern läuft. Selbst wenn es zu einer optimalen Aufteilung kommt (jeder LabVIEW Thread auf einem eigenen Kern), bleibt dennoch zu beachten, dass auch weitere Windows-Threads oder Threads von anderen Prozessen im Multithreading-Verfahren die CPU-Ressourcen teilen müssen.

Insgesamt kann man jedoch festhalten, dass sich bspw. beim Wechsel auf ein System mit zwei Kernen (Dual-Core) auf der CPU ein Performance-Zuwachs von 20-30 % für eine Standardapplikation erzielen lässt, ohne dass man sich der Programmierparadigmen für die parallele Programmierung bedient.

## Unterstützung für Mehrkernprozessoren in **LabVIEW 8.5**

**Zeitkritische  
Schleifen lassen  
sich einzelnen  
Prozessorkerne  
zuweisen**



ni.com

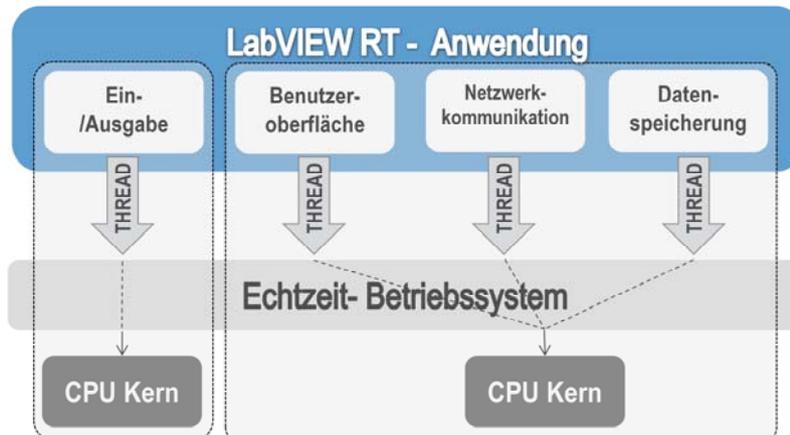
NATIONAL  
INSTRUMENTS

Der Anwender hat in LabVIEW seit der Version 8.5 die Möglichkeit, die Zuweisung von Anwendungsteilen auf einzelne Prozessorkerne manuell vorzunehmen. Hierzu bieten die zeitgesteuerten Schleifen ein Konfigurationsfeld, in dem der entsprechende Prozessorkern einfach ausgewählt werden kann. Die zeitgesteuerte Schleife entspricht einem Thread. Jedes Mal, wenn Sie Ihrem Programm eine zeitgesteuerte Schleife hinzufügen, erstellen Sie einen neuen Thread zur Ausführung des Codes in der Schleife. Man bezeichnet es als zeitgesteuerte Schleife, da der Anwender das Ausführungs-Timing der Schleife direkt steuern kann, u. a. durch Interrupts oder einen externen Hardwaretakt.

Die zeitgesteuerte Schleife ist keine neue Funktion, sie wurde allerdings in LabVIEW 8.5 erweitert und ermöglicht nun die Zuweisung des gesamten Codes, der in der Schleife ausgeführt wird, an einen bestimmten Prozessorkern.

## Unterstützung für Mehrkernprozessoren in **LabVIEW 8.5** - Echtzeitanwendungen auf Multicore-Prozessoren

Mit LabVIEW 8.5 Real-Time schöpfen Sie die Leistungssteigerung von Multicore-Systemen optimal aus



ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Die auf den letzten Folien erörterten Leistungssteigerungen bleiben bei einem Standard-Betriebssystem natürlich immer abhängig von den weiteren Anwendungen und Betriebssystem-Services, die parallel zu Ihrer Anwendung ausgeführt werden. Eine wirklich genaue Aussage und somit auch die größten Leistungsvorteile ergeben sich bei einem Betriebssystem, welches für die Ausführung von Mess-, Prüf- und Automatisierungsanwendungen optimiert ist. LabVIEW Real-Time bietet Ihnen die Möglichkeit, zeitkritische und rechenintensive Anwendungsteile von weniger wichtigen Programmteilen zu separieren und auf unterschiedlichen Prozessorkernen auszuführen. Hierbei steht die komplette Prozessorleistung für Ihrer Anwendung zur Verfügung.



**Easy. Powerful. Open.**  
**Graphische Plattform für Test, Control und Design**

Modulation Toolkit	Digital Filter Toolkit	Control Design TK	System Identification	Advanced Analysis TK	Sound and Vibration Measurement Suite
--------------------	------------------------	-------------------	-----------------------	----------------------	---------------------------------------

**LabVIEW-Entwicklungssystem**  
(Student, Base, Full, Professional)

Real-Time Module	DSC Module	FPGA Module	PDA and Touch Panel Modules	Embedded Module	Simulation Module	Vision and NI SoftMotion Modules
------------------	------------	-------------	-----------------------------	-----------------	-------------------	----------------------------------

**Windows | Mac | Linux® | RTOS**  
**Englisch | Französisch | Deutsch | Japanisch | Koreanisch | Chinesisch**

ni.com 

NI LabVIEW bildet eine offene Engineering-Plattform, die die Realisierung beliebiger Mess-, Steuer- und Regelanwendungen ermöglicht und durch die Vielzahl an integrierten Funktionen, Assistenten und leistungsfähigen Zusatzmodulen und Toolkits den Zugang zu allen in der Industrie gebräuchlichen Standards, Schnittstellen, Technologien und Datenformaten bietet. Die Offenheit der Plattform erlaubt dabei, dass auch Funktionen, die nicht nativ angeboten werden, einfach integriert werden können.

LabVIEW steht in verschiedenen Ausbaustufen (Studentenversion, Base Package, Full Development System, Professional Development System) zur Verfügung. Dies ermöglicht jedem Anwender die individuelle Auswahl der benötigten Werkzeuge.

Der Funktionsumfang von NI LabVIEW kann hierbei durch zusätzliche Toolkits und Suites um Funktionen und Algorithmen aus speziellen Anwendungsbereichen erweitert werden.

Durch die LabVIEW Module werden dedizierte Echtzeitplattformen, portable Systeme wie Pocket-PCs und selbst FPGA-Chips und beliebige 32-bit Mikroprozessoren zu Zielplattformen von LabVIEW Anwendungen. Mess- und Automatisierungssysteme lassen sich dadurch basierend auf einer einzigen Entwicklungsplattform modular ergänzen, auch bereits vorhandener Code ist innerhalb modulabhängiger Grenzen leicht migrierbar. Dies ermöglicht die Realisierung von skalierbaren Mess- und Automatisierungssystemen – ausgehend von kleinen Stand-alone-Einheiten bis hin zu großen, integrierten Lösungen.

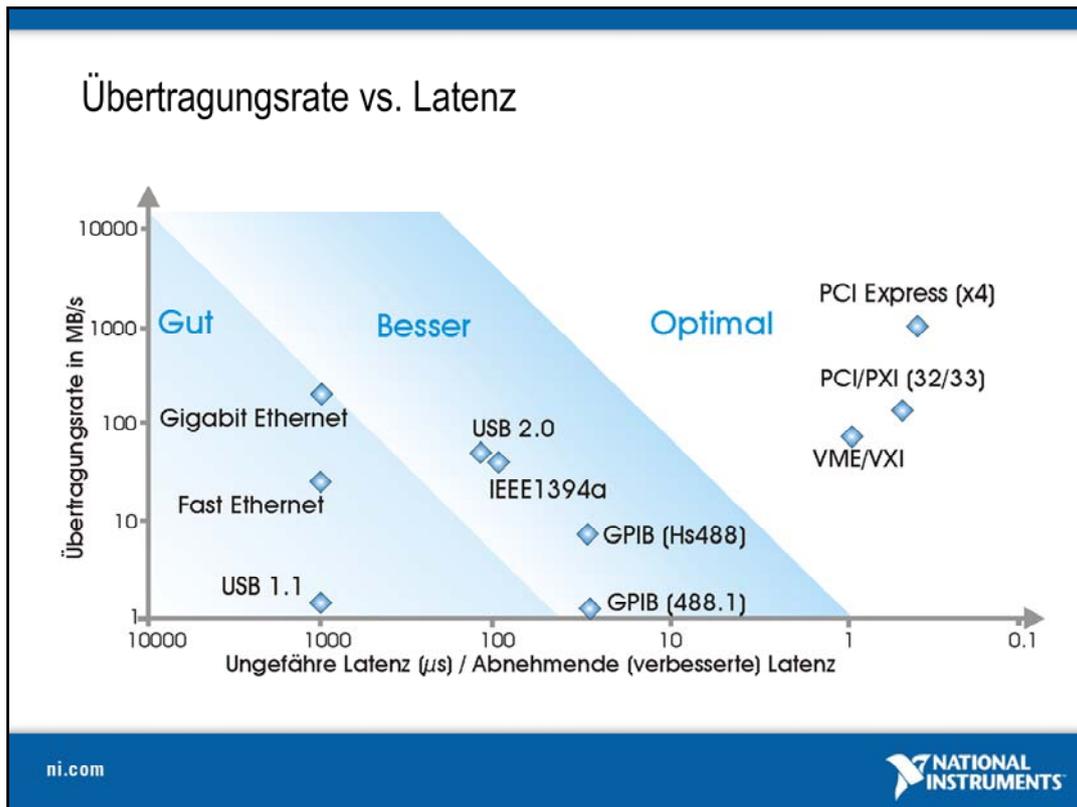
Neben der Entwicklungsumgebung für Windows stehen auch Entwicklungsumgebungen und Run-Time-Engines für Linux- und Macintosh-Systeme zur Verfügung.

## Unterstützte Bussysteme für die Datenerfassung



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

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



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

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

Die Entwicklung der heutigen Bussysteme und Ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich Datenübertragungsrate verdeutlicht obiges Diagramm.

Ein Vorteil, den kommerzielle PC-Busse wie USB, Ethernet, PCI und PCIExpress aufweisen, besteht darin, dass sie auf PCs zur Standardausstattung gehören. PCI ist einer der am weitesten verbreiteten Standards in der Geschichte des Computers. Heute besitzt jeder Desktop-PC PCI- und PCI-Express-Steckplätze. PC-interne Hochgeschwindigkeitsbusse wurden für die schnelle Kommunikation konzipiert. Infolgedessen sind PCI und PCI Express die erste Wahl für datenintensive Hochleistungssysteme, die eine hohe Übertragungsrate erfordern, und für die Integration und Synchronisation mehrerer verschiedener Messgeräte.

## Von der PCI-Express-Technologie ...

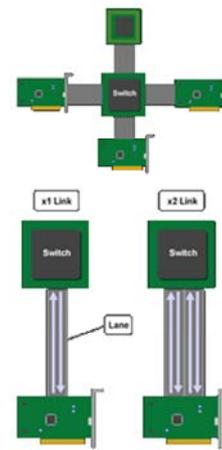
- Serielle Verbindung mit einem Takt von 1,25 GHz (→ 2,5 GBit/s)
  - Parallele Daten werden zu Paketen zusammengefasst und seriell übertragen
  - Differenzielle Signalübertragung, Punkt-zu-Punkt -Verbindung, 8B/10B-kodiert
  - x1-Link (1 Lane) mit einer Bandbreite bis **250 MBytes/s/Richtung**
  - x16-Link (16 Lanes) mit einer Bandbreite bis **4 GBytes/s/Richtung**

Zum Vergleich: PCI-Bus mit 33 MHz ~ **133 MByte/s** (peak)

- Trotz des physischen Aufbaus ist PCI Express softwaremäßig voll kompatibel
  - Kompatibilität der Applikationssoftware beim Wechsel des Bussystems (Keine neues Betriebssystem, kein neuer Treiber notwendig!)
- Gewährleistung der langfristigen Verfügbarkeit („Generation 2“ PCI Express mit Übertragungsrate von 5 GBits/s)

Anwendung in der Instrumentierung? → PXI Express ...

PCI  
EXPRESS®



[5] Switches und Lanes

ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

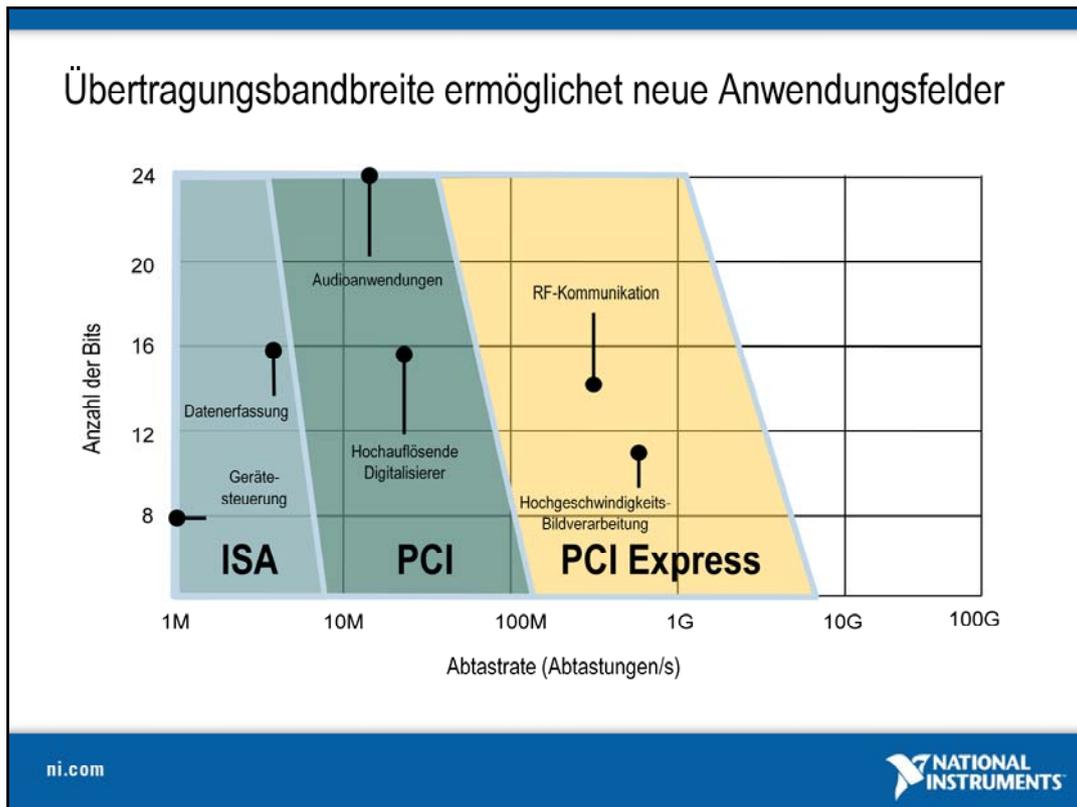
Als Alternative zu dem weit verbreiteten PCI-Bus-Standard hat sich der neue PCI-Express-Standard neben dem Multimediabereich auch in der computergestützten Mess- und Automatisierungstechnik etabliert. Im Gegensatz zu den parallelen Bussystemen werden die Daten zusammengefasst und seriell mit einer Taktfrequenz von 1,25 GHz über eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung (Endgerät zur PCIe Host Bridge) übertragen. Die Datenübertragung findet dabei über sog. Lanes statt, wobei eine Lane jeweils aus einem Leitungspaar für das Senden und Empfangen besteht, wodurch eine vollduplexfähige Übertragung möglich ist. Theoretisch könnten somit pro Lane und pro Richtung (Senden/Empfangen) 2,5 GBit übertragen werden. Allerdings werden die Daten 8B/10B-kodiert, damit eine Taktrückgewinnung aus der gesendeten Impulsfolge möglich ist. Somit ergibt sich für eine einzelne Lane eine maximale Übertragungsgeschwindigkeit von 250 MB/s/Richtung (insgesamt simultan 500 MB/s). Im Vergleich dazu kann auf dem PCI-Bus (33 MHz x 4 Byte) nur eine maximale Übertragungsrate von 132 MByte/s erreicht werden. Zu beachten ist dabei, dass sich alle Endgeräte den Bus teilen müssen (keine dedizierten Lanes) und keine vollduplexfähige Kommunikation stattfinden kann.

Soll eine höhere Datenübertragungsrate erreicht werden, so können mehrere Lanes zusammengeschaltet werden und die Übertragungsrate vervielfacht sich entsprechend zu x1, x4, x8, x16 oder noch breiteren Anschlüssen.

Von der Seite der Applikationssoftware her betrachtet ergeben sich keine Änderungen, da die Anbindung des Geräts im System vom Treiber und damit vom Betriebssystem und der Applikationssoftware unabhängig ist. Neben der softwaremäßigen Kompatibilität, die minimalen Aufwand bei der Migration des Systems auf ein anderes Bussystem erfordert, wird die Verfügbarkeit dieses Standards langfristig gewährleistet und durch Neuerungen wie die 2. Generation (Gen2 PCI Express) von PCI Express mit höheren Übertragungsraten > 5 GBit/s kontinuierlich erweitert und verbessert.

Auf der PCI-Express-Technologie setzt auch die PXI-Express-Technologie auf, welche diesen Standard um erweiterte Timing- und Synchronisationsfunktionen ergänzt.

[5] Bildquelle: Arstechnica.com



Die beiden wichtigsten Eigenschaften bei Messanwendungen sind die Auflösung und die Abtastrate. Durch permanente Weiterentwicklung wurden an dieser Stelle immer weitere Verbesserungen erzielt, und so stehen auch zum Test von Geräten, die anspruchsvolle, aktuellste Technologien verwenden, entsprechende Lösungen zur Verfügung, die problemlos in die bekannte Hard- und Softwareumgebung integriert werden können. Das Konzept der virtuellen Instrumente ermöglicht dabei die einfache Integration leistungsstärkerer Geräte in bestehende Prüfanwendungen.

Im letzten Jahrzehnt war der Telekommunikationsbereich ein besonders innovativer Markt. Dort haben sich immer wieder neue Anwendungen ergeben, die besonders hohe Abtastraten benötigen. Auch die Unterhaltungselektronik hat in den letzten Jahren neue Technologien hervorgebracht, die neue Anforderungen mit sich bringen. In klassischen Anwendungsbereichen wie Vibrationsmessungen, Prozesssteuerung, Temperaturmessung und Sensormessung ergeben sich durch steigende Anforderungen an die Genauigkeit, Flexibilität und den Komfort beim Erstellen der Anwendungen ebenfalls neue Anforderungen, die durch leistungsfähige und intelligente Systeme erfüllt werden können.

Diese Innovationen und der gleichzeitige Druck, die Produkte schnell und kostengünstig auf den Markt zu bringen, erfordern flexible, wieder verwertbare Prüfsysteme, die die schnelle Integration von Messapplikationen ermöglichen. Möglich wurde diese Entwicklung und die Leistungssteigerung im Bereich der modularen Messgeräte nicht zuletzt durch die Weiterentwicklung im Bereich der verfügbaren Bussysteme.

Jedoch reichen leistungsstarke Bussystemen, die hohe Transferraten erlauben, allein nicht aus. Vielmehr spielt auch die zügige Verarbeitung auf den Prozessoren eine wesentliche Rolle in der Datenverarbeitung. In letzter Zeit gewinnen Mehrprozessor bzw. Mehrkernsysteme immer mehr an Bedeutung, da die Anzahl der Operationen/Zeiteinheit sich vervielfacht und eine echte parallele Verarbeitung möglich ist.

## ... zur PXI-Express-Technologie



Neben den Timing- und Synchronisationsmechanismen von PXI sind bei PXI Express noch weitere hinzugekommen ...

Grund? → Verbesserung der Störfestigkeit und Timing-Performance

- Zusätzlicher differenzieller 100-MHz-Systemreferenztakt
  - LVPECL<sup>[6]</sup>-Referenztakt mit einer Abweichung (Jitter) < 200 ps (vgl. 10-MHz-Takt < 1 ns )
  - Engere Synchronisation zwischen der Peripherie möglich
- Verbesserte Multi-Device-Synchronisation über PXIe\_SYNC100-Referenztakt
  - 10-ns-Pulse synchron zum 100-MHz-Systemreferenztakt mit variabler Frequenz
  - Ermöglicht die Synchronisation der onboard 100-MHz-Referenzen
- Differenzielle sternförmig verteilte Triggersignale
  - LVDS<sup>[7]</sup>- bzw. LVPECL-Signale als Referenzen bzw. Trigger
  - Verteilung vom System Timing Slot (2) auf alle peripheren Slots

ni.com



Neben den Timing- und Synchronisationsmechanismen, die bereits mit dem PXI-Standard eingeführt wurden, erweitert die PXI-Express-Spezifikation diesen, um eine Höchstmaß an Leistung und Störsicherheit zu erreichen.

Dazu zählen neben dem 10-MHz-Referenztakt, der bereits mit PXI verfügbar ist, noch ein differenzieller 100-MHz-Referenztakt. Dieser verwendet eine LVPECL-Logik (Low-Voltage Positive Emitter Coupled Logic), die vorrangig in Hochgeschwindigkeitsanwendungen verwendet wird, bei der Taktsignale verteilt werden müssen (vgl. ECL und PECL). Dabei wird das Taktsignal sternförmig mit gleichen Leitungslängen auf alle PXI-Slots verteilt, um Laufzeitunterschiede auf den Leitungen zu eliminieren. Im Vergleich zum 10-MHz-Referenztakt (Abweichung < 1 ns) kann mit dem 100-MHz-Referenztakt eine Taktabweichung (Jitter) < 200 ps erreicht werden. Der 100-MHz-Referenztakt kann somit als Bezug für die Peripherie gelten und ermöglicht eine engere Synchronisation.

Das PXIe\_SYNC100-Signal wird von der Frequenz automatisch festgelegt und ermöglicht zusammen mit dem 10-MHz- und 100-MHz-Referenztakt, dass sich die internen (Onboard-) Referenzen der PXI-Karten per PLL synchronisieren. Es wird in diesem Fall also auf keinen gemeinsamen Takt zurückgegriffen, sondern über einen Referenztakt die Phasensynchronität der internen Referenzen erzielt.

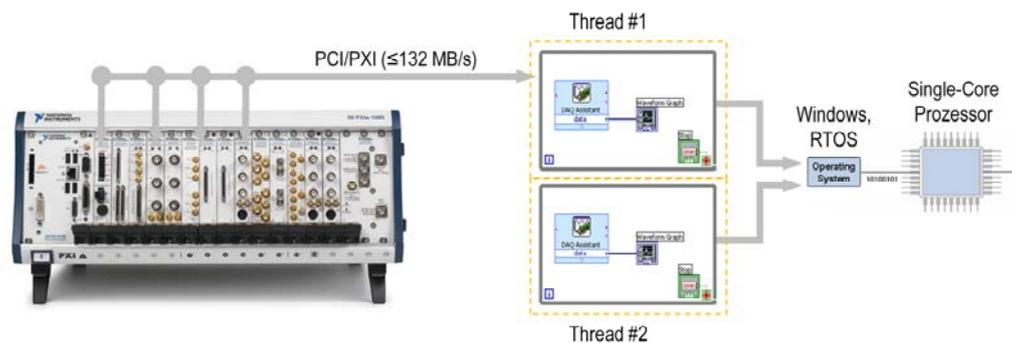
Die differenziellen, sternförmig verteilten Triggersignale entsprechen dem Star-Trigger im PXI-Chassis, erlauben durch die differenzielle Übertragung (Leitungspaar) aber eine höhere Störfestigkeit. Sie werden vom sog. System Timing Slot (Slot 2) auf alle Express-Slots verteilt.

Nähere Details auf der Homepage der PXI System Alliance unter: <http://www.pxisa.org/specs.htm>

[6] LVPECL – Low-Voltage Emitter-Coupled Logic

[7] LVDS – Low-Voltage Differential Signaling

## Gemeinsame Datenübertragung über den PXI-Bus



- Die einzelnen Threads kommunizieren mit den Datenerfassungskarten und tauschen mit diesen Daten aus.
- Am PXI-Bus (PCI-basiert) sind alle Teilnehmer parallel miteinander verbunden (Shared Bus) und können somit die Daten nur sukzessive über den I/O-Bus verschieben.

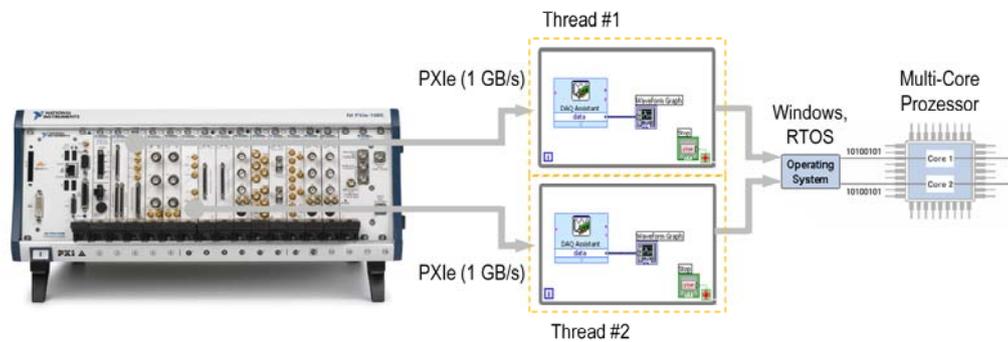
ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Während die quasi-parallele Verarbeitung bereits eine Leistungssteigerung für eine Applikation bedeutet, bildet der auf der PCI-Technologie basierende PXI-Bus unter Umständen einen „Flaschenhals“ bei der Datenübertragung. Selbst wenn die Datenübertragungsrate für die Applikation gerade ausreichend ist, muss beachtet werden, dass das es sich beim PCI-Bus um einen Bus handelt, bei dem alle Teilnehmer parallel angebunden sind (Shared Bus).

Zeigen sich nun innerhalb der Applikation beispielsweise mehrere Threads, die alle mit unterschiedlichen Geräten über den PCI-Bus kommunizieren möchten, so ist das Erreichen der theoretischen Übertragungsrate von 132 MByte/s unwahrscheinlich.

## Dedizierte Datenübertragung mit PXI Express



- PXI Express erlaubt über dedizierte Verbindungen (Links) einen **parallelen** Datentransfer über den I/O-Bus in den Arbeitsspeicher des Systems.
- Die einzelnen Threads können über Treiberaufrufe die Daten aus unterschiedlichen Bereichen des Arbeitsspeichers auslesen.
- Durch die parallele Übertragung/Verarbeitung können höhere Gesamtverarbeitungsrate erzielt werden.

ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Über die dedizierten Lanes der PXI-Express-Technologie ist es möglich, kontinuierlich auf separaten Datenverbindungen Informationen in unterschiedliche Bereiche des Arbeitsspeichers zu verschieben und andersherum. Damit können die vorher genannten Nachteile des PCI-Busses eliminiert werden. Somit kann festgehalten werden, dass über dedizierte Datenverbindungen der PXI-Express-Technologie und die Multicore-Unterstützung für in LabVIEW entwickelte Applikationen maßgeblich höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten möglich sind.

## Was ist PXI bzw. der PXI-Standard?



- Erweiterung des PCI-Standards für die Instrumentierung (PCI Extension for Instrumentation)
- Robuste Bauform der Module unter Verwendung von cPCI (CompactPCI)
- Ein offener Industriestandard, der von der PXISA (PXI System Alliance) reguliert wird

Zu den Aufgaben der PXISA zählt ...

- Instandhaltung/Wartung des PXI-Standards
  - Gewährleistung der Interoperabilität zwischen Herstellern
  - Förderung/Etablierung des PXI-Standards in der Industrie
- 
- Die PXISA besteht aus **68+ Mitgliedern** aus allen Anwendungsbereichen und Industriezweigen
  - Der PXI-Standard stellt eine offene Plattform für mehr als 1500 Produkte dieser Hersteller bereit

ni.com



PXI ist eine offene Architektur für Mess- und Automatisierungsgeräte, die hohe Leistungsfähigkeit mit geringen Systemkosten kombiniert. Die technischen Daten des Standards bauen auf denen des CompactPCI-Busses auf und erweitern diesen um definierte Systemebenen, die es dem Benutzer erleichtern, komplexe Mess- und Automatisierungsaufgaben zu realisieren. Der CompactPCI-Bus kombiniert den Standard-PCI-Bus, der von PC-Anwendungen bekannt ist, mit den Anforderungen der Industrie. Dabei sind vor allem die Ansprüche an Robustheit und kompakte Ausführung mit in die Überarbeitung eingeflossen.

Der PXI-Bus (PCI eXtensions for Instrumentation) bietet durch seine Spezifikationen weitere wichtige Merkmale für die Prüf- und Automatisierungsindustrie. Ein Vorteil ist beispielsweise die Ergänzung um Takt- und Triggerleitungen für präzise Synchronisationsaufgaben. Zusätzlich gibt es auch spezielle Spezifikationen hinsichtlich Temperaturbereichen, Belüftung und Treiberarchitektur, die für den Einsatz in der Industrie notwendig sind, um Robustheit, Zuverlässigkeit, Integrationsmöglichkeiten und Kompatibilität zu gewährleisten. Dadurch, dass das PXI-Konzept auf erweiterten Standard-PC-Komponenten basiert, sind PXI-Systeme kostengünstiger als entsprechende Stand-alone-Systeme oder vergleichbare andere Systeme.

Der PXI-Standard und seine Entwicklungen werden von der *PXI System Alliance* geregelt und überwacht, so dass mittlerweile mehr als 60 Hersteller über 1500 von zueinander vollständig kompatiblen Produkten anbieten.

Weitere Informationen zum PXI-Standard unter:

PXI System Alliance: [www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)

National Instruments PXI-Systeme: [www.ni.com/pxi](http://www.ni.com/pxi)

## Wodurch zeichnet sich PXI aus?

Ein Vergleich zu traditionellen Stand-alone-Geräten zeigt ...



### Stand-alone-Geräte

- **Proprietäre** Lösung
- Fast ausschließlich **herstellerdefinierte** Funktion
- Eingeschränkte Integrationsmöglichkeit
- Eingeschränkte Erweiterbarkeit



[3] Keithley 2700 DMM

### Geräte für PXI-Systeme

- **Offener** Standard → PXISA
- **Benutzerdefinierte** Funktion des virtuellen Instrumentes
- Einfache Integration neuer Komponenten
- Langfristige **Skalierbarkeit**
- Funktionsumfang an Bedürfnisse anpassbar
- Erhöhter Datendurchsatz für Messungen
- Verbesserte **Synchronisationsmöglichkeiten** für die Geräte untereinander
- Geringer Platzbedarf, Rack-Montage
- Vergleichsweise niedrige Gesamtsystemkosten, niedrige **Total-Cost-Of-Ownership (TCO<sup>[2]</sup>)**

ni.com



Im Vergleich zu traditionellen Stand-alone-Geräten ermöglichen modulare Systeme dem Anwender, das System genau so zu implementieren, dass es seine Anforderungen erfüllt und im Hinblick auf zukünftige Anwendungen erweiterbar ist. Die Integration weiterer Hardware ist dabei vergleichsweise einfach und ohne komplexe Modifikationen umzusetzen. Darüber hinaus bietet ein modulares System ein Standard-Softwaremodell, welches den Zugriff auf alle Komponenten ermöglicht und so eine einfache Integrierbarkeit sowie eine hohe Produktivität erzielt. Bei einem modularen System bezahlt der Anwender nur das, was auch wirklich benötigt wird, da er die Funktionalität selbst definieren kann. Dadurch lassen sich die Kosten gering halten und eine Wiederverwendbarkeit erreichen, die den produktiven Einsatz des Systems über einen langen Zeitraum gestattet.

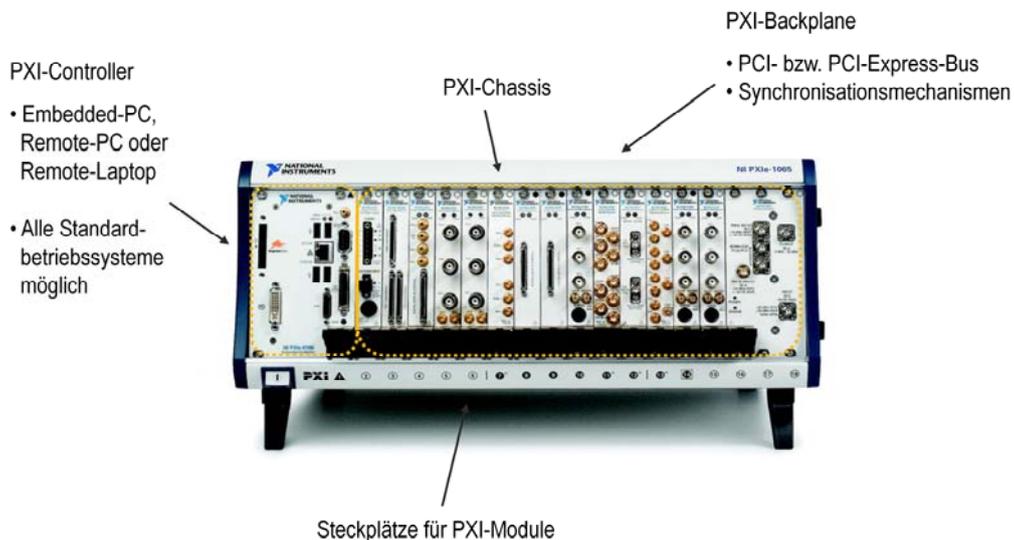
Modulare Messgeräte gestatten es, bei gleich bleibender Qualität Vorteile wie Flexibilität, Leistungsfähigkeit und Kostenersparnis von Standard-PCs, Industrie-PCs oder Laptops auf das ATE-System zu übertragen. Sie bieten den Vorteil, dass sie sehr platz sparend eingesetzt werden können, da sie direkt in das Gehäuse des PCs oder in das Chassis des Industrie-PCs integriert werden. Darüber hinaus sind sie dank ihrer maßgeschneiderten Funktionalität kostengünstiger als komplexe Stand-alone-Systeme.

Ideal sind Lösungen, bei denen modulare Systeme verwendet werden und Stand-alone-Instrumente nur dort zum Einsatz kommen, wo sie aufgrund spezieller Anforderungen tatsächlich benötigt werden.

[2] TCO = Total-Cost-Of-Ownership; Gesamtkosteneinschätzung, die neben den Anschaffungskosten selbst auch Aspekte der späteren Nutzung enthält, wie z. B. Reparatur, Energiekosten und Wartung (siehe auch: [http://de.wikipedia.org/wiki/Total\\_Cost\\_of\\_Ownership](http://de.wikipedia.org/wiki/Total_Cost_of_Ownership)).

[3] Bildquelle: <http://www.keithley.com/products/dmm/?mn=2700>

## Wie ist ein klassisches PXI-System aufgebaut?



ni.com

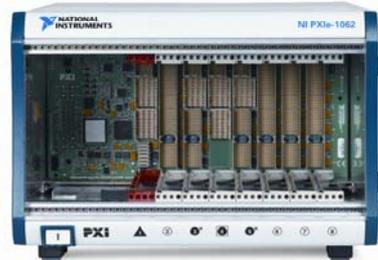


Ein klassisches PXI-System besteht im wesentlichen aus drei Komponenten - einem PXI-Controller, einem PXI-Chassis und den eigentlichen PXI-Modulen. Das Chassis dient primär als solides und modulares Gehäuse für das Mess-/Automatisierungssystem und ist je nach Bedarf in Größen mit 4 Steckplätzen bis hin zu 18 Steckplätzen verfügbar. Zudem verfügen diese PXI-Chassis über eine hochleistungsfähige PXI-Backplane, die als Stromversorgung für alle Komponenten dient und den PCI-Bus (PXI-Bus) sowie zusätzliche Timing- und Triggerbusse bereitstellt. Mithilfe dieser Timing- und Triggerbusse lassen sich Anwendungen realisieren, die eine präzise Steuerung von zeitlichen Abläufen erfordern.

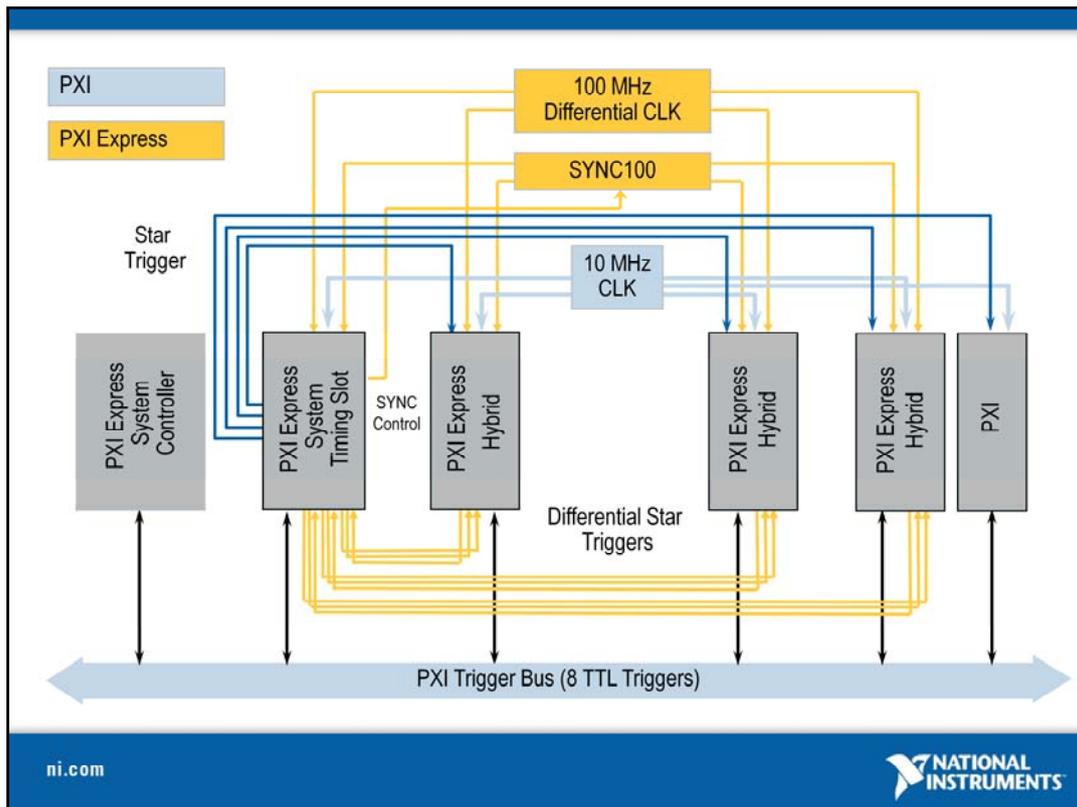
Die Ansteuerung des Chassis kann entweder als Remote-Verbindung über einen Standard-Desktop-Rechner/Laptop erfolgen oder als hochleistungsfähiger PXI-Embedded-Controller ausgeführt sein, auf dem ein Microsoft-Betriebssystem (wie etwa Windows XP/Vista) oder ein Echtzeitbetriebssystem (wie LabVIEW Real-Time/Pharlap ETS) eingesetzt wird. Der PXI-Controller verfügt über alle gängigen Schnittstellen aus der Mess- und Automatisierungstechnik, wie LAN, GPIB und RS-232, sowie Anschlüsse für USB und ExpressCards.

## NI PXIe-1062Q 8-slot Chassis (x4)

- Bis zu 1 GB/s dedizierte Bandbreite pro Slot
- Verfügbare Leistung: 354 W im Bereich von 0 to 55 °C
- "Quiet"-Betrieb (43.6 dBA) im Temperaturbereich von 0 - 30 °C
- AUTO-Geschwindigkeitsregelung des Lüfters basierend auf der Innentemperatur



- **1 PXI Express Timing slot**
- **2 Hybrid slots**
- **4 PXI slots**



Die Abbildung oben zeigt den elektrischen Aufbau des PXI-Busses. Zusätzlich zum PCI-Bus, der besonders robust und kompakt ausgeführt ist, steht ein zusätzlicher Triggerbus mit acht Leitungen zur Verfügung, ein Star Trigger (sternförmig, äquidistant) mit 13 Slot-spezifischen Leitungen, ein 10-MHz-Systemreferenztakt und ein zusätzlicher Local Bus (lokaler Bus). Der Star Trigger wird von einem separaten Controller gesteuert, um die Verwendung von CompactPCI-Modulen zu ermöglichen und es den Benutzern zu gestatten, diese Funktionalität nur im Bedarfsfall zu realisieren. Die einzelnen Komponenten bieten den folgenden Funktionsumfang:

*PXI Trigger Bus* – 8 zu einem Bus zusammengefasste Triggerleitungen (PXI\_TRIG\_0 bis 8) verbinden alle PXI-Steckplätze in einem Segment parallel, sodass sich mehrere Instrumente gegenseitig triggern und direkt auf Events (Ereignisse) reagieren können.

*10-MHz-Referenztakt* – Generiert einen hochstabilen 10-MHz-Takt, der separat über gleich lange Leitungen auf jeden Slot übertragen wird. Dadurch steht den Karten eine gemeinsame Zeitbasis zur Synchronisation von Ereignissen zur Verfügung.

*Star Trigger Bus* – Im PXI-System gibt es einen speziellen Slot zur Aufnahme eines Star-Trigger-Controllers, der es ermöglicht, dass die Überwachung, Kontrolle und das Routen von Triggersignalen mit sehr geringem Zeitversatz (< 1 ns) geschieht. Dies wird über separate Leitungen zwischen dem Star-Trigger-Slot und jedem einzelnen Peripherie-Slot realisiert.

*Local Bus* – Der lokale Bus besteht aus insgesamt 13 Leitungen. Er ermöglicht die Kommunikation zweier Geräte in benachbarten Slots. So können analoge und digitale Signale von einer Karte auf eine andere übertragen werden.

Die zusätzlichen Synchronisierungsmöglichkeiten von PXI Express sind als konsequente Ergänzung zum PXI-Standard zu sehen und eröffnen eine Vielzahl von neuen Anwendungsfeldern, insbesondere im Bereich von Hochgeschwindigkeitsanwendungen, oder wenn es darum geht möglichst präzise, korrelierte Messungen oder Generierung von Signalen vorzunehmen.

Um die (Abwärts-) Kompatibilität zu bestehenden Anwendungen zu gewährleisten, sind die ursprünglichen Synchronisationsmechanismen des PXI-Standard vollständig erhalten geblieben. Innerhalb eines sog. PXI-Hybrid-Chassis können somit PXI-Geräte aber auch PXI-Express-Geräte gleichzeitig zum Einsatz kommen, Daten über den Bus verschoben, gemeinsame Synchronisationsbedingungen implementiert und somit wie gewohnt im Verbund miteinander gearbeitet werden.

Weiterführende Informationen zu PCI /PXI Express:

Eine Einführung in PCI Express: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3540>

Tutorium zur PXI-Express-Spezifikation: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2876>

## Leistungsmerkmale der PXI-Controller von NI

- PXI(e)-Embedded-Controller
  - Intel Core2Duo mit 2,16 GHz, 2 GB RAM, Gigabit-LAN
  - 1 GByte/s Systembandbreite (x4-Link)
  - PATA/SATA Festplatte oder Flashdrive
  - Windows XP-Professional / Vista-Business / RTOS
- PXI(e)-Rackmount-Controller
  - Intel Core2Duo mit 3 GHz, 4 GB RAM, Gigabit-LAN
  - MXI-4 zur Anbindung an ein PXI-Chassis integriert (kaskadierbar)
- MXI-3/MXI-4 Remote-Controller
  - Anbindung des Chassis über PCI, PCI Express, CardBus oder ExpressCard an Laptop oder Desktop
  - Wahlweise über Lichtwellenleiter (LWL) oder Kupfer



Express-Controller PXIe-8106



Rackmount Express-Controller  
PXIe-8351



Remote-Chassis PXI-1033

ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Integrierte PXI-Controller sind die kompakteste Lösung. Aufgrund der Bauform und den Anforderungen für den industriellen Einsatz setzt National Instruments ausgewählte PC-Komponenten ein, die diesen Anforderungen hinsichtlich Robustheit und Leistungsfähigkeit genügen. Dies ist natürlich auch der Grund dafür, dass nicht alle kommerziellen Technologien in den PXI-Controllern wiederzufinden sind. Prozessoren mit sehr hoher Wärmeentwicklung, Mehrprozessorsysteme, Festplatten-RAID-Systeme etc. sind nicht in dem Formfaktor unterzubringen.

Für Anwendungen, in denen auf diese Systemkomponenten nicht verzichtet werden kann, wird ein PXI-Chassis über eine sog. MXI-Verbindung (Hochgeschwindigkeits-Link) an einen Steuerungsrechner transparent angebunden. Dies kann entweder ein herkömmlicher Desktop-PC, ein Laptop oder ein spezieller 19"-Rackmount-PC sein. Diese Verbindung ist für Windows und alle benötigten Softwarekomponenten völlig transparent, d. h. es ist kein spezieller Treiber notwendig und die Komponenten des PXI-Chassis verhalten sich so, als wären sie physikalisch im System selbst vorhanden. Die MXI-Technologie stellt dafür eine PCI-to-PCI-Bridge zur Verfügung und erweitert somit die Anzahl der PCI-Bus-Steckplätze (bzw. PXI-Bus) in einem externen Gehäuse.

Es gilt zu beachten, dass die Transferrate etwas geringer ist und die Latenzzeit für den Buszugriff etwas höher als bei einem Embedded-Controller. Die Buslatenzzeit wird insbesondere bemerkbar, wenn sehr viele Einzelpunkte übertragen werden, wie beispielsweise bei einer Regelung (keine Paketübertragung).

## Modulare Messgeräte

- Neben den Multifunktions-Datenerfassungskarten stehen 7 verschiedene Geräteklassen zur Verfügung
- Erfassung und Erzeugung verschiedener Signale bzw. Extraktion von Informationen aus dem Signal

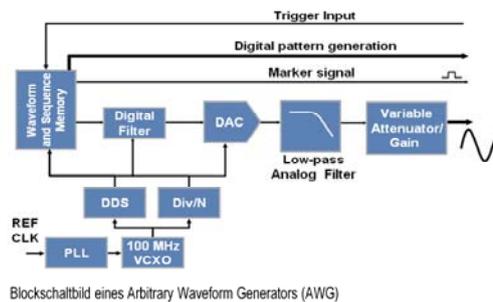
-  – Digitalmultimeter – DMM
-  – Oszilloskope – Scopes (Digitizer)
-  – Signalgeneratoren – Arbitrary Waveform Generatoren (AWG)
-  – Signalanalytoren – Dynamic Signal Analyzer (DSA)
-  – Netzteile – Power Supplies
-  – RF-Signalanalytoren/-generatoren – RF Signal Analyzers/Generators (RFSA/-G)
-  – Hochgeschwindigkeits-Digitaleingabe/-ausgabe – High-Speed Digital-I/O

ni.com

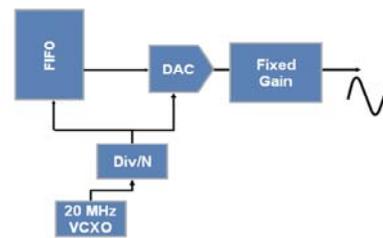


## Modulare Messgeräte – Der Hardwareaufbau als Grundlage ...

- Modulare Messgeräte erfüllen minimal die komplette Funktionalität eines Stand-alone-Gerätes
- Zu diesen Funktionen zählen u. a.
  - Messbereichswahl
  - Anti-Alias-Filter, AC/DC-Kopplung, Deglitching
  - Integrierte Anschlusstechnik (BNC, SMB)
  - Vergleichsweise viel Onboard-Speicher
  - Flexible Erzeugung von Taktsignalen



Blockschaltbild eines Arbitrary Waveform Generators (AWG)



Blockschaltbild einer AO-Karte

ni.com



National Instruments bietet neben den modularen Messgeräten auch verschiedene Varianten von Datenerfassungskarten für praktisch alle gängigen Bussysteme an. Diese reichen von einfachen USB-Digitalmodulen (USB 6259) bis hin zu hochkanaligen Multifunktionskarten für den PCI-Express-Bus. Wodurch unterscheiden sich diese Module von modularen Instrumenten?

Schaut man sich den Aufbau dieser Module im Strukturbild an, dann fällt auf, dass die Datenerfassungskarten vom messtechnischen Gesichtspunkt aus in der Regel lediglich aus drei Komponenten bestehen: Verstärker, DAC und Multiplexer.

Ein modulares Messgerät hingegen beinhaltet Schaltungselemente, die die Güte der Messung maßgeblich verbessern. Digitale und analoge Filter, flexible Verstärker und zusätzlich je nach Bedarf Speicherbausteine und spezielle Bauteile zur Synchronisation mehrerer Module gehören ebenfalls dazu. Modulare Messgeräte sind somit direkt messbereit und bieten durch SMB- oder BNC-Stecker auch direkte Anschlussmöglichkeiten an Prüflinge, wohingegen Datenerfassungskarten sehr oft noch durch externe Signalkonditionierung und Anschlusstechnik ergänzt werden müssen.

## Modulare Messgeräte für PXI

Digitalmultimeter – DMM



Oszilloskope – Scopes (Digitizer)



Signalgeneratoren – Arbitrary Waveform Generator (AWG)



Signal-Analysatoren – Dynamic Signal Analyzer (DSA)



Netzteile – Power Supplies



RF-Signalgeneratoren/-analysatoren – RFSA/G



Hochgeschwindigkeits Digitalein/-ausgabe – High-Speed Digital-I/O



ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Die Auswahl an modularen Messgeräten für PXI ist vielfältig und deckt im Wesentlichen alle Anforderungsprofile ab. Die Möglichkeit des Vergleichs bietet sich unter

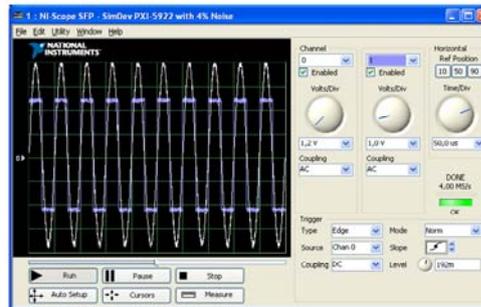
[www.ni.com/modularinstruments/d](http://www.ni.com/modularinstruments/d)

## Modulare Messgeräte – Die Software definiert die Funktion

Die Funktion eines Modulare Instruments ist komplett in Software implementiert

Beispiel: Oszilloskop

- Sofort einsetzbare Benutzeroberflächen (Soft-Frontpanels)
- Erweiterung der Mess- und Analysefunktionen
  - Signalanalyse im Zeitbereich
  - Signalanalyse im Frequenzbereich
  - Modulation und Demodulation von Signalen
  - Statistische Auswertungen
- Kombination mit weiteren modularen Instrumenten
  - Synchronisation untereinander möglich
  - Programmierung von Mixed-Signal-Analysatoren



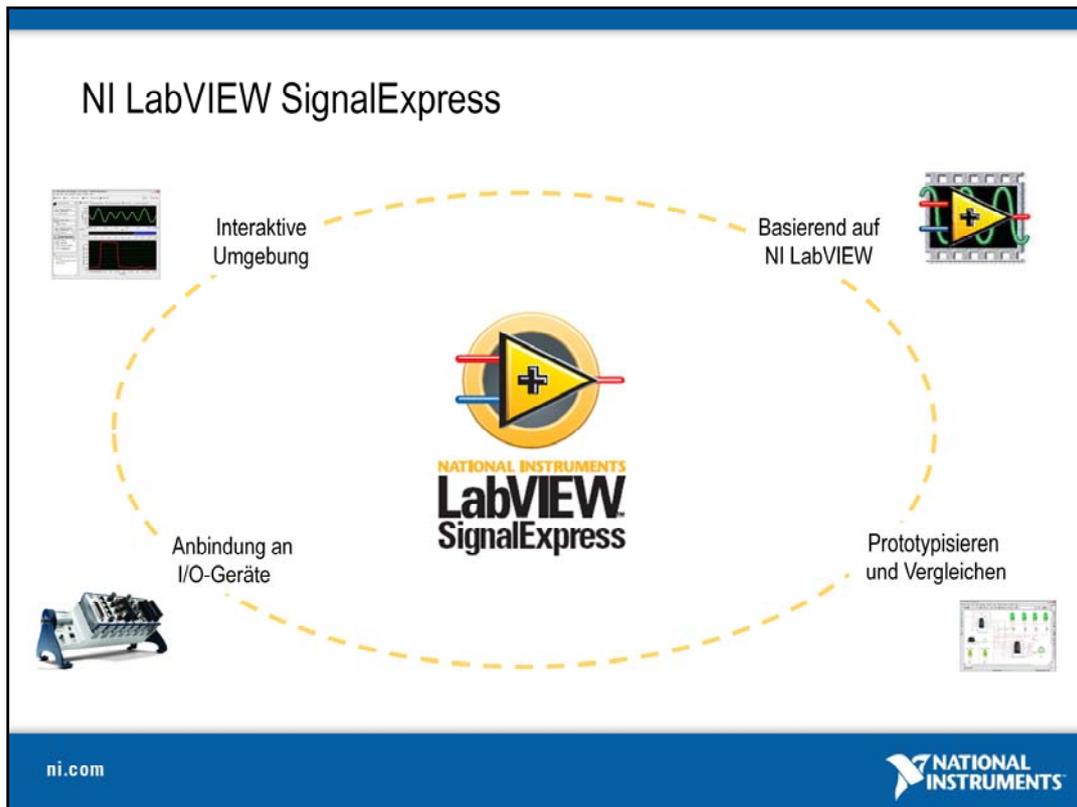
Soft-Frontpanel (SFP) eines National Instruments Digitizers (NI-Scope)

ni.com



Einer der größten Vorteile modularer Messgeräte ist die softwareseitige Definition aller Funktionen. Dem Anwender stehen unterschiedliche Softwarewerkzeuge zur Verfügung, die ihm entweder die konfigurationsbasierte oder programmatische Lösung seiner individuellen Funktionalität erlaubt. Während bei Stand-alone-Geräten der Funktionsumfang durch den Hersteller definiert ist, hat der Anwender bei modularen Geräten jederzeit die Möglichkeit, den Funktionsumfang um spezifische Funktionen zu erweitern.

Neben dem komplett frei definierbaren Funktionsumfang enthält der Treiber für ein modulares Instrument (Beispiel Digitizer: NI-Scope) auch immer ein sog. Soft-Frontpanel (SFPs). Dabei handelt es sich um ein sofort ablauffähiges Programm mit dem der Basisfunktionsumfang eines Stand-alone-Gerätes abgedeckt werden kann.

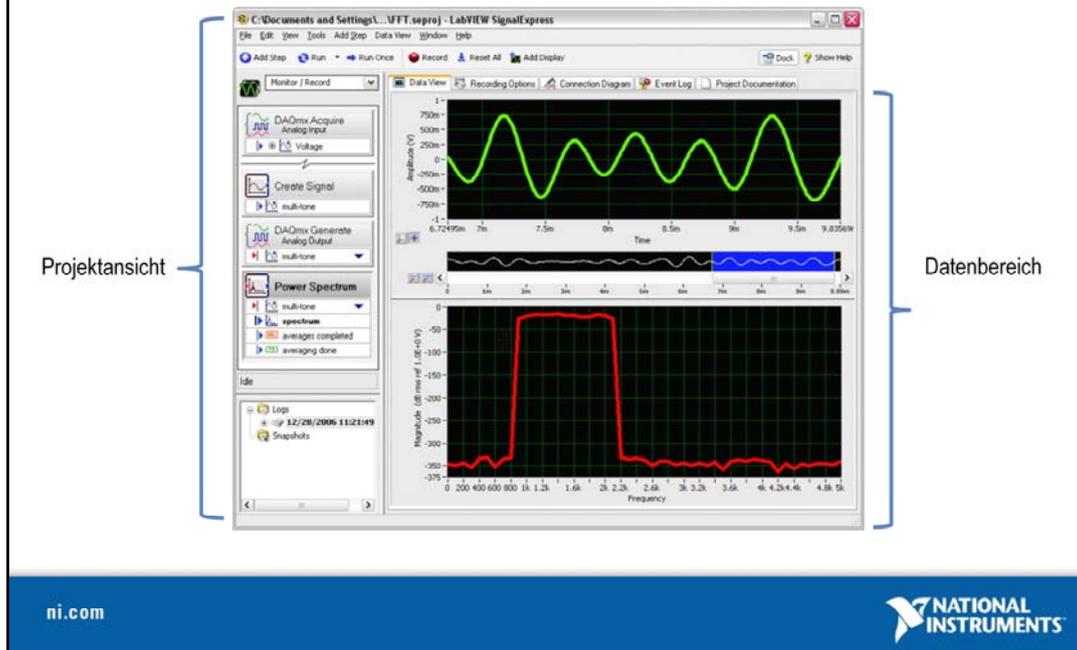


NI LabVIEW SignalExpress ist eine interaktive, konfigurationsbasierte Messsoftware mit Drag-and-drop-Funktionen zur Durchführung gängiger Datenerfassungs-, -analyse- und -darstellungsaufgaben mit Stand-alone- und modularen Messgeräten. In LabVIEW SignalExpress erstellte Projekte basieren auf der Technologie von NI LabVIEW und können automatisch in den grafischen LabVIEW Code konvertiert werden, um individuelle Benutzeroberflächen zu entwickeln oder hypothetische Szenarien aufzustellen und anschließend Analysen durchzuführen, die nicht direkt in LabVIEW SignalExpress verfügbar sind.

Die Inbetriebnahme eines Messgeräts, die Anbindung als I/O-Gerät und die Einstellung aller Parameter ist eine aufwendige und zeitintensive Aufgabe, insbesondere, wenn mehrere Messungen durchgeführt oder mehrere Messgeräte verwendet werden sollen. Mithilfe von LabVIEW SignalExpress können Stand-alone- und PC-gestützte modulare Messgeräte gesteuert werden, um Messaufgaben, wie z. B. Frequenzsprünge und Grenzwertüberprüfung, zu automatisieren. Zusätzlich lassen sich während des Messvorgangs Analysen durchführen, was wiederum zu Zeiteinsparungen führt.

Mit LabVIEW SignalExpress können über 300 verschiedene Stand-alone-Messgeräte von zahlreichen namenhaften Herstellern sowie modulare Messgeräte von National Instruments angebunden und gesteuert werden. Modulare Messgeräte installieren LabVIEW SignalExpress Treiber automatisch, wenn die jeweiligen Gerätetreiber installiert sind.

## Die Arbeitsumgebung von LabVIEW SignalExpress

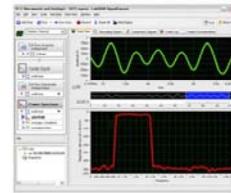


Beim Arbeiten mit NI LabVIEW SignalExpress fällt kein Programmieraufwand an, da die Funktion des erzeugten Programms komplett konfiguriert werden kann. Die Oberfläche besteht im wesentlichen aus zwei Hauptteilen – der Projektansicht und dem Datenbereich. Während in der Projektansicht die einzelnen Programmschritte organisiert und konfiguriert werden, dient der Datenbereich im wesentlichen zur Visualisierung der Mess- und Ausgabedaten zu Laufzeit.

Mithilfe der intuitiven Drag-and-drop-Funktionalität von LabVIEW SignalExpress lassen sich Daten sofort erfassen, anspruchsvolle Analysen durchführen und benutzerdefinierte Berichte erstellen. Aufgrund der Unterstützung von Hunderten von Datenerfassungs-, modularen und Stand-alone-Messgeräten können Anwendungen zur Datenprotokollierung und Gerätesteuerung schnell automatisiert werden.

## Integrierte Anbindung an I/O-Geräte

- Einfache Anbindung an hunderte von Geräten über unterschiedliche Busse
- Integration in bestehende Prüfsysteme
- Interaktives Erfassung und Analyse von Messdaten
- Aufzeichnung von Messdaten per Mausclick



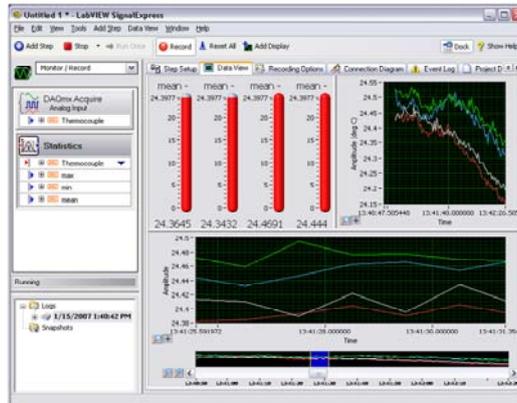
ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Durch die Integration der National Instruments Gerätetreiber (wie DAQmx, etc.) erhält LabVIEW SignalExpress eine direkte Anbindung an ein Vielzahl von Geräten über unterschiedliche Bussysteme. Damit können sowohl Datenerfassungsanwendungen, als auch bestehende Prüfsysteme angeschlossen werden. Durch den interaktiven Aufbau von LabVIEW Signal Express lassen sich sehr einfach unterschiedliche Messaufgaben und anschließende Analysefunktionen konfigurieren. Die stets sichtbaren Online-Daten lassen sich jederzeit mit einem Mausclick archivieren.

## Datenvisualisierung

- Individuelle Konfiguration der Ansicht
- Drag-and-Drop-Konfiguration
- Mehrere Ansichten innerhalb einer Anwendung möglich
- Beliebige Achsenskalierung
- Große Auswahl an Anzeigeelementen
- Arbeiten mit Positionsmarken



ni.com



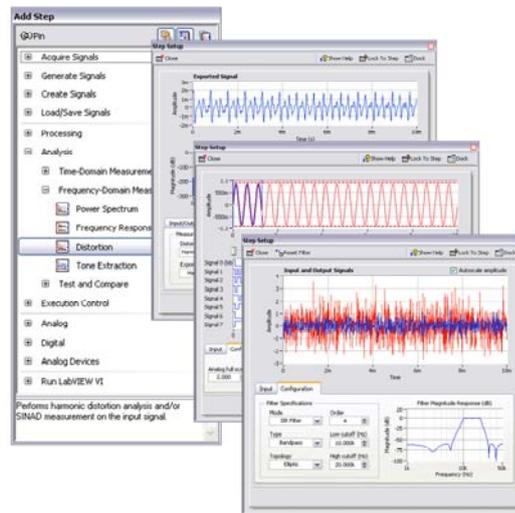
Ein LabVIEW SignalExpress Projekt (\*.seproj) besteht aus einzelnen Programmschritten, die zusammen ein vollständiges Programm repräsentieren. Jeder Programmschritt in der linken Projektansicht enthält einen Konfigurationsdialog, über den der einzelne Programmschritt konfiguriert werden kann. Dabei können Sie die aktuellen Online-Signale im oberen Vorschauenfenster betrachten. Bei Konfiguration eines Programmteils oder bei Variation einzelner Parameter ist die Auswirkung auf das zu erfassende oder auszugebende Signal unmittelbar zu im Vorschauenfenster zu erkennen.

Es werden im Projekt zwei verschiedene Modi unterschieden – Aufnahme und Anzeige (Monitor/Record) und ein reiner Abspielmodus (Playback). In beiden Modi werden zur Laufzeit Daten eingelesen bzw. ausgegeben. Jedoch sorgt nur der Aufnahmemodus dafür, dass die Daten auch nach Abschluss noch zur Sichtung, weiterer Verarbeitung oder Speicherung zur Verfügung stehen.

Vor oder während der Messung können einzelne Kanäle oder komplette Kanalgruppen per Drag and drop von der Projektansicht in die Datenansicht zur Visualisierung gezogen werden. Dort entsteht automatisch ein geeignetes Anzeigeelement, z. B. eine Graphanzeige zur Visualisierung der Messdaten. Hier ist es möglich, die Anzeigeform nachträglich zu anzupassen um eine entsprechende Skalierung und Formatierung zu erhalten. Die Daten können mit Positionsmarken näher untersucht werden. Für Skalaren stehen andere Anzeigenelemente wie Thermometer oder einfache Drehpulinstrumente zur Auswahl.

## Analyse von Signalen während der Messung

- Integrierte Analysefunktionen
  - Signalverarbeitung  
(Statistik, Histogramme, Limit-Test, Signalvergleiche, Dämpfung, Amplitude, Filterfunktionen, Signalwandlung etc.)
  - Zeitbereichsmessungen
  - Frequenzbereichsmessungen
  - Vergleich digitaler Signale
- Einfach konfigurierbare Analyseschritte
- Ergebnisse werden online sichtbar



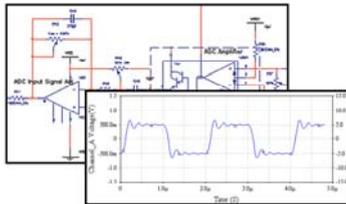
ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

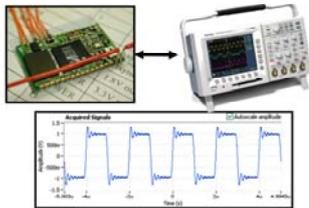
LabVIEW Signal Express dient aber nicht nur der Datenerfassung, der Signalausgabe und der Visualisierung von Messdaten. Im Vergleich zu vielen konventionellen Datenloggersystemen können die Messdaten mit LabVIEW SignalExpress bereits online analysiert werden.

Neben den eigentlichen Datenerfassungsschritten gibt es dazu noch weitere integrierte Analyseschritte, die ebenfalls über einen Dialog frei parametrisiert werden können. Zu diesen zählen Funktionen zur Signalverarbeitung im Zeit- und Frequenzbereich, Filterfunktionen, sowie fundamentale statistische Berechnungen. Somit ist es möglich, bereits während der Messung die ersten Ergebnisse zu visualisieren und ggf. die Messparameter bei laufender Messung anzupassen.

## Vergleich von Messdaten mit Simulationsdaten

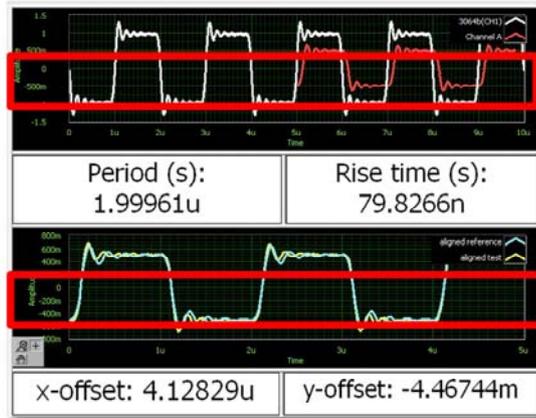


Schaltungssimulation



Prototypenverifikation

Rohdaten aus Simulation und Messung



Interaktive Signalkorrelation

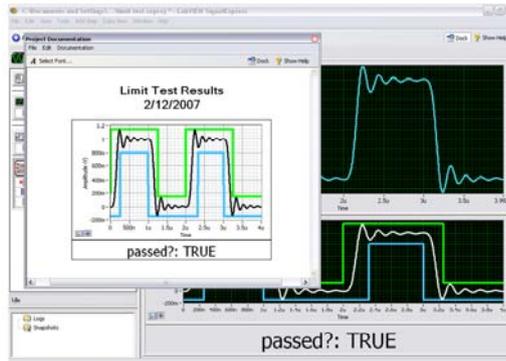
ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Mithilfe von LabVIEW Signal Express lassen sich zusätzlich auch Ergebnisse von Schaltungssimulationen, die beispielsweise mit dem LabVIEW Simulation Module erzeugt wurden oder im SPICE-Format vorliegen, einbinden. Das bedeutet, dass durch eine direkte qualitative und quantitative Gegenüberstellung von Simulationsergebnissen und Messdaten eine korrekte Funktion von Schaltkreisen verifiziert werden kann, was bei der Entwicklung von Prototypen für elektronische Schaltkreise eine große Rolle spielt.

## Interaktive Berichterstellung

- Report zeigt Live-Ansicht der Daten
- Drag and drop von Graphen und Anzeigeelementen
- Freie Eingabe von beschreibendem Text
- Ausgabe auf Drucker
- Speichern im HTML-Format für weitere Publikation
- Export zu MS-Excel



ni.com

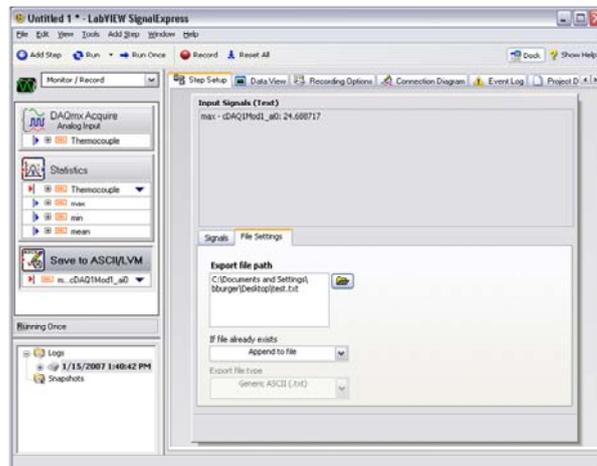


Sind die Messwerte erfasst und ausgewertet, ist es oft notwendig, die Messergebnisse in eine repräsentative Form für die Dokumentation zu überführen. Über die Projektdokumentation in LabVIEW Signal Express ist es möglich, automatisiert einen Report mit ausgewählten Messergebnissen und Graphen zu erstellen. Auch dies geschieht interaktiv über Drag and drop, indem Datensätze bzw. Kanäle direkt aus der Projektansicht in ein Anzeigenelement auf der leeren Dokumentationsvorlage übernommen werden. Zusätzlich können freie Beschriftungen hinzugefügt oder die Einstellungen editiert werden.

Ist der Report vollständig angelegt, kann dieser ausgedruckt oder im HTML-Format abgespeichert werden. Des Weiteren lässt sich der Report auch zu MS Excel exportieren.

## Datenspeicherung/-archivierung

- Datenspeicherung auf Festplatte im TDMS-Datenformat<sup>[4]</sup>
- Unterstützung von ASCII-Export
- Direkter Datenexport in Microsoft Excel per Drag and drop



ni.com



Eine grundlegende Funktion eines Datenloggersystems ist die kontinuierliche Aufzeichnung von Messdaten auf ein Speichermedium. Diese Funktion ist bereits in LabVIEW SignalExpress integriert. Über die Aufnahmeoptionen werden die zu protokollierenden Kanalgruppen und Kanäle ausgewählt und können dann zur Laufzeit direkt auf der Festplatte als TDMS-Datei oder ASCII-Datei gespeichert werden. TDMS-Dateien können für fortgeschrittene Datenanalysen und Reporterstellungen in NI DIAdem geöffnet werden. Über das textbasierte Format (ASCII) können die aufgezeichneten Daten auch in Excel weiterverarbeitet werden. Noch einfacher ist die Übernahme der Messwerte im Anzeigebereich von LabVIEW SignalExpress per Drag and drop in MS Excel.

[4] TDMS = Technical Data Management Streaming: Spezielles NI Dateiformat, das die Daten in kompakter Form binär ablegt und die Organisation der Daten nach Gruppen und Kanälen in einer separaten, XML-basierten Header-Datei abspeichert (TDM). Um diese Informationen auch mit großen Geschwindigkeiten ablegen zu können, wurde das TDMS-Format entwickelt, welches ein Streaming der Daten erlaubt

Mehr zum technischen Datenmanagement unter:

<http://www.ni.com/tdm/d>

## Was gilt allgemein für Daten-Streaming-Applikationen?

Typische, kontinuierliche Streaming-Raten für Festplatten (PATA, IDE):

- Laptop ~ **10 bis 20 MByte/s**
- Desktop ~ **20 bis 40 MByte/s**
- PXI-Controller ~ **20 bis 40 MByte/s**

Voraussetzungen für maximale Streaming-Raten:

- Verwendung von leeren (low-level-formatierten) Festplatten auf den äußeren Spuren (Rims)
- Defragmentierung der Festplatten (Minimierung der Zugriffszeiten)
- Trennung von System-/Datenfestplatten (Keine Partitionen verwenden!)
- Verwendung von performanten Festplatten (Puffergröße, RPM etc.)

Alternativen zur Erhöhung des Datendurchsatzes:

- Hardware-RAID-Systeme mit Byte-Striping
- Direct-to-Disk Streaming von Daten

ni.com



Während die Frage nach einem Medium für eine schnelle Übertragung von Daten durch die PXI-Express-Technologie weitestgehend beantwortet wird, muss darüber hinaus noch gewährleistet werden, dass eine kontinuierliche Speicherung der Daten über einen langen Zeitraum hinweg möglich ist.

Da sich ein Onboard- oder Systemspeicher (RAM) für Datenstreaming-Applikationen in den meisten Fällen als zu kostenintensiv, nicht verfügbar und/oder schlichtweg zu klein erweist, wird für diese Art der Anwendung häufig auf handelsübliche Festplatten zurückgegriffen, die allerdings nicht ohne zusätzlichen Aufwand die Datenraten erreichen, die mit Onboard-Speichern realisiert werden können. Typischerweise liegen diese in Bereichen bis 60 MByte/s, was allerdings von mehreren Randbedingungen abhängt, damit ein Maximum an Schreib-/Lesegeschwindigkeit erreicht werden kann.

Zu diesen eher allgemeinen, systemunabhängigen Anforderungen zählt beispielsweise die Trennung der Daten- und Systemplatten (keine Partitionen verwenden!), damit Zugriffe auf den Programmcode oder das Betriebssystem den Streaming-Vorgang nicht negativ beeinflussen bzw. unterbrechen. Denn physikalisch gesehen ist nur ein Speichermedium vorhanden. Das Speichermedium sollte zudem leer, low-level-formatiert und defragmentiert sein, wenn Datensätze immer erneut ergänzt werden. Es empfiehlt sich zudem, dass Speicher auf den äußeren Spuren (outer rim) des Datenträgers reserviert werden, da bei Bewegung des Schreibkopfes zu den inneren Spuren (inner rim) die Schreib-/Lesegeschwindigkeit deutlich abnimmt. Dass das Betriebssystem für sich und andere Prozesse von außen her beginnt, den Speicher zu reservieren, begründet ebenfalls, dass für die Daten ein separates Medium verfügbar sein sollte. Nicht zuletzt ist darauf zu achten, dass der interne Zwischenspeicher (Buffer) der Festplatte möglichst groß ist (> 8 MByte) und dass diese mit einer hohen Drehzahl rotiert (bspw. 10000 U/min.), da auch so ein Leistungszuwachs zu erwarten ist.

Reicht die Übertragungsrate bei Berücksichtigung all dieser Kriterien nicht aus, so muss auf Alternativen wie beispielsweise ein RAID-System oder eine Technologie wie Direct-to-Disk Streaming zurückgegriffen werden.

## RAID-Systeme (Redundant Array of Independent Disks)

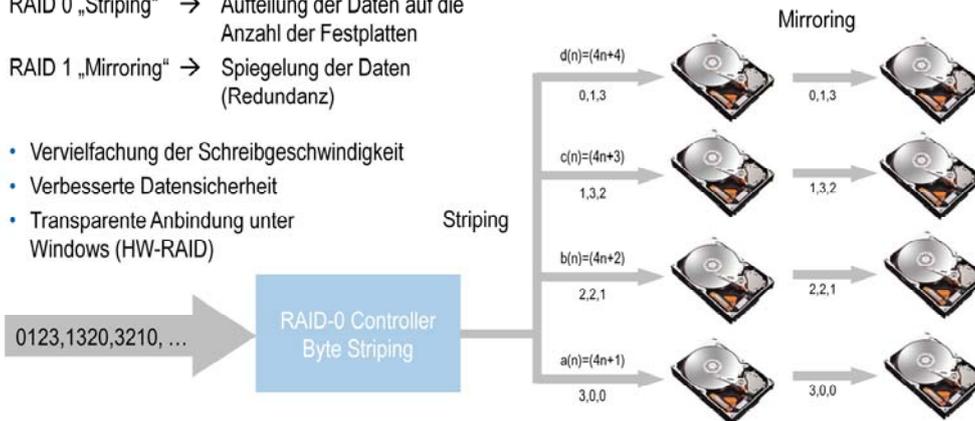
Mehrere Festplatten formieren gemeinsam ein logisches Laufwerk ...

Unterscheidung der RAID-Typen:

RAID 0 „Striping“ → Aufteilung der Daten auf die Anzahl der Festplatten

RAID 1 „Mirroring“ → Spiegelung der Daten (Redundanz)

- Vervielfachung der Schreibgeschwindigkeit
- Verbesserte Datensicherheit
- Transparente Anbindung unter Windows (HW-RAID)



ni.com

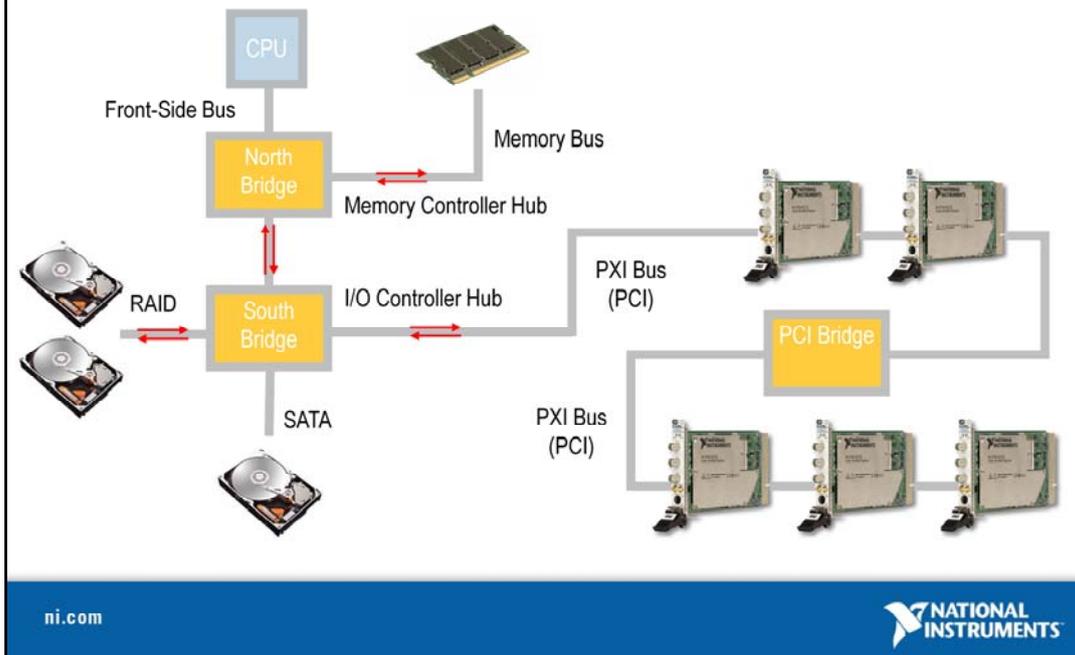
NATIONAL INSTRUMENTS

Innerhalb eines RAID-Systems kommen mindestens zwei Festplatten zum Einsatz, wobei ein RAID-Controller die Organisation der Daten auf den Festplatten übernimmt. Während ein System vom Typ RAID-1 die anfallenden Daten lediglich auf beide Festplatten kopiert (sog. „Spiegelung“ oder auch „Mirroring“) und somit durch Redundanz der Daten die Datensicherheit erhöht, kann mit einem RAID-0 (sog. „In Streifen zerlegen“ oder Striping) der Datendurchsatz vervielfältigt werden, da der Datenstrom auf zwei oder mehrere Festplatten verteilt wird. Um im Schadensfall noch alle Daten verfügbar zu haben, wird der letztere Typ meist kombiniert, sodass sich ein RAID-System vom Typ RAID 0/1 ergibt. Kommen in einem RAID-1 mehr als zwei Festplatten zum Einsatz, können sehr hohe Datenraten erreicht werden, die lediglich durch die Bandbreite des angeschlossenen Bussystems (PCI, PCI-X, PCI Express) begrenzt werden.

Der Vorteil eines solchen Systems liegt zum einen in den vergleichsweise niedrigen Systemkosten und in der transparenten Anbindung. Nach der Konfiguration des RAID-Controllers, die festlegt, wie die Daten auf die angeschlossenen Festplatten verteilt werden, kann das System unter Windows und anderen Betriebssystemen als eine einziges lokales Speichermedium angesprochen werden (C:\...). Die CPU und das Betriebssystem sind in diesem Fall fast komplett vom Datentransfer entbunden, weshalb diese Form des RAIDs auch als Hardware-RAID (HW-RAID) bezeichnet wird.

Im Gegensatz dazu sind auch sog. Software-RAIDs (SW-RAID oder Host-based RAID) verfügbar. Wie der Name bereits zeigt, handelt es sich hierbei um ein RAID, welches komplett in Software organisiert wird, d.h., im System können mehrere Festplatten zum Einsatz kommen, die über die Standard-Controller integriert werden. Ein solches System bezeichnet man auch als JBOD („Just a bunch of disks“). Diese Form des RAID ist für Data-Streaming Applikationen NICHT zu empfehlen, da keine gleichbleibende Schreib-/Lese-Leistung garantiert werden kann, und die Daten-Streaming Rate deutlich geringer ausfällt.

## Hardware-RAID-Systeme im Einsatz – PXI

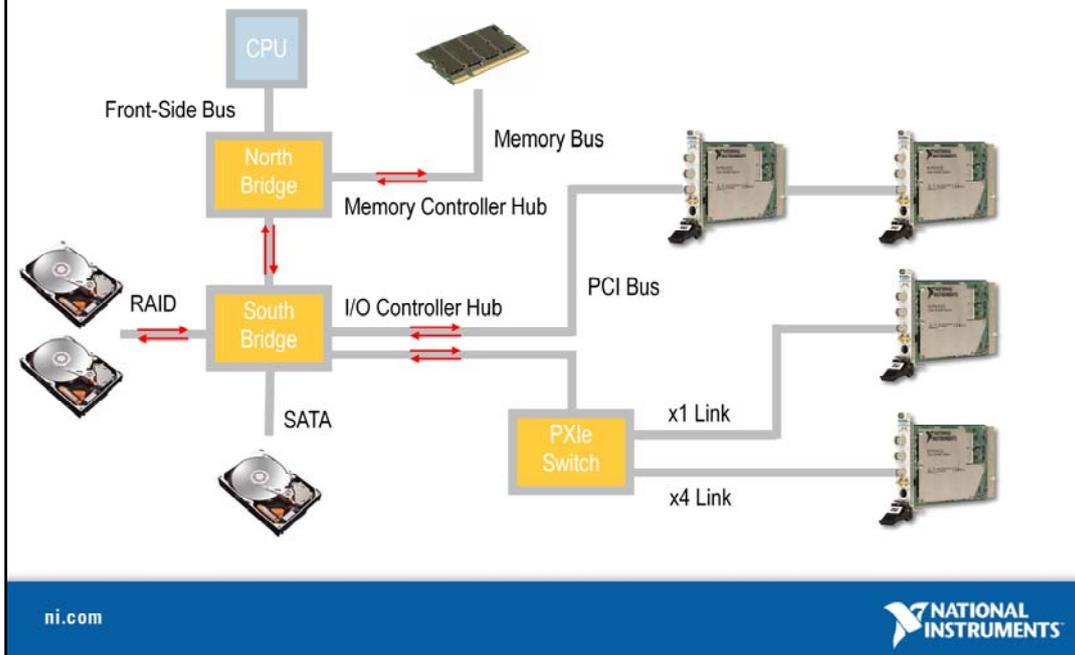


Unabhängig davon, ob ein RAID-Controller direkt im System vorhanden ist oder ob über eine externe Schnittstelle zugegriffen wird (z. B. ExpressCard), kommunizieren die Endgeräte mit dem RAID über die sog. „Southbridge“ [oder auch „I/O-Controller Hub (IHC)“ genannt]. Dies ist ein Teil des Chipsatzes des Motherboard, der den Datentransfer und die Datensteuerung zwischen peripheren Geräten steuert. Im Gegensatz dazu dient die sog. „Northbridge“ [oder auch „Memory Controller Hub (MCH)“] zur Steuerung des Datentransfers zwischen der CPU (über den Front Side Bus, FSB), dem RAM (Memory Bus) und der Grafikkarte (AGP). Beide Chips (Northbridge und Southbridge) sind über einen Systembus (PCI im Falle von PXI) verbunden.

An die Southbridge ebenfalls angeschlossen ist der PCI-Bus, über den alle Datenerfassungsgeräte integriert werden. Um die Anzahl der Geräte zu erhöhen, die gleichzeitig am Bus aktiv sind, werden bei großen PXI-Systemen sog. PCI-Bridges verwendet, die den Anschluss von mehreren PXI-Geräten erlauben.

Mit dem Anschluss einer Vielzahl von Geräten steigt insgesamt aber auch die PXI-Buslast, da pro Gerät keine dedizierten Verbindungen verwendet werden, sondern alle Geräte parallel am PCI-Bus hängen und die maximal 133 MByte/s übertragen werden können. Das RAID-System bildet in diesem Falle nicht den „Flaschenhals“ bei der Kommunikation, da theoretisch höhere Datenraten möglich wären, aber auch der Controller nur die Bandbreite des PCI-Bus zur Verfügung hat.

## Hardware-RAID-Systeme im Einsatz – PXI Express



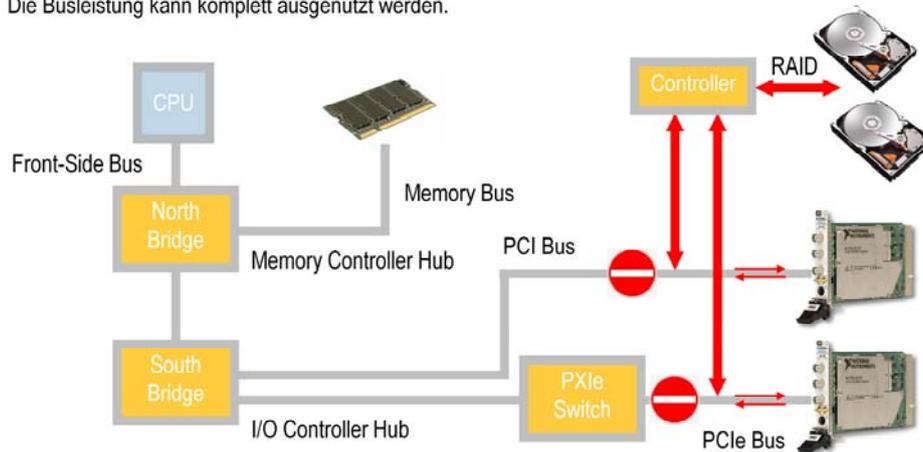
Bei der Verwendung der neueren Generation von PXI-Systemen, sog. PXI-Hybrid-Systemen (z. B. PXIe-1062Q Chassis) werden aus Kompatibilitätsgründen sowohl der traditionelle PXI-Bus als auch der PXI-Express-Bus zur Verfügung gestellt. PXI Express baut dabei wie gehabt auf der PCI-Express-Technologie auf und ermöglicht daher die Anbindung von Peripherie über die Express-Verbindungen.

Dabei übernimmt der sog. PXIe Switch die Aufgabe des dedizierten Verbindungsaufbaus mit den Endgeräten und entscheidet also über die Anzahl der Lanes, die zu einem Endgerät führen. Er steuert auch die Kommunikation mit der Southbridge. Die Verbindung zur Northbridge und zum RAID-System (Express RAID-Controller) ist ebenfalls als Express-Verbindung ausgeführt. Somit kann die von den Endgeräten produzierte/konsumierte Datenmenge optimal über den Bus übertragen werden.

In modernen Designs werden South- und Northbridge sowie der PXIe Switch zu einer Einheit zusammengefasst, die den kompletten Datentransfer zur Peripherie, der CPU und dem Arbeitsspeicher steuert.

## Direct-to-Disk Streaming

- Direct-to-Disk Streaming benötigt zusätzlichen Festplatten-Controller.
- Daten werden direkt zur/von der Festplatte vom/zum Gerät verschoben.
- Die Busleistung kann komplett ausgenutzt werden.



ni.com

NATIONAL  
INSTRUMENTS

Um die Systembusse weiter zu entlasten und den Datendurchsatz nochmals zu steigern, kann die sog. Direct-to-Disk-Streaming-Technologie zum Einsatz kommen. Wie der Name hier bereits vermuten lässt, können die Daten in diesem Fall ohne einen Umweg über den Bus auf die Festplatten verschoben werden bzw. von den Festplatten ausgegeben werden. Dazu ist ein spezieller PXI-Festplatten-Controller notwendig, der den Datenverkehr regelt und die Daten direkt auf den Bus legt oder von dort abgreift. Bei der Erfassung wird das PXI-Gerät mit dem Controller kombiniert und schreibt direkt über eine Speicheradresse aus dem Gerätespeicher direkt auf die Festplatte. Im umgekehrten Fall werden die Daten direkt im Gerätespeicher abgelegt.

## Streaming-Lösungen von National Instruments

- NI-8262 RAID-Controller x4-Link
- HDD-8264 (2U-Einheit)
  - 12 SATA Festplatten
  - 3 TByte Gesamtspeichervolumen
  - 600 MByte/s Lesen/Schreiben
- HDD-8263 (1U-Einheit)
  - 4 SATA Festplatten
  - 1 TByte Gesamtspeichervolumen
  - 200 MByte/s Lesen/Schreiben
- Unterstützung von Windows File Systemen
- Rackmount Montage



ni.com

 NATIONAL  
INSTRUMENTS

# Enddesign und Verifikation der Auswerteelektronik für den ortsauflösenden Neutronendetektor am EXED

SEI-Tagung Ruhr Universität Bochum 2007

## HMI-Berlin, WTE

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

20.11.2007

Seite: 1

## Ziele

- Optimierung der differentiellen Nichtlinearität
- Implementierung einer Kalibriermethode für Verstärkungsdifferenzen
- Verifikation von Auflösung und differentieller Nichtlinearität über Rohrlänge

20.11.2007

Seite: 2

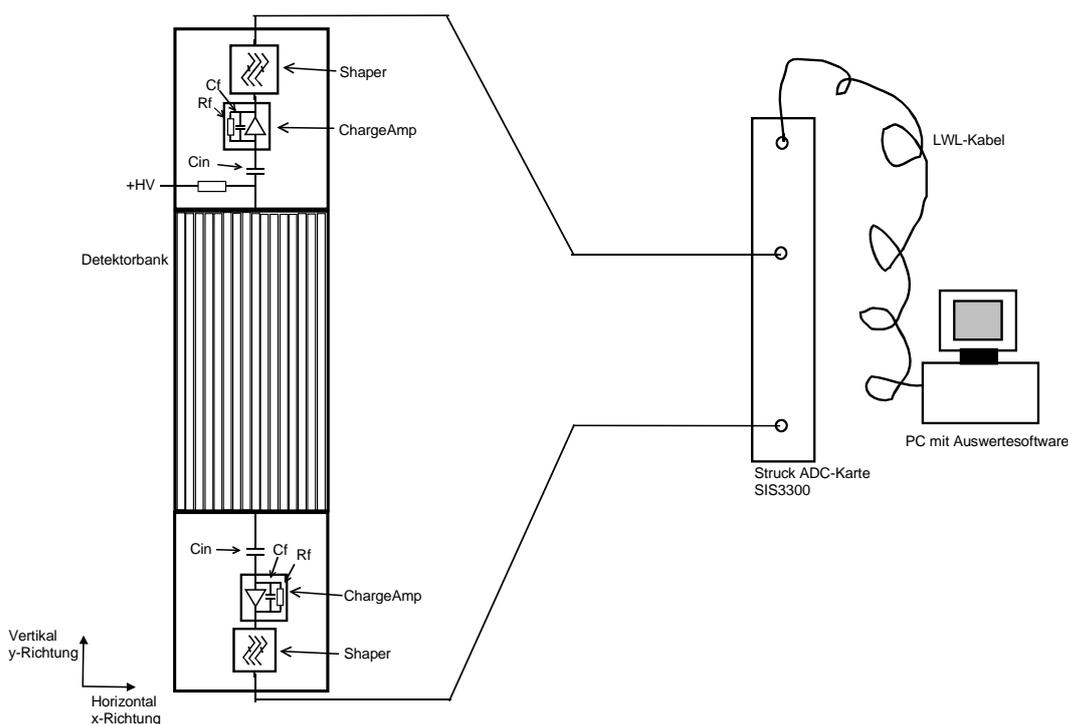
# Inhalt

- Meßaufbau am V17
- Kalibrierung der Verstärkungsdifferenzen
- Meßergebnisse
- Zusammenfassung

20.11.2007

Seite: 3

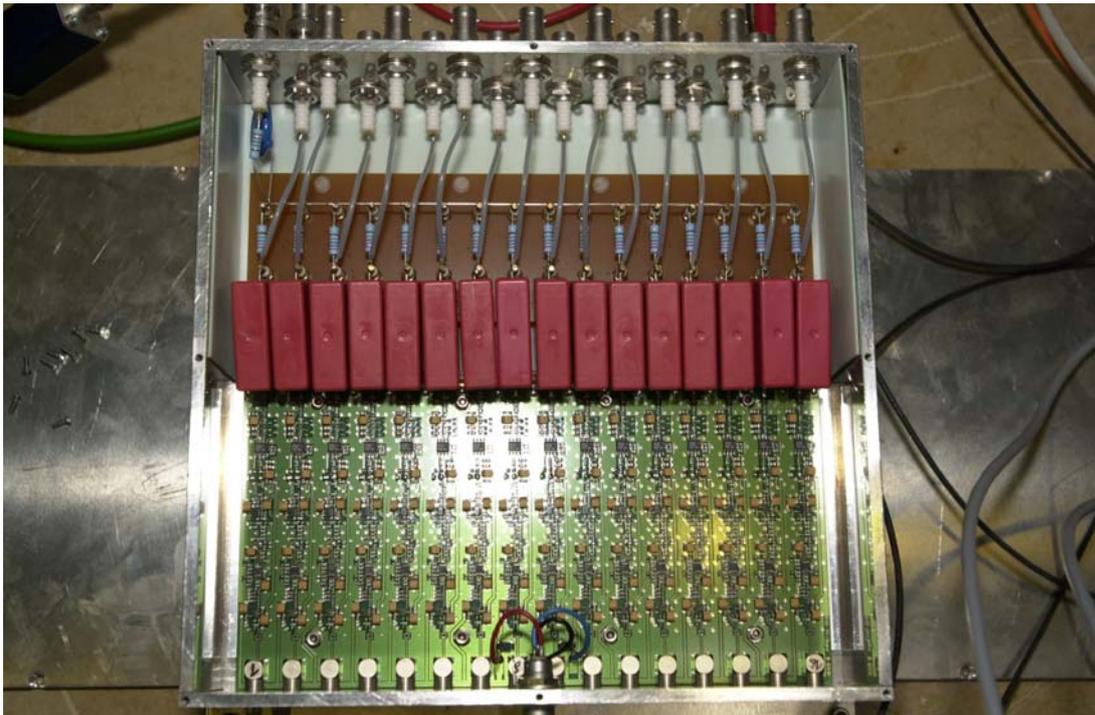
# Meßaufbau Elektronik



20.11.2007

Seite: 4

# Vorverstärker



20.11.2007

Seite: 5

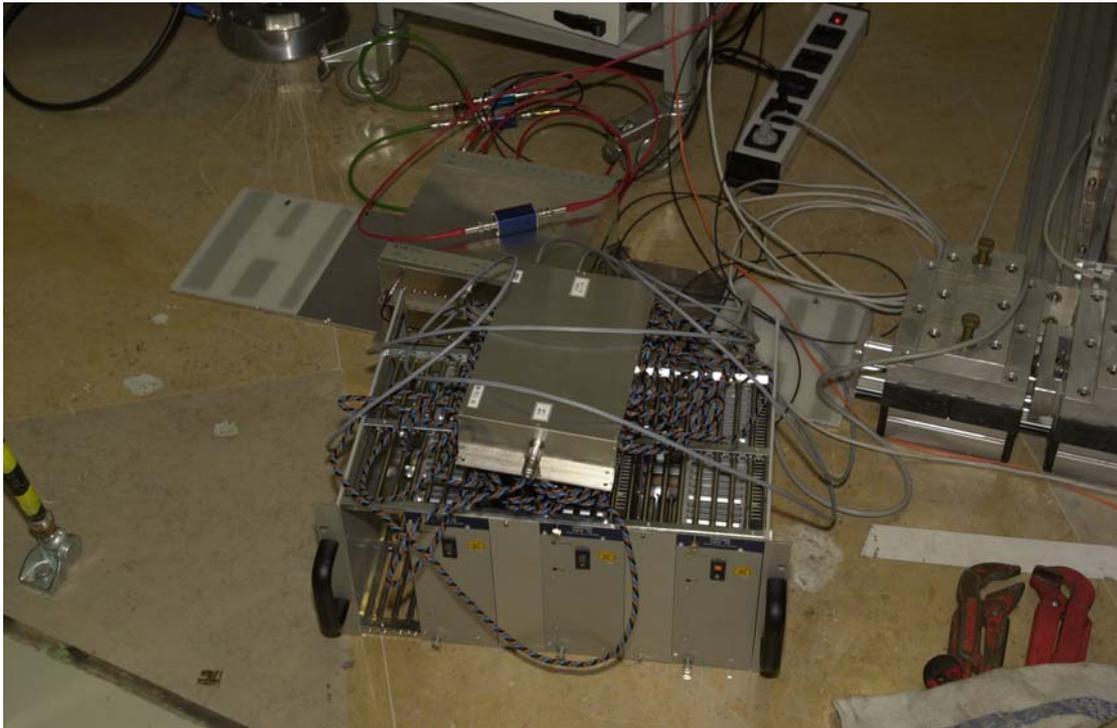
# ADC-Karten



20.11.2007

Seite: 6

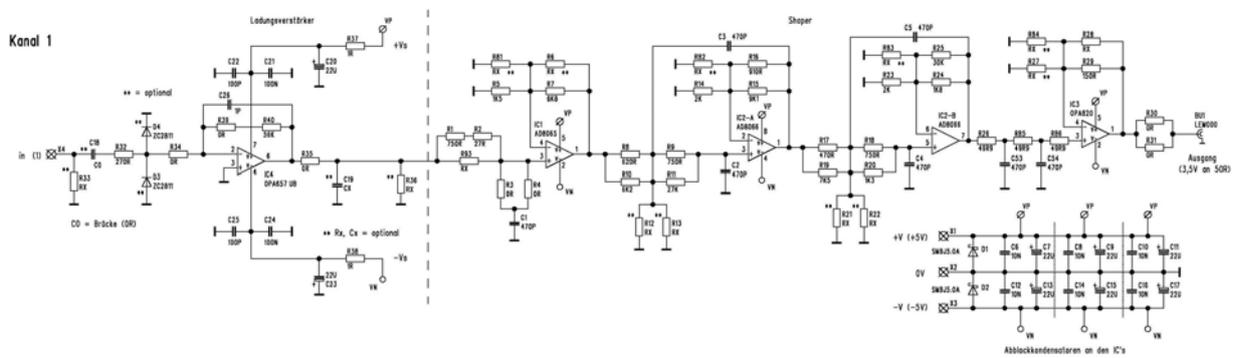
# Netzteil



20.11.2007

Seite: 7

# Schaltung



20.11.2007

Seite: 8

# Mechanische Parameter Detektorrohr

Benutzte Rohre



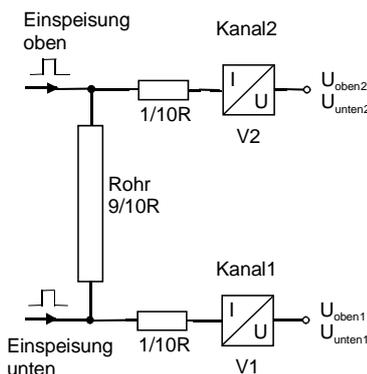
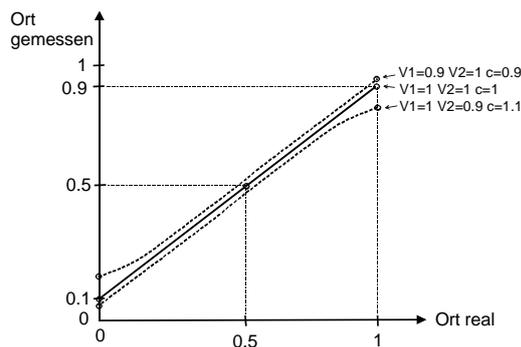
Tube #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Resistance [kOhm]	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Wire Diameter [µm]	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
Tension [g]	10,1	10,0	9,6	11,5	11,6	4,6	8,6	13,2	17,0	16,0	16,8	13,5	23,7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

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

20.11.2007

Seite: 9

# Warum muß kalibriert werden?

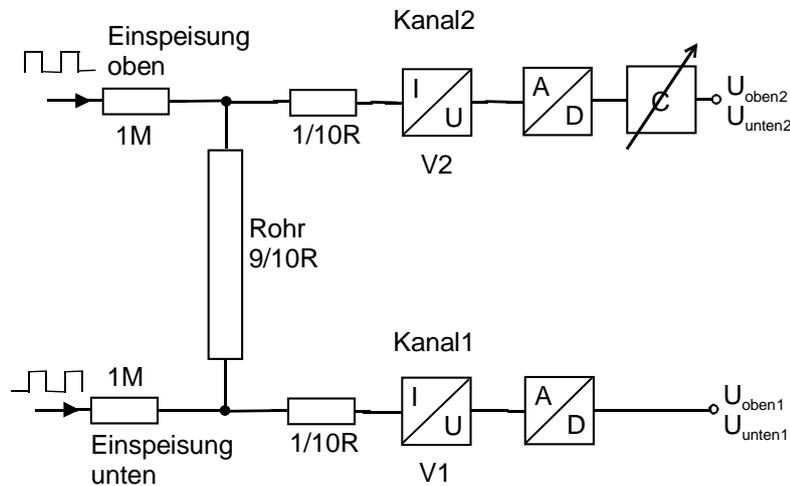
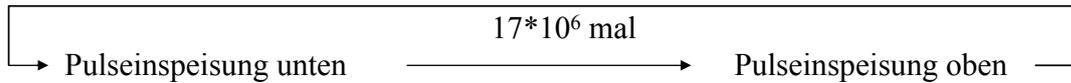


$V_2 < V_1$ $V_1=1$ ; $V_2=0.9$	$V_1=V_2=1$ ideal	$V_2 > V_1$ $V_1=0.9$ ; $V_2=1$
$ort\_unten = \frac{U_{unten2}}{U_{unten1} + U_{unten2}}$ $= \frac{0.9 \cdot 1/10}{9/10 + 0.9 \cdot 1/10} = 0.09$ $ort\_oben = \frac{U_{oben2}}{U_{oben1} + U_{oben2}}$ $= \frac{0.9 \cdot 9/10}{1/10 + 0.9 \cdot 9/10} = 0.89$	$ort\_unten = \frac{U_{unten2}}{U_{unten1} + U_{unten2}}$ $= \frac{1/10}{9/10 + 1/10} = 0.1$ $ort\_oben = \frac{U_{oben2}}{U_{oben1} + U_{oben2}}$ $= \frac{9/10}{1/10 + 9/10} = 0.9$	$ort\_unten = \frac{U_{unten2}}{U_{unten1} + U_{unten2}}$ $= \frac{1/10}{0.9 \cdot 9/10 + 1/10} = 0.11$ $ort\_oben = \frac{U_{oben2}}{U_{oben1} + U_{oben2}}$ $= \frac{9/10}{0.9 \cdot 1/10 + 9/10} = 0.909$

20.11.2007

Seite: 10

# Kalibrierverfahren



- Abwechselnde Impulseinspeisung
- Messung von  $U_{oben1}$ ,  $U_{oben2}$ ,  $U_{unten1}$ ,  $U_{unten2}$  als Mittelwerte aus  $17 \cdot 10^6$  Einzelimpulsen
- Berechnung des Korrekturfaktors  $c$

20.11.2007

Seite: 11

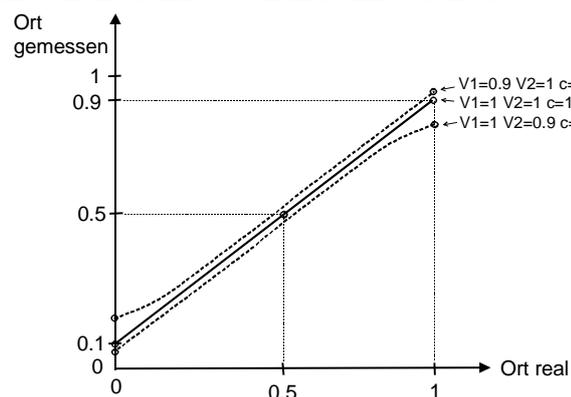
# Berechnung des Korrekturfaktors

$$ort\_unten = 1 - ort\_oben$$

$$\frac{c \cdot \overline{U_{unten2}}}{\overline{U_{unten1}} + \overline{U_{unten2}}} = 1 - \frac{c \cdot \overline{U_{oben2}}}{\overline{U_{oben1}} + \overline{U_{oben2}}}$$

$$c^2 \cdot \overline{U_{unten2}} \cdot \overline{U_{oben2}} - \overline{U_{unten1}} \cdot \overline{U_{oben1}} = 0$$

$$c = \sqrt{\frac{\overline{U_{unten1}} \cdot \overline{U_{oben1}}}{\overline{U_{unten2}} \cdot \overline{U_{oben2}}}}$$



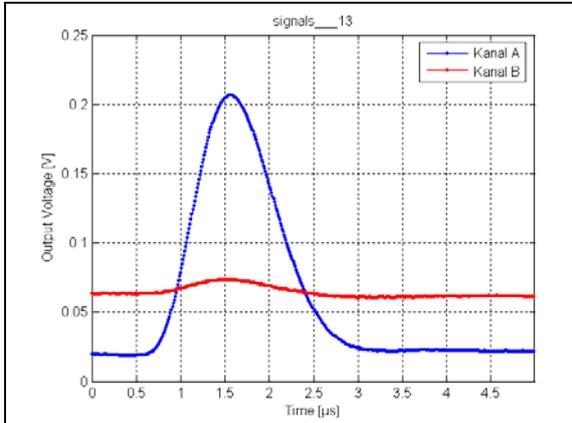
- Genauigkeit >12bit auch in störbehafteter Umgebung
- Unabhängig von Toleranzen in der Einspeisung (Generator, Widerstand)
- Amplitude und Pulsbreite der Kalibrierpulse ist kritisch

20.11.2007

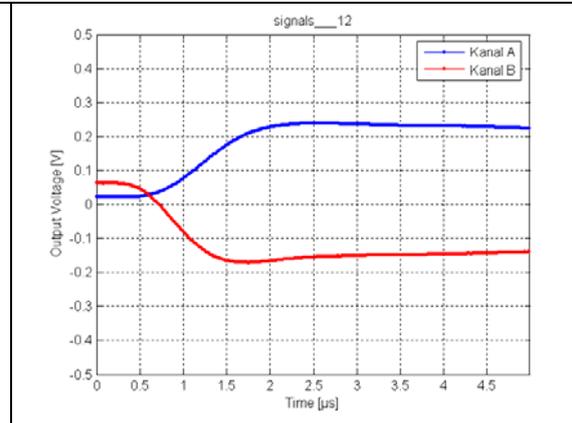
Seite: 12

# Dunkelzählrate

- Kein Rohr nur Elektronik
- Spannung 2500V
- Triggerschwelle 2.1%
- Meßdauer 66.5h
- Dunkelzählrate 0.21 counts/h



sparking events 1



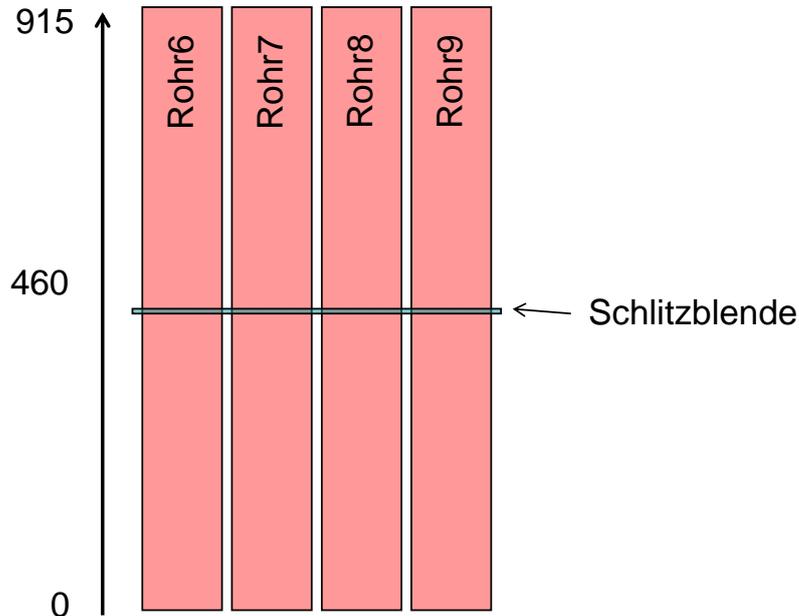
Noise events 13

20.11.2007

Seite: 13

# Vertikaler Scan (y-Richtung)

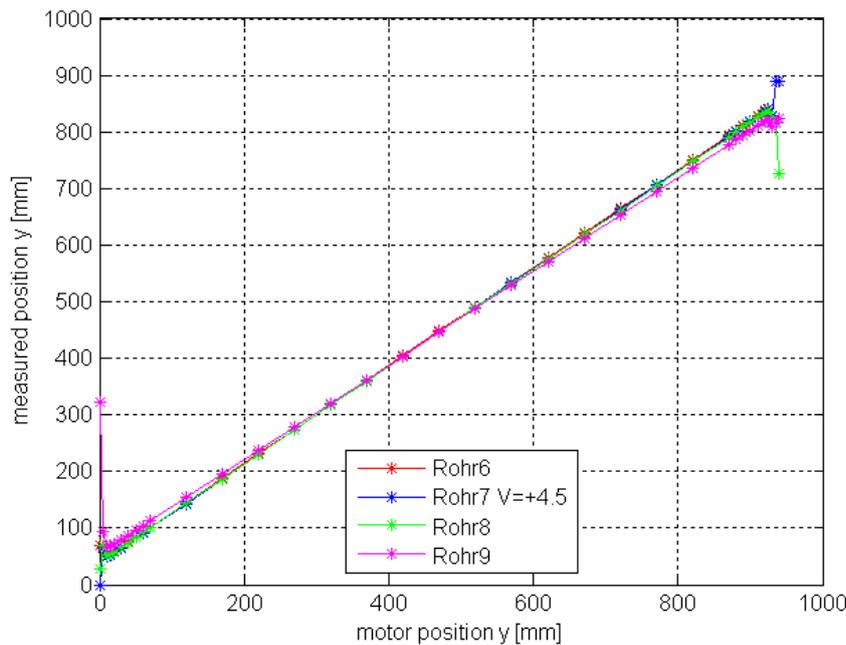
motor position  
y [mm]



20.11.2007

Seite: 14

# Rohrkennlinie

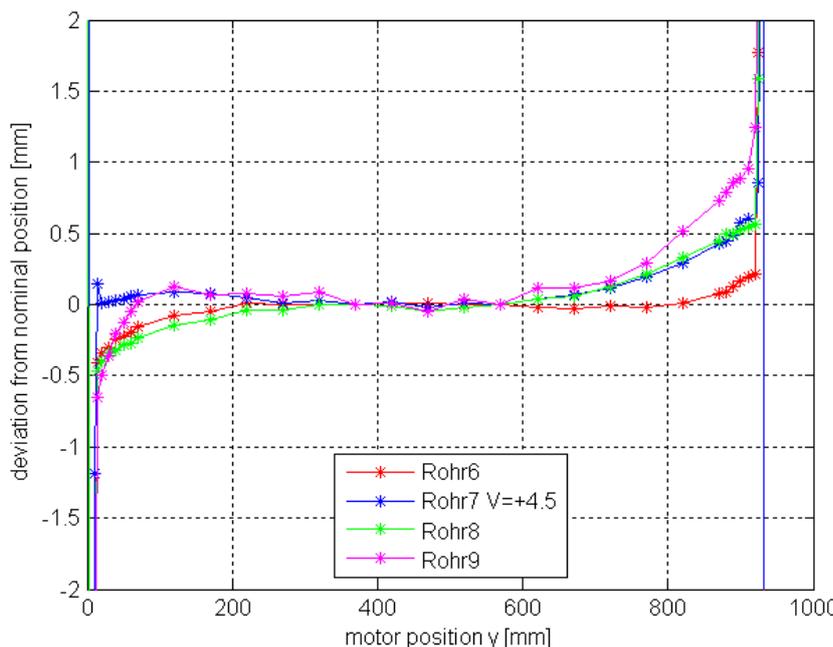


940mm Vertikal Scan  
 6mm Schlitz horizontal  
 UHV: 2350V  
 Zuviel Stoppgas  
 ChargeAmp:  $C_{in}=15\text{nF}$ ,  
 $R_f=56\text{k}$ ,  $C_f=1\text{pF}$ ,  $R_s=270\Omega$   
 Shaping:  $1\mu\text{s}$  fwhm  
 Meßdauer: 60s  
 Bins: 1000  
 Trigger: 5%  
 Keine Untergrundkorrektur  
 Verstärkungsfaktoren:  
 Angepaßt auf beste diff.  
 Nichtlinearität  
 $C_6=1.02$  ;  $C_7=0.955$  ;  
 $C_8=1.015$  ;  $C_9=1.007$

20.11.2007

Seite: 15

# Positionsabweichung

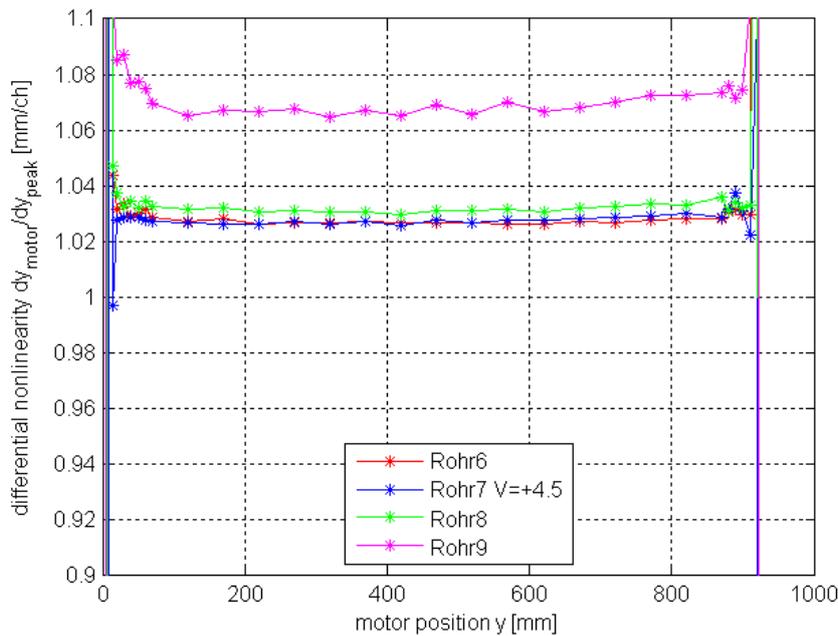


940mm Vertikal Scan  
 6mm Schlitz horizontal  
 UHV: 2350V  
 Zuviel Stoppgas  
 ChargeAmp:  $C_{in}=15\text{nF}$ ,  
 $R_f=56\text{k}$ ,  $C_f=1\text{pF}$ ,  $R_s=270\Omega$   
 Shaping:  $1\mu\text{s}$  fwhm  
 Meßdauer: 60s  
 Bins: 1000  
 Trigger: 5%  
 Keine Untergrundkorrektur  
 Verstärkungsfaktoren:  
 Angepaßt auf beste diff.  
 Nichtlinearität  
 $C_6=1.02$  ;  $C_7=0.955$  ;  
 $C_8=1.015$  ;  $C_9=1.007$

20.11.2007

Seite: 16

# Differentielle Nichtlinearität

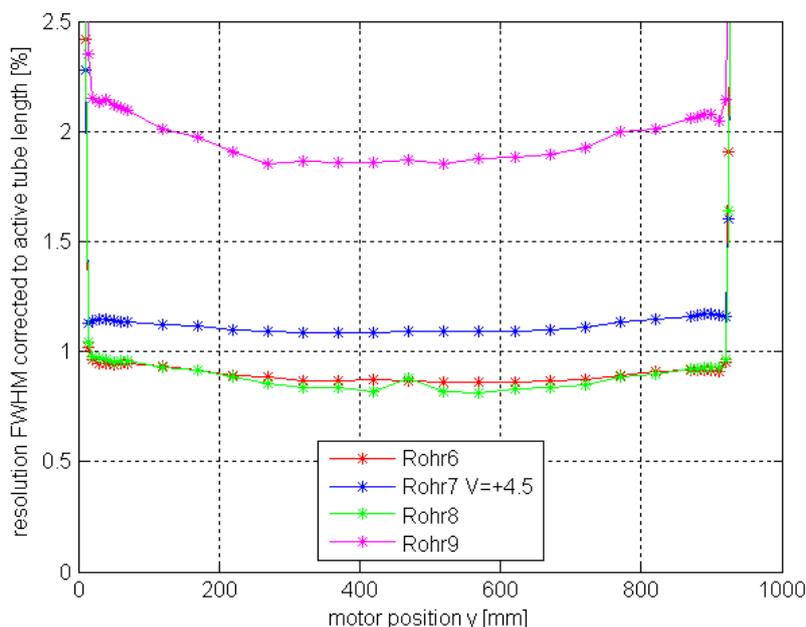


940mm Vertikal Scan  
 6mm Schlitz horizontal  
 UHV: 2350V  
 Zuviel Stoppgas  
 ChargeAmp:  $C_{in}=15nF$ ,  
 $R_f=56k$ ,  $C_f=1pF$ ,  $R_s=270\Omega$   
 Shaping:  $1\mu s$  fwhm  
 Meßdauer: 60s  
 Bins: 1000  
 Trigger: 5%  
 Keine Untergrundkorrektur  
 Verstärkungsfaktoren:  
 Angepaßt auf beste diff.  
 Nichtlinearität  
 $C_6=1.02$  ;  $C_7=0.955$  ;  
 $C_8=1.015$  ;  $C_9=1.007$

20.11.2007

Seite: 17

# Auflösung

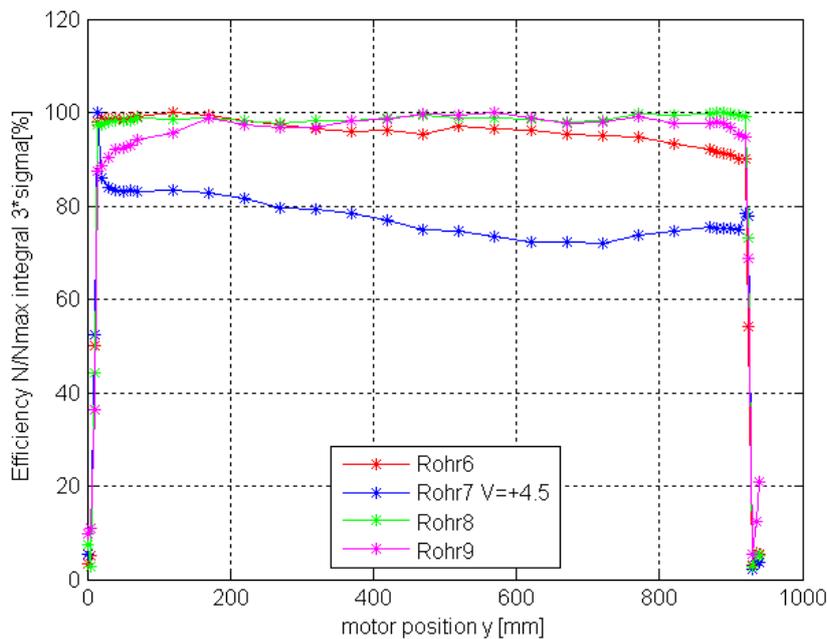


940mm Vertikal Scan  
 6mm Schlitz horizontal  
 UHV: 2350V  
 Zuviel Stoppgas  
 ChargeAmp:  $C_{in}=15nF$ ,  
 $R_f=56k$ ,  $C_f=1pF$ ,  $R_s=270\Omega$   
 Shaping:  $1\mu s$  fwhm  
 Meßdauer: 60s  
 Bins: 1000  
 Trigger: 5%  
 Keine Untergrundkorrektur  
 Verstärkungsfaktoren:  
 Angepaßt auf beste diff.  
 Nichtlinearität  
 $C_6=1.02$  ;  $C_7=0.955$  ;  
 $C_8=1.015$  ;  $C_9=1.007$

20.11.2007

Seite: 18

# Nachweiseffizienz



940mm Vertikal Scan  
 6mm Schlitz horizontal  
 UHV: 2350V  
 Zuviel Stoppgas  
 ChargeAmp:  $C_{in}=15\text{nF}$ ,  
 $R_f=56\text{k}$ ,  $C_f=1\text{pF}$ ,  $R_s=270\Omega$   
 Shaping:  $1\mu\text{s}$  fwhm  
 Meßdauer: 60s  
 Bins: 1000  
 Trigger: 5%  
 Keine Untergrundkorrektur  
 Verstärkungsfaktoren:  
 Angepaßt auf beste diff.  
 Nichtlinearität  
 $C_6=1.02$  ;  $C_7=0.955$  ;  
 $C_8=1.015$  ;  $C_9=1.007$

20.11.2007

Seite: 19

# Zusammenfassung

- Auflösung  $<1\%$
- Differentielle Nichtlinearität  $<1\%$
- Positionsabweichung  $<1\text{mm}$
- Verstärkungsdifferenz zwischen einzelnen Kanälen  $\pm 0.1\%$
- Kalibrierverfahren implementiert
- Projekt abgeschlossen

20.11.2007

Seite: 20

# Enddesign und Verifikation der Auswerteelektronik für den ortsauflösenden Neutronendetektor am EXED

Dr. S. Bönisch, S. Dube, Th. Kleisch, Dr. B. Namaschk, Dr. F. Wulf,  
Hahn-Meitner-Institut Berlin

## Zusammenfassung

Für den neuen ortsauflösenden Neutronendetektor am EXED (extreme environment diffractometer) am HMI wurde ein Meßverfahren sowie die dazu nötige Auswerteelektronik entwickelt und verifiziert. An einem 2. Prototypen des ortsempfindlichen Neutronendetektors wurden dazu an einer weißen Neutronenquelle (BER-II, V17) umfangreiche Messungen und Optimierungen durchgeführt. Insbesondere sollte die differentielle Nichtlinearität optimiert werden. Hierzu mußte ein Kalibrierverfahren zum Abgleich der Verstärkungsdifferenzen implementiert werden.

Aus der Detektorbank mit ihren insgesamt 16 Einzelrohren wurden gleichzeitig die Rohre 6-8 mit  $6.8\text{k}\Omega$  Rohrwidestand,  $15\mu\text{m}$  Drahtdurchmesser sowie Rohr 9 mit  $4.8\text{k}\Omega$  Rohrwidestand,  $18\mu\text{m}$  Drahtdurchmesser mit ca.  $13\text{pF}$  Rohrkapazität bei  $2350\text{V}$  und einer daraus resultierenden Gasverstärkung von etwa 100 vermessen. Die Gasfüllung enthielt zuviel Stoppgas, wodurch nur eine kleine Gasverstärkung erreicht wurde. Die Vorverstärker (I-U Konverter) mit nachgeschalteten Shapern (Shapingzeit  $1\mu\text{s}$  fwhm gaussförmig) wurden direkt auf der Detektorbank montiert. Eine ADC-Karte der Fa. Struck (SIS3300) mit integrierter Peakwerterfassung und Pile-up Unterdrückung sowie ein PC mit Meßsoftware ermöglichten die Datenaufnahme und Abspeicherung der Meßwerte. Bei der Messung wurde die gesamte Detektorbank in y-Richtung verfahren und dabei an mehreren Punkten über jeweils 60s Meßdauer eine Orts- und Summenverteilung bei Bestrahlung mit Neutronen gemessen. Die Meßdatenaufnahme erfolgte gleichzeitig an 4 Rohren (Rohre 6-9) an ca. 35 Meßpunkten in y-Richtung mit 50mm Abstand innen bzw. 10mm Abstand in der Nähe der Rohrenden über die gesamte Rohrlänge (940mm). Nach einem Fitting (Gauß-Fit) der Rohdaten wurden Effizienz, Auflösung und Rohrlinearität über der Rohrlänge berechnet.

### Kalibrierverfahren:

Um eine differentielle Nichtlinearität von  $\leq 1\%$  über die gesamte Rohrlänge zu erreichen muß die Verstärkung der beiden an den Rohrenden angeschlossenen Verstärker genau abgeglichen werden. Dazu werden an den Rohrenden abwechselnd oben und unten Kalibrierimpulse definierter Größe ( $17\text{e}6$  Einzelimpulse a  $0.5\text{pC}$ ,  $500\text{ns}$  Pulsbreite) eingespeist. Die gemessenen Ausgangsamplituden werden gemittelt und mit Hilfe einer Symmetriebedingung der Verstärkungskorrekturfaktor  $c$  für einen Verstärkungskanal berechnet. Durch dieses Verfahren läßt sich selbst in störbehafteter Umgebung eine Meßgenauigkeit von  $>12\text{bit}$  erreichen. Das Verfahren ist inhärent unabhängig von der Genauigkeit der Einspeisung (Einspeisewiderstände) und des Generators. Jedoch sind Amplitude und Pulsbreite der verwendeten Kalibrierimpulse kritisch in Bezug auf die exakte Lage des Kalibrierpunktes. Im realen Einsatz muß demzufolge die Pulsamplituden- und Pulsbreitenverteilung echter Neutronenereignisse zur Verstärkungskalibrierung herangezogen werden. Dies wird z.B. dadurch erreicht werden, daß der Verstärkungskorrekturfaktor auf beste differentielle Nichtlinearität bei einer realen Vermessung des Detektorrohres eingestellt wird.

Ergebnisse der Dunkelzählratenmessung:

Die Dunkelzählrate der Auswerteelektronik begrenzt die Auflösung bei kleinen Zählraten. Mit 0.21 Ereignissen pro Stunde konnte hier ein sehr guter Wert erreicht werden.

Ergebnisse des vertikalen Scans (y-Richtung):

Die Nachweiseffizienz ist fast über die gesamte Rohrlänge  $\geq 90\%$ . Die Auflösung bezogen auf eine Rohrlänge von 900mm und 1000 Histogrammklassen (channels) ist über die gesamte Rohrlänge  $\leq 1\%$ . Im Falle des Rohres mit  $4.8k\Omega$  Rohrwiderstand verringert sich die Auflösung auf ca. 2%. Die differentielle Nichtlinearität ist mit  $\leq 1\%$  über die gesamte Rohrlänge exzellent. Dies wurde durch den Einsatz von Stromverstärkern (Abfallzeitkonstante 56ns) anstelle von Ladungsverstärkern, durch eine reduzierte Shapingzeit ( $1\mu s$  fwhm gaussförmig), durch den Einsatz von Rohrverlängerungswiderständen ( $270\Omega$ ) sowie durch die Verstärkungskorrektur s.o. erreicht. Die Positionsabweichung von einer linearen 2-Punkt Kalibrierung des Rohres ist mit  $< 1mm$  über die gesamte Rohrlänge ebenfalls exzellent.

Die hier erzielten Ergebnisse lassen deutlich erkennen, daß die geforderten Parameter der Spezifikation von 2006 selbst bei Verwendung von Detektorrohren mit falscher Gasfüllung sicher eingehalten werden können. Die Entwicklung des Analogteils der Auswerteelektronik ist damit abgeschlossen.



powerBridge  
Computer

powerBridge Computer, Kay Klockmann

## Das Unternehmen

- Gegründet 1993
- Sitz in Burgwedel/Hannover
- Gesellschafter: Susanne Görke
- Geschäftsführer: Thomas Hannemann
- Produkte namhafter Hersteller
- Eigene Entwicklung und Fertigung für kundenspezifische Produkte und Systeme
- Fundierte Erfahrungen mit Echtzeit-Applikationen



powerBridge  
Computer

# Kernkompetenzen



- Vermarktung von Computer-Boards und -Systemen in Anwendungen in der Telekommunikation, Industrieautomation, Telematik und Wehrtechnik
- Integration von Komplettsystemen auf Basis von Standardkomponenten
- Konzeption, Fertigung und Lieferung von Systemen nach Kundenspezifikation
- Beratung und Support durch eigene erfahrene Vertriebsingenieure



# Produkte

The screenshot shows the powerBridge Computer website. The top navigation bar includes 'powerBridge', 'Standorte', 'Hersteller', 'Kataloge', 'Aktuell', and 'Know-how'. A search bar is on the left. The main content area features a 'Product News' section with three articles:

- Low Cost MicroTCA:** Erstes Simple MicroTCA Chassis von powerBridge Computer. Das [SMT-RM8](#) ermöglicht MicroTCA preiswert zu nutzen
- N.A.T. vereinfacht mit dem NAMC-EXT** die Entwicklung von AMC-Modulen
- Tews TAMC100** Mid Size AMC-Modul mit IndustryPack-Steckplatz ermöglicht die Integration von Standard-I/O in MicroTCA Systemen. Über [50 I/O-Funktionen](#) stehen zur Verfügung

Below the news section are three product highlights:

- powerBridge Computer stellt Simple MicroTCA vor**  
1. Juni 2007 Simple MicroTCA definiert einen reduzierten und eindeutigen Funktionsumfang für ein MicroTCA-System mit dem Ziel MicroTCA durch Vereinfachung und Kostenreduzierung für den Industrieinsatz nutzbar zu machen. Dieses Ziel ist mehr als erreicht: [weiter](#)
- Low Power, Low Cost 3HE CompactPCI CPU-Board cPCI-3600**  
15. März 2007 Das neue ADLINK 3HE CPU-Board basiert auf AMDs CS5536 Chipsatz mit einem Geode LX800 Prozessor. Bis zu 1256 MB DDR-400 RAM sind möglich, es hat VGA Graphik- und AC97 Audio-Schnittstellen, zwei Ethernet Ports, opt. 2.5" Festplatte, ... [mehr](#)
- MicroTCA System mit 11 AMC-Steckplätzen**  
5. März 2007 Motorola stellt mit dem Centelis1000 ein MicroTCA System vor, dass im Hinblick auf Systemleistung, Flexibilität und Produktlebensdauer ein Höchstmaß erreicht. Das System beinhaltet ein 600W hot-swap Netzteil oder ein 48V DC-Eingangsmodule und einen MCH. Wahlweise ist das System mit einem Intel oder PowerPC Prozessor und opt. einer SATA Festplatte erhältlich. ... [mehr](#)

At the bottom of the news section is a link: [... noch mehr Neuigkeiten?](#)

The sidebar on the left contains a search bar and a list of product categories: MicroTCA, AdvancedTCA, CompactPCI 6HE, CompactPCI 3HE, Mezzanines, VMEbus, and PCI-Bus. The footer contains the company name 'powerBridge Computer Vertriebs GmbH', address 'Ehlbeek 15a • 30938 Burgwedel • Germany', and a home button.





# $\mu$ TCA und Simple MicroTCA für industrielle Anwendungen

## $\mu$ TCA und Simple MicroTCA für industrielle Anwendungen

### Erinnern Sie sich ...

- $\mu$ TCA Vorteile für industrielle Anwendungen
  - Kleiner Formfaktor mit hoher Packungsdichte
  - einfacher Service und Aufrüstbarkeit
  - Sehr guter Support für erhöhte Anforderungen
  - Hoher Durchsatz auf der Backplane
  - System Management
  - eine Technologie für die nächsten 10 Jahre
- Nachteile von  $\mu$ TCA
  - Der MCH hat eine Vielzahl von Fähigkeiten, die in den meisten Applikationen nicht benötigt werden
  - Die Kosten dafür sind zu hoch
  - Das PM mit seinen Eigenschaften ist sehr kostenintensiv
  - ... und es gibt zu viele Möglichkeiten

## Was ist 'Simple MicroTCA'?

- Simple MicroTCA definiert einen reduzierten und klar definierten Funktionsumfang für ein  $\mu$ TCA System, mit folgenden Regeln:

Vereinfachung, um eine klare Kostenreduzierung zu ermöglichen und weiterhin voll kompatibel zur AMC Spezifikation zu sein

- Unterstützung von AMC.0, AMC.1 Typ 1, und AMC.2 bis AMC.4
- Hot Swap Unterstützung und Basic Carrier Management
- Ergebnis:  
Reduzierung auf 1/3 der Kosten eines Standard  $\mu$ TCA Systems

Simple MicroTCA, Simple  $\mu$ TCA, and SMTCA are registered trademarks of powerBridge Computer



## Wann ist welche Lösung für mich geeignet ...

- Simple MicroTCA
  - kostengünstige high-performance Systeme
  - keine Switched Fabrics
  - keine Redundanz
  - PCIeexpress x1
  - System Management
- $\mu$ TCA
  - Systemkosten keine große Rolle spielen
  - redundante Systeme
  - hoher Durchsatz
  - Anforderungen steigen und SMTCA nicht mehr ausreicht
  - Nutzung weiterer Fabrics



## μTCA/SMTCA Anwendungen im Bereich Telekom ...

### Streaming Media



### Call Center



### Conferencing



## Mobile Applikationen



Mobile YouTube

**Interactive Applications**



Voting



Dating



Sport

**Live TV Applications**



Infotainment

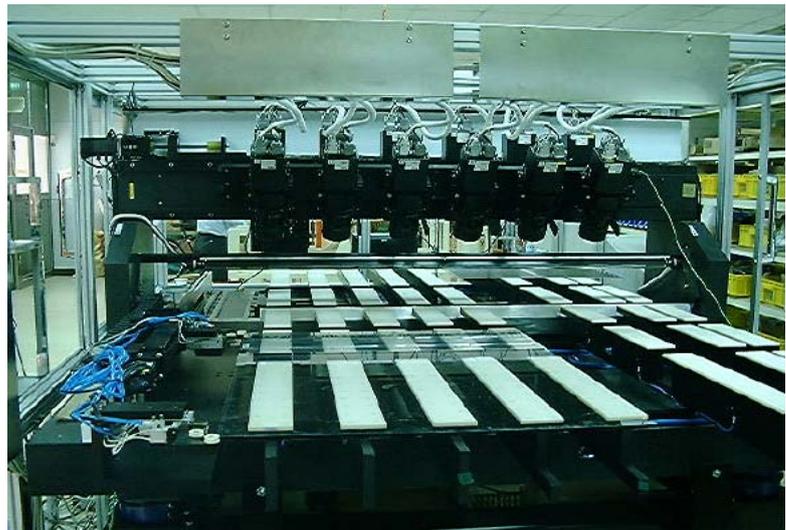


News

**powerBridge Computer**

## μTCA/SMTCA in der Industrie

- Inspektionssysteme in der LCD-Panel Herstellung
- SMTCA System
- Multiprozessor Intel Core 2 Duo AMCs
- Gigabit Ethernet AMCs
- Storage AMCs



**powerBridge Computer**

## μTCA/SMTCA in der Industrie

- Datenlogger in Hochgeschwindigkeitszügen
- SMTCA System
- Intel Core 2 Duo AMC
- ProfiBus AMC
- FPGA AMC
- Digital I/O AMC
- Storage AMC



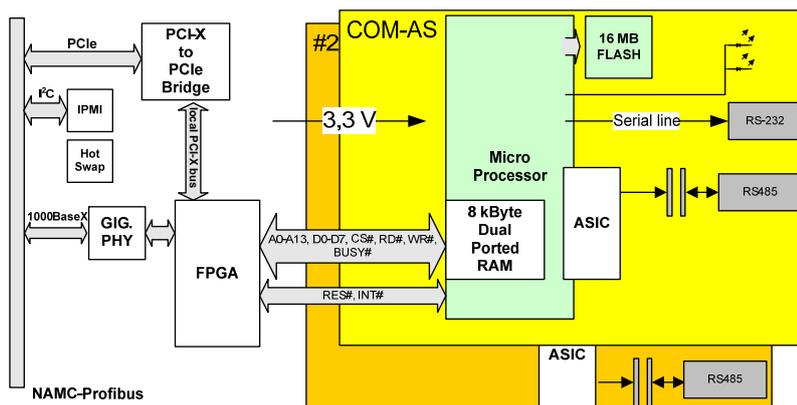
powerBridge  
Computer

## μTCA/SMTCA in der Industrie

- Helium-Kontrollsysteme mit ProfiBus Anbindung



### NAMC-Profibus von N.A.T.

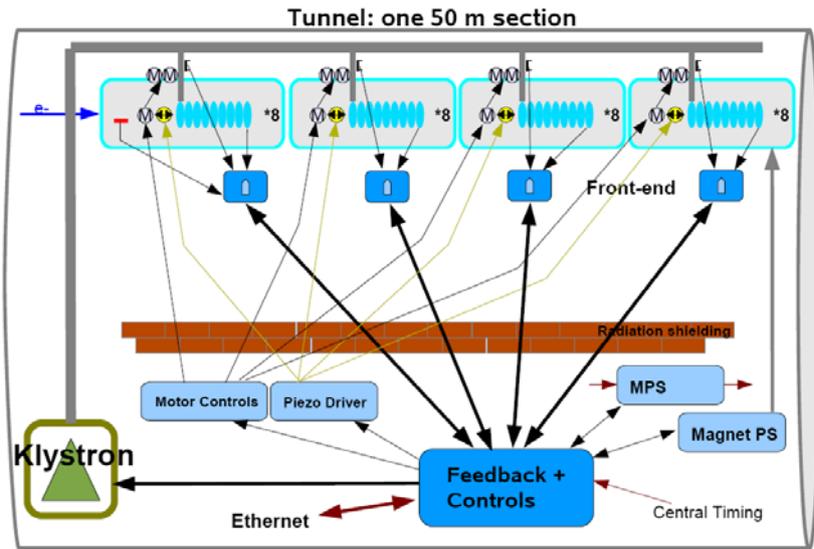


- μTCA/SMTCA System
- Intel Core 2 Duo AMC
- ProfiBus AMC
- Storage AMC

powerBridge  
Computer

# μTCA/SMTCA in der Industrie

- Front-end Systeme mit schnellen ADC AMC Modulen (AMC mit 8 Cavities)

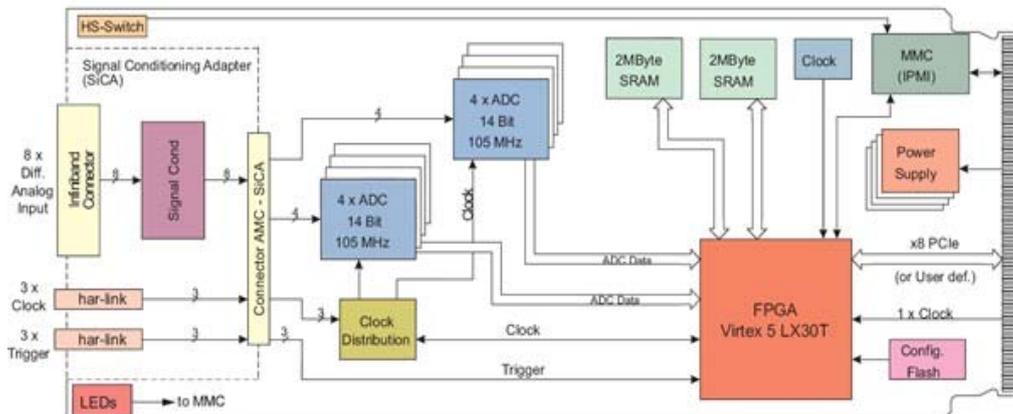


powerBridge Computer

# TAMC900, 8-fach 14-bit ADC AMC

TEWS TECHNOLOGIES

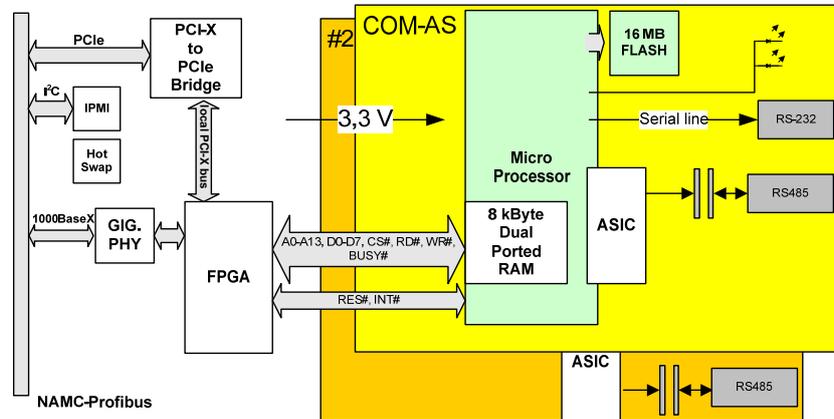
- 8-Kanal AD-Wandler AMC
- AMC-Modul mit AMC.1 Typ 8 Interface, Mid Size Bauform
- 8 differenzielle 14-bit 105 MSps AD-Eingänge, LTC2254
- Virtex-5 LXT FPGA
- 4 MB QDR-II SRAM
- Signalkonditionierungsadapter (SiCA)
- IPMI Unterstützung



powerBridge Computer

## NAMC-Profibus

- 2 Kanal PROFIBUS-DP-Master
- AMC-Modul mit AMC.1 Typ 1, AMC.2 Interface, Mid Size Bauform
- Bus-Interface: Dual-Port-Memory, 8 kByte
- PROFIBUS-Schnittstelle: EN 50 170,
  - 9,6 kBaud bis 12 Mbaud,
  - RS485, potentialfrei,
  - DSub-Buchse 9-polig



powerBridge  
Computer

## Roadmap AMC Module von Tews

**TEWS**  
TECHNOLOGIES

- Carrier
  - Single Slot IP-Carrier TAMC100
- Communication
  - 4 Channel High Speed Synch/Asynch Serial Interface
  - Serial Communication Modules with 4/8/16 Asynch Serial Channels, RS232/RS422 (fixed channel configuration)
  - Serial Communication Modules with 4/8 Asynch Serial Channels, programmable RS232/RS422/RS485
  - Serial Communication Modules with 4/8 isolated Serial Channels, programmable RS232/RS422/RS485

powerBridge  
Computer

## Roadmap AMC Module von Tews



### ■ FPGA

- Simple Target only FPGA Module (similar to existing TPMC630 / TCP630)
- Family of High End FPGA Modules (Based on Xilinx Virtex Family, DMA, FlexI/O architecture)

### ■ Network

- Single / Multi Channel Gigabit Ethernet

### ■ FIELDBUS

- Family of CANbus modules (Single / Multi Channel; isolated / non-isolated; various physical interfaces)
- Other Fieldbus modules like Arcnet, Interbus, Profibus, LON, Sercos as requested by customer



## Roadmap AMC Module von Tews



### ■ Motion Control

- Multi Channel Incremental / SSI / Counter (like existing TPMC117 / TPMC118)

### ■ Analog I/O

- Family of A/D and D/A modules (improved functionality and throughput compared to existing PMC modules)

### ■ Digital I/O

- Family of isolated 24V In, Out, I/O modules (similar to existing PMC modules)
- Family of TTL I/O, RS422 I/O modules



## Roadmap AMC Module von Tews



### ■ Multifunction I/O

- Modules offering analog I/O, digital I/O, Counter / Timer (like existing TPMC851)

### ■ Special AMC Modules

- Development of Custom Specials



# TEST OF BLPM@PITZ



BLPM = **B**eam **L**oss **P**osition **M**onitor

Developed by :

W. Goettmann, F. Wulf ( HMI ),

M. Körfer ( DESY ),

J. Kuhnenn ( FhG-INT)Beam

Beam-Loss ( in Accelerators ):

- Can destroy components ( melts the vacuum chamber , extreme temperatures, hot spots ).
- Damage of electronics due to radiation.

SEI, 26.09.07

In Linear- und auch in Ringbeschleunigern für Teilchen kann es vorkommen, dass der Teilchenstrahl vom idealen Weg abweicht und die Wand der Vakuumkammer trifft. Das kann z. B. durch den Ausfall der Fokussierungsmagnete verursacht werden. Aber auch Fehler bei der Bedienung der Anlage kann zu einem Totalverlust des Teilchenstrahls führen.

Um eine hohe Ladungsdichte zu erhalten werden die Teilchenstrahlen stark fokussiert. Trifft ein solcher Teilchenstrahl die Wand der Vakuumkammer, wird die im Stahl gespeicherte Energie zum Teil in Wärme umgesetzt. Durch die Wärmeentwicklung können erhebliche Schäden entstehen. Außerdem entsteht eine elektromagnetische Lawine durch die Elektronik-Komponenten , die sich in der Nähe befinden, geschädigt werden können.

Ein Beam-Loss-Monitor dient dazu, einen Strahlverlust rechtzeitig zu detektieren damit dann durch geeignete Maßnahmen ( z.B. schnelles Abschalten des Beschleunigers ) Schäden vermieden werden.

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



- energy deposition in vacuum chamber → severe damage
- online monitoring is needed
- integration in the Beam Inhibit System (BIS)



Picture from: ELBE - Forschungszentrum Rossendorf

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## Beam-Loss Monitoring:

- Discrete detectors along the beam tube  
PIN-Diodes, Scintillator ( fast )
- Long detector units  
Long Ionisation Chamber (LIC) (slow)  
**Cherenkov effect in optic fibers**  
Scintillation fibers

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## PITZ Photo Injector Teststand at Zeuthen

Aim: optimizing the electron injection for Free Electron Lasers ( FELs ,XFEL)

### Laser driven RF-Gun:

- electron bunches with  $0.9 \pi$  mm mrad normalized transverse emittance ( aim )
- 1 nC charge per micropulse (  $6.2 \cdot 10^{19}$  electrons )
- up to 7200 micropulses per train (now max. 800 )
- each train has up to 800  $\mu$ s length
- repetition rate of up to 10 Hz
- momentum of the electrons up to 40 MeV/c ( now  $\sim 15$  MeV/c )

SEI, 26.09.07

Der Photoinjektor-Teststand in Zeuthen ist im Prinzip ein kleiner Linearbeschleuniger. Ziel der Anlage ist es Elektronen-Quellen zu entwickeln und zu optimieren. Derartige Quellen werden für die nächste Generation von Teilchenbeschleunigern benötigt. Sie zeichnen sich durch eine hohe Ladungsdichte aus. Am Teststand in Zeuthen wird ein gepulster Elektronenstrahl mit einer Ladung von 1nC per Mikropuls erzeugt.

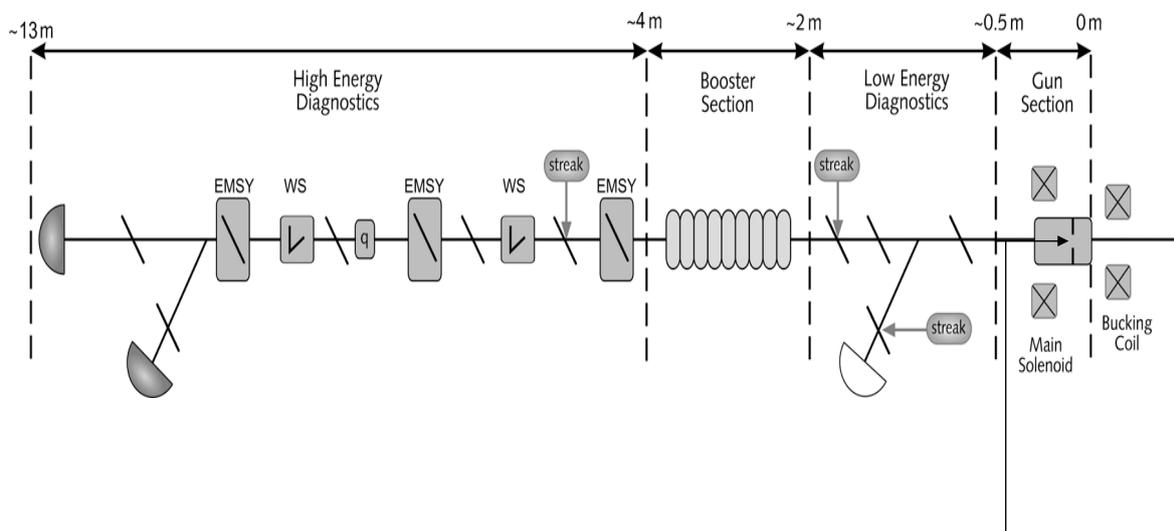
Um mit diesem Strahl bestimmte physikalische Prozesse auszulösen muss er stark gebündelt werden. Die transversale Ausdehnung eines solchen Strahl geht in den  $\mu$ m Bereich.

Die hohe Ladung, verbunden mit dem kleinen Strahldurchmesser, machen eine Monitorierung des Strahls unumgänglich.

Die vom HMI und DESY entwickelte Anlage wurde in Zeuthen am Photoinjektor-Teststand getestet.

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ

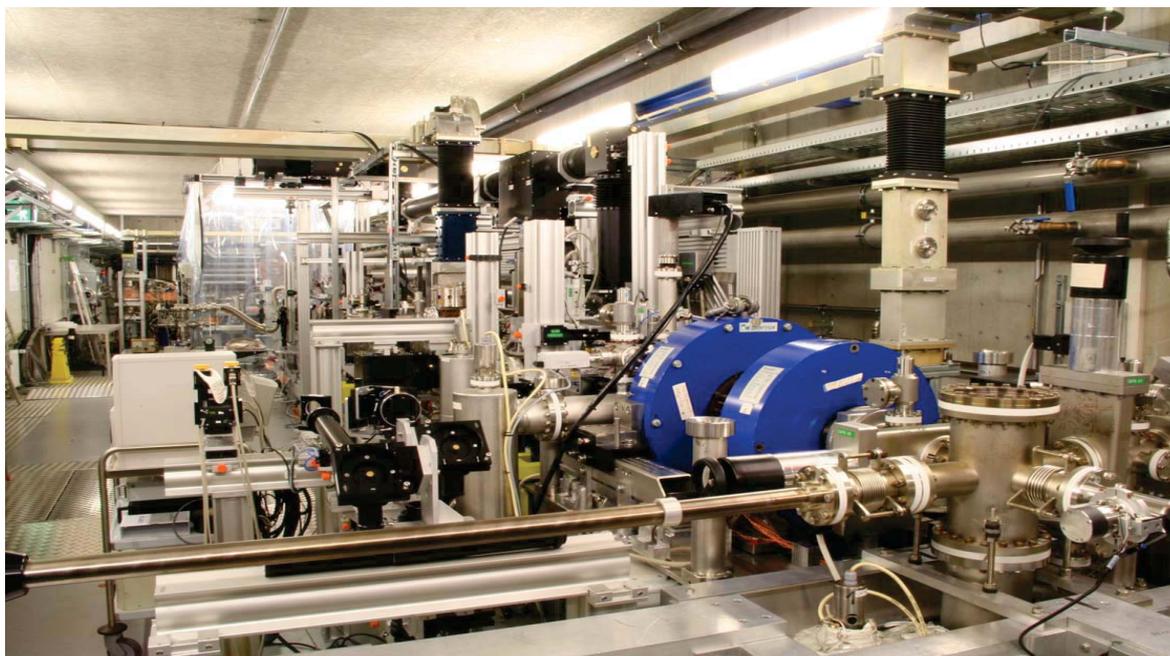


Laser

6-8 ps rise/fall time, flat top 17-20 ps

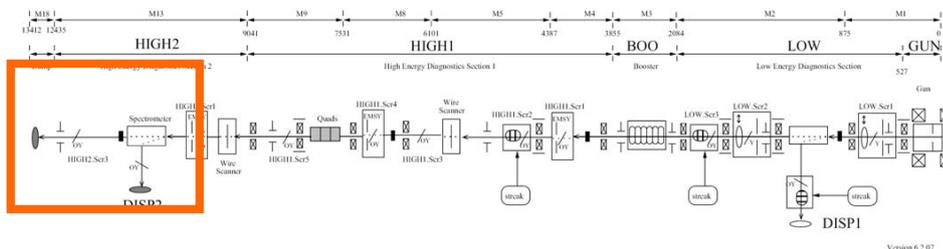
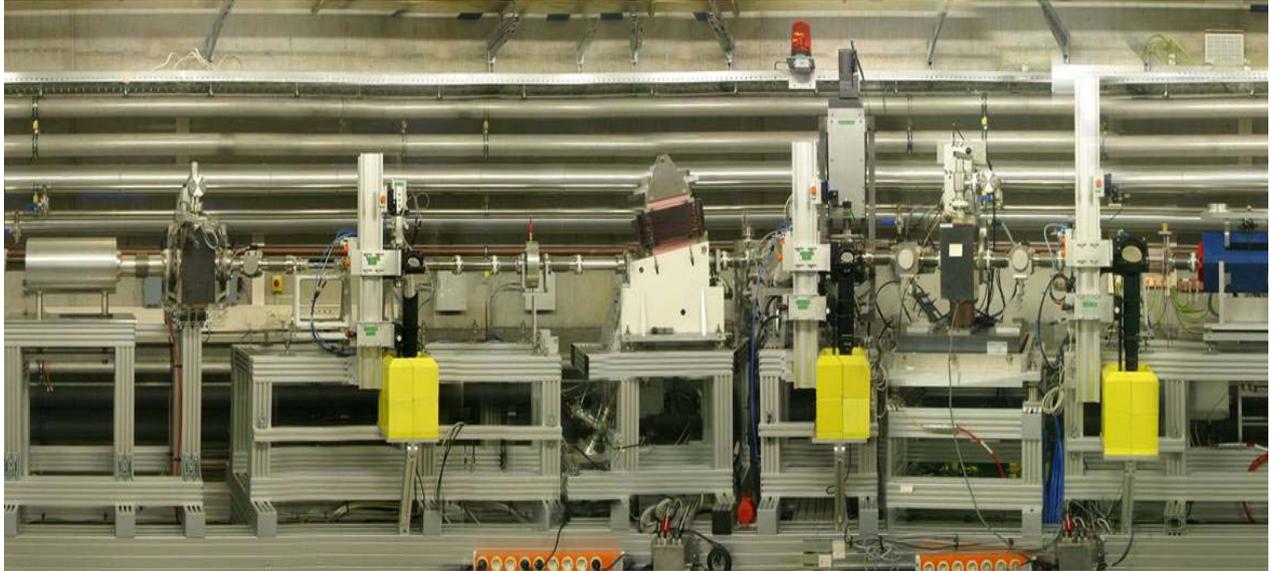
SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



SEI, 26.09.07

# Present layout of PITZ



SEI, 26.09.07

Variante 6.2.07

## TEST OF BLPM@PITZ



Test of the BLPM for 3 Weeks:

Report: Working principle

(Cherenkov Light in optical fibers)

Results of Test measurements

Simulation of Beam-Loss with

FLUKA

SEI, 26.09.07

SEI Herbsttagung 24.-26.09.2007

Seite 180

Ruhr Universität Bochum

# TEST OF BLPM@PITZ



Consist of:

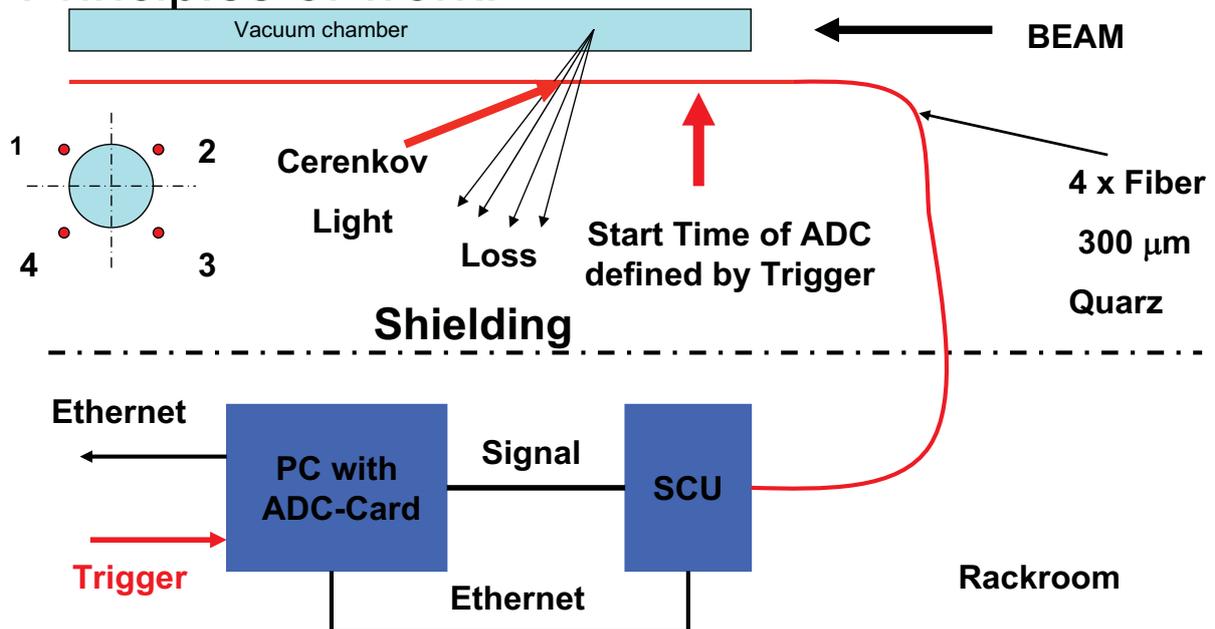
- 4 Optical Quarz Fibers ( 300  $\mu\text{m}$  ), 4 PM Hamamatsu H6780, PM Conditioning Unit ( SCU ), PC with a 8-bit ACQIRIS-Card ( 1GS/s per channel ), LabView-Software ( DAQ and Visualization )
- Runs at FLASH, BESSY
- Tested at DELTA ...

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



Principles of work:



SEI, 26.09.07



# TEST OF BLPM@PITZ



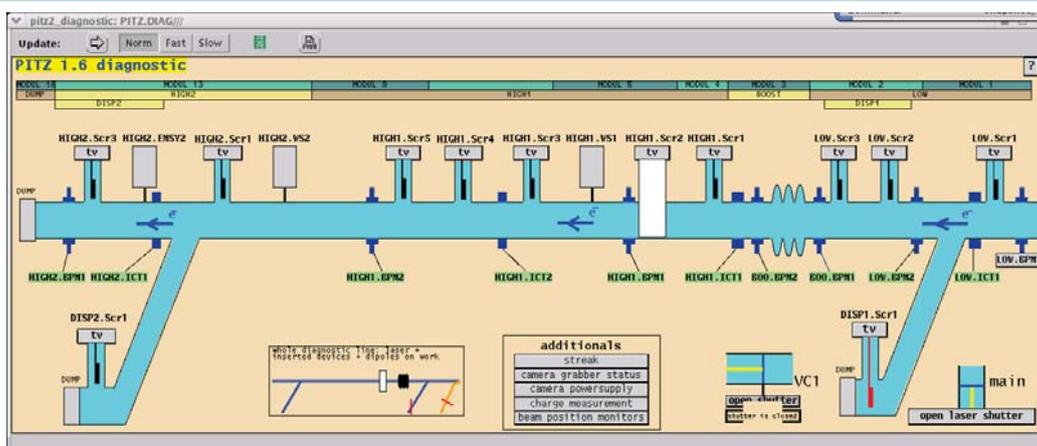
Test:

- Charge:  $\sim 0.7 - 1. \text{ nC}$
- Booster ON ,  $p \sim 12 \text{ MeV}$
- Beam through Booster up to HEDA

It is not easy to generate Beam-Loss by switching off some magnets, therefore Beam-Loss is stimulated by inserting some devices

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



**Region of Monitoring ( after booster )**

**Beam Loss is stimulated by inserting some devices**

**( eg. screens ) of well known position, also needed to fix the scale**

SEI, 26.09.07

Um den BLPM zu testen wurden verschiedene Diagnoseelemente ( z.B. Schirme und Schlitzmasken ) die sich an bekannten Positionen befinden in den Strahl gebracht. Damit wurde ein Strahlverlust an genau definierten Stellen erzeugt. Um die Diagnoseelemente nicht zu schädigen wurde die Anzahl der Mikropulse auf 25 begrenzt.

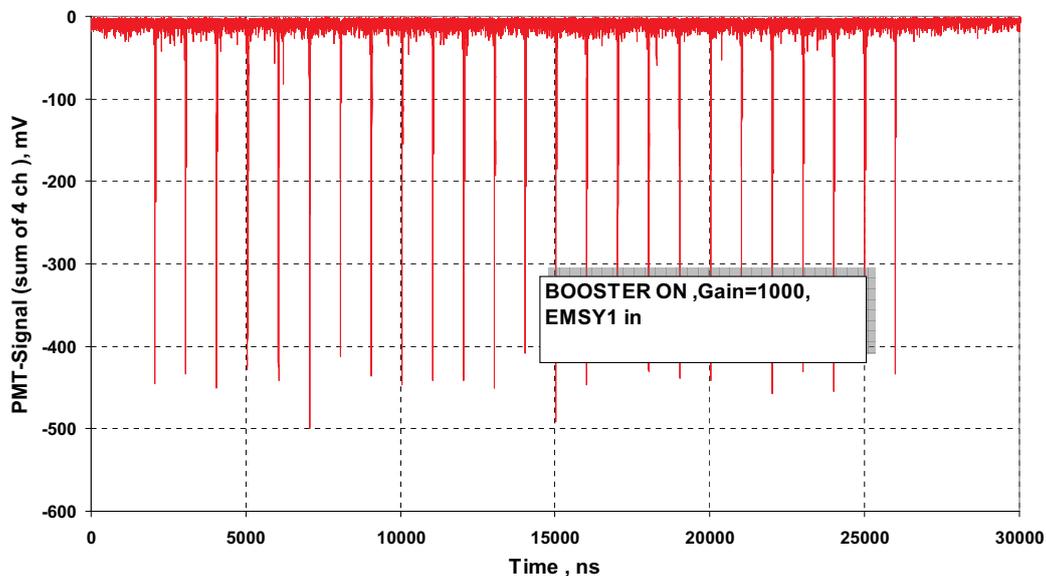
Durch Vergleich der BLPM Signale und der bekannten Position des Strahlverlustes konnten Aussagen über Empfindlichkeit und Genauigkeit des Monitors gewonnen werden.

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



BLM TEST2 , 25 Bunches

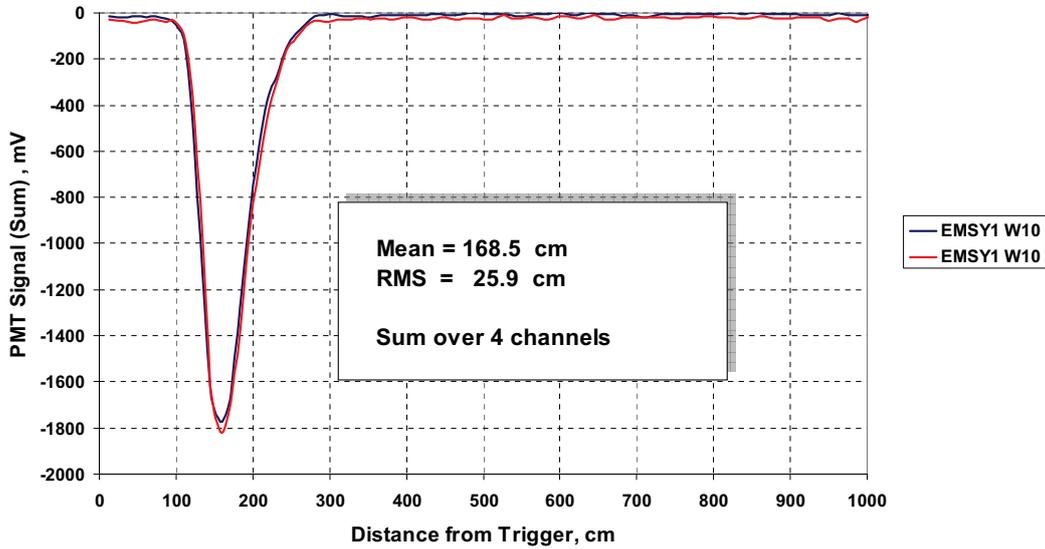


SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



BLM TEST2 EMSY1 position, two measurements

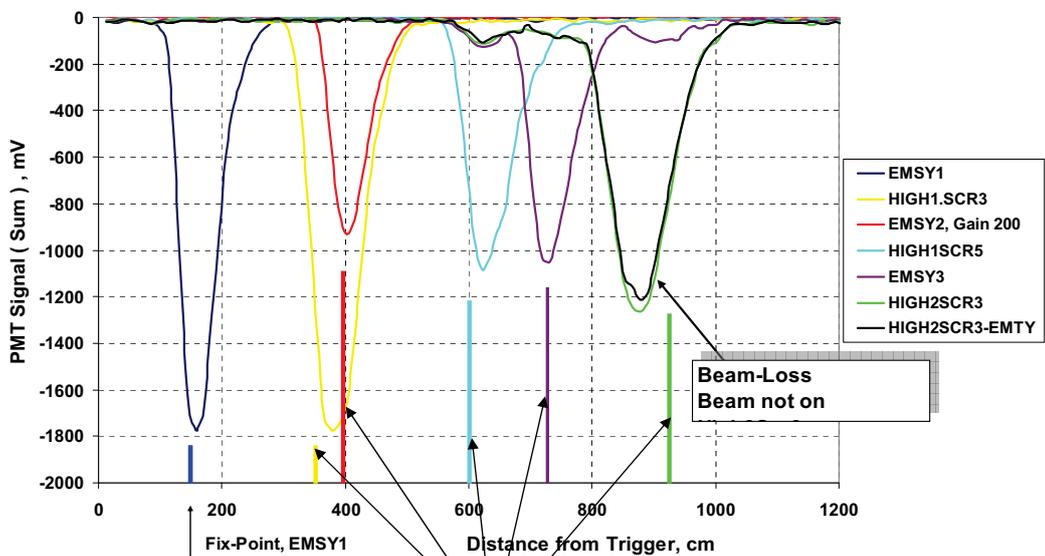


SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



BLM TEST2 - ALL DEVICES



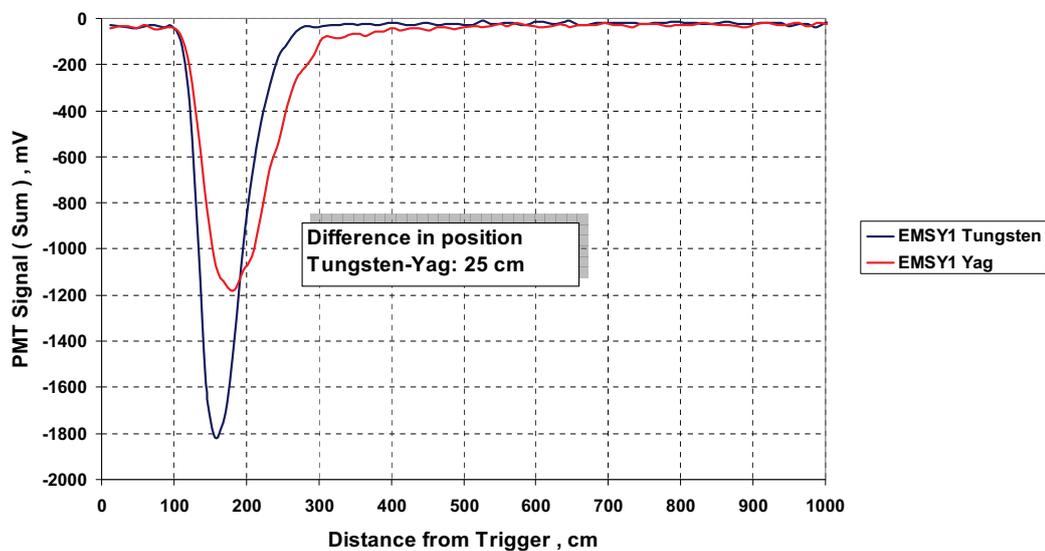
Expected position with respect to  
EMSY1

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



BLM TEST2 EMSY1 , Tungsten and Yag, Gain 1000



SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## TEST:

- Charge:  $\sim 0.7$  nC
- Booster ON ,  $p \sim 12$  MeV
- Beam through Booster up to the Dump

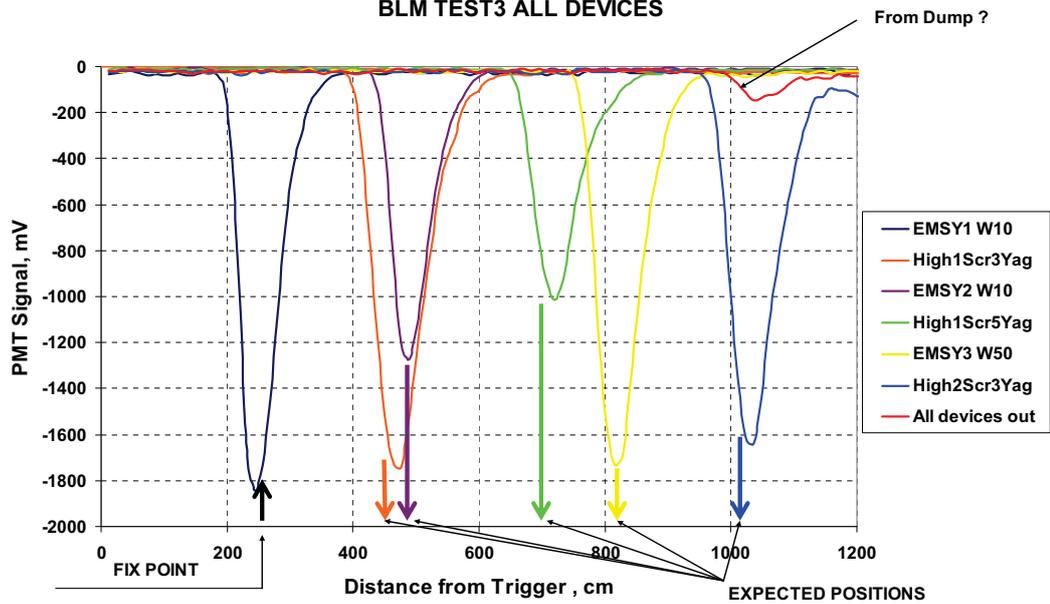


SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



BLM TEST3 ALL DEVICES



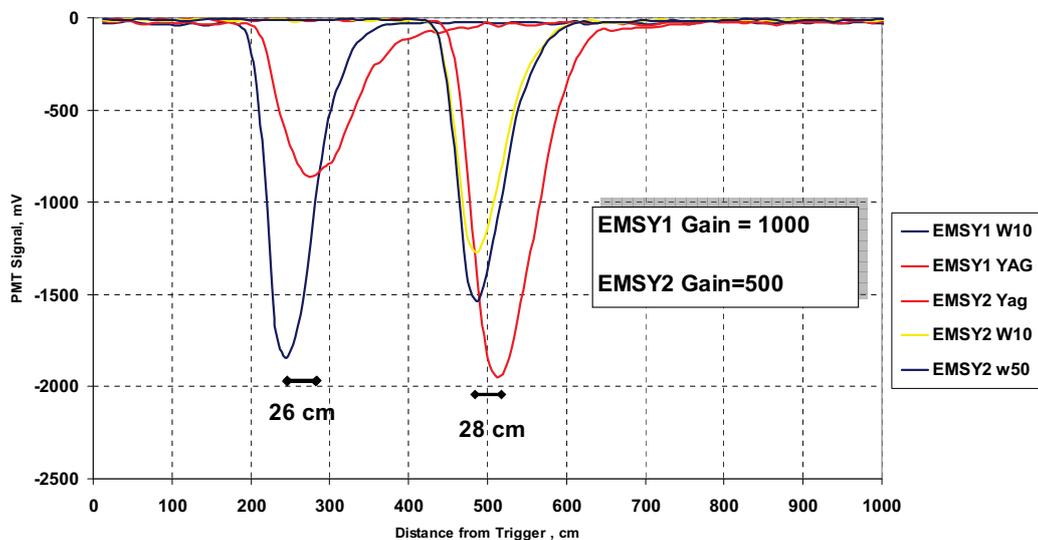
GAIN : 1000 ; EMSY2 500

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



BLM TEST3 Diffrent Devices



Beam-Loss shower depends on material configuration !

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



- Positions are reproducible.
- No beam-Loss at good transmission
- Fibers can be arranged in a straight line in a certain distance ( must not be close to the vacuum chamber )

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## FLUKA Simulation of BLM

**FLU**tuerendes **KA**skaden Model:

- Transport code of particles trough matter.
- No collective effects ( e.g. space charge ).
- Includes all known physical processes.
- At DESY mostly used in radiation protection calculation.

SEI, 26.09.07

FLUKA ist ein Simulationsprogramm mit dem der Durchgang von Teilchen durch Materie simuliert wird. Dabei werden alle bekannten physikalischen Prozesse berücksichtigt.

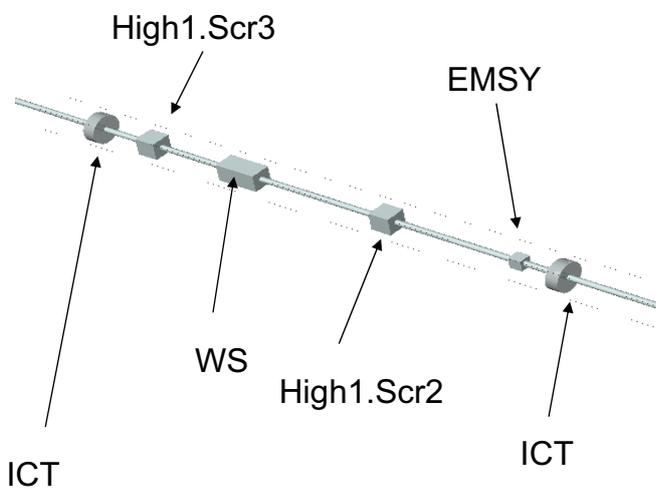
Ionisationsverlust und auch die Entwicklung einer elektromagnetischen Lawine werden simuliert.

Durch einen Vergleich der experimentell gewonnenen Resultate mit den Simulationsrechnungen können Rückschlüsse über die Richtigkeit der Messergebnisse gewonnen werden.

Mit Hilfe derartiger Simulationsrechnungen ist es auch möglich Anlagen und Aufbauten zu optimieren.

SEI, 26.09.07

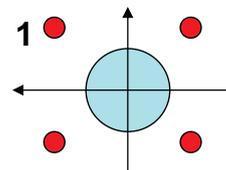
# TEST OF BLPM@PITZ



A part of the PITZ beam line has been modelled in FLUKA:

- 12MeV electron beam
- $\sigma_x = \sigma_y = 1 \text{ mm}$
- 10 Mio. Trigger
- Different:
  - $\cos_x, \cos_y$  ( beam hits the pipe )
  - beam divergence
- four fibers ( 300  $\mu\text{m}$  ) in a radial distance of  $\sim 10 \text{ cm}$  , one per quadrant

e crosses the border, z-position is stored, no simulation of light generation and transport

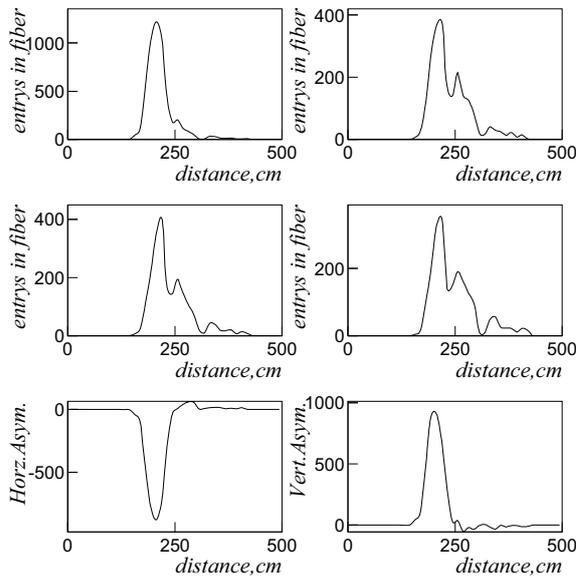


SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## Blm at PITZ

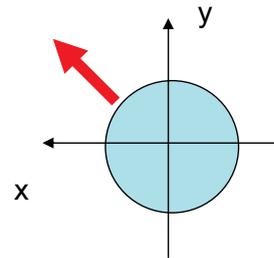


$$\cos_x = \cos_y = 0.0045$$

Divergence 1 mrad

Impact point 206 cm :

between High1.Scr2 and wire scanner



$H < 0 ; V > 0$  1. Quadrant

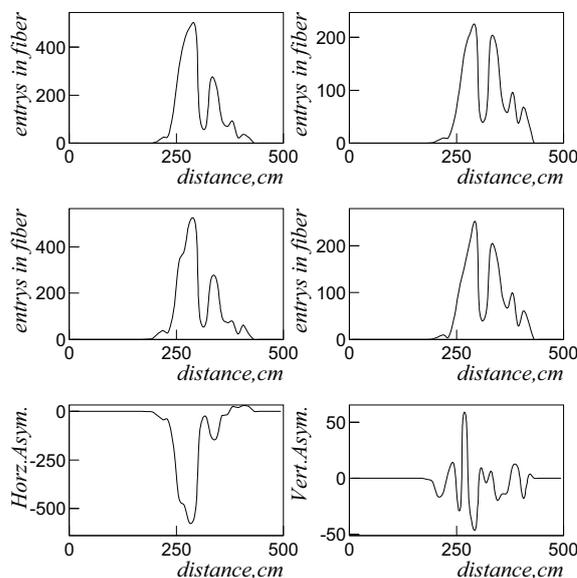
$$H = (2+3)-(1+4) , V = (1+2)-(3+4)$$

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## Blm at PITZ

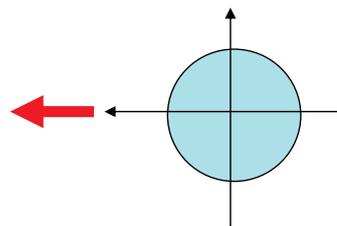


$$\cos_x = 0.0045 \cos_y = 0.0$$

Divergence 1 mrad

Impact point 290 cm :

before the wire scanner



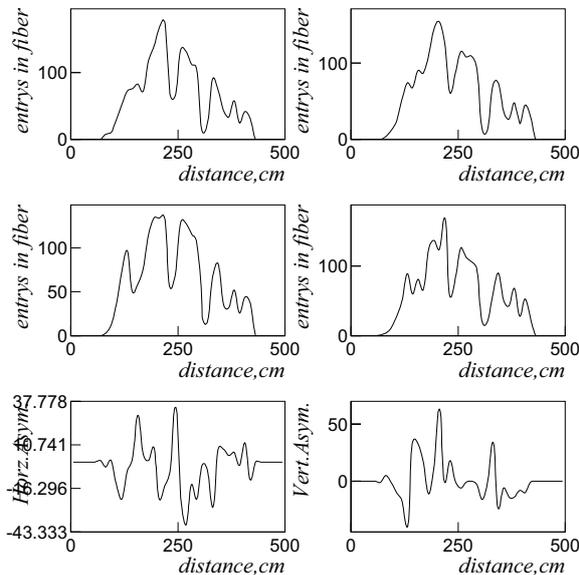
$H < 0 ; V \sim 0$  1.+ 4. Quadrant

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## Blm at PITZ



$\text{Cos}_x = \text{Cos}_y = 0.00$

Divergence 10 mrad

Impact point ~ 200 cm :

beam blows up !

Beam-loss along the whole chamber, in all directions.

SEI, 26.09.07

# TEST OF BLPM@PITZ



## Conclusion:

- BLPM works well at PITZ.
- Position of Loss can be reconstructed.
- Error 30 – 50 cm, depends on configuration
- Some results are still not understand ?
- Arrangement of fibers – o.k., FLUKA o.k.
- BLPM can protect against damage of components and high radiation level and helps to get a good beam transfer.

SEI, 26.09.07

# **Verbesserungen an Heizkanälen in Anodenbrennöfen**

**Dipl.-Ing. Detlef Maiwald**

**Innovatherm GmbH+Co.KG  
Germany**

---

*2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007*

## **Introduction**

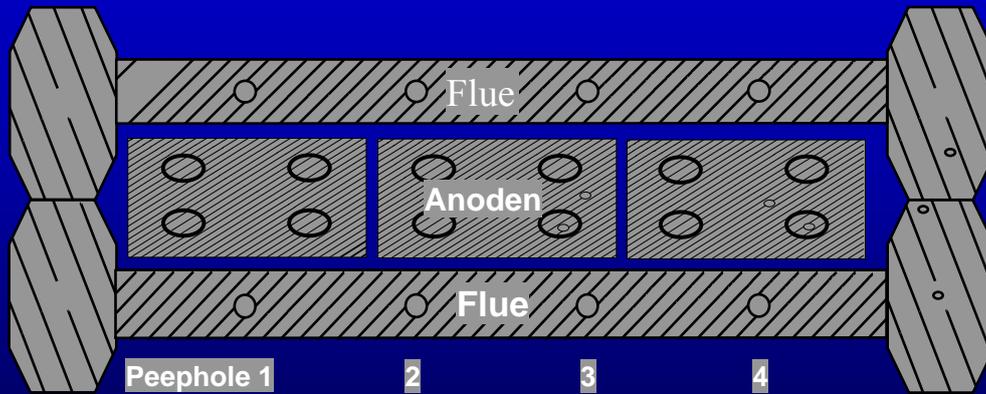
**Der „ Feuerungsraum“ eines Anodenbrennofens  
besteht aus mehreren Heizkanälen  
die zwischen 2 Kopfwänden eingespannt  
sind**

**Ein durchschnittlicher Anodenbrennofen  
enthält 450 Heizkanäle,  
3 Feuer  
Kapazität 100.000 t Anoden / Jahr**

---

*2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007*

# Draufsicht Kopfwände/ Heizkanäle

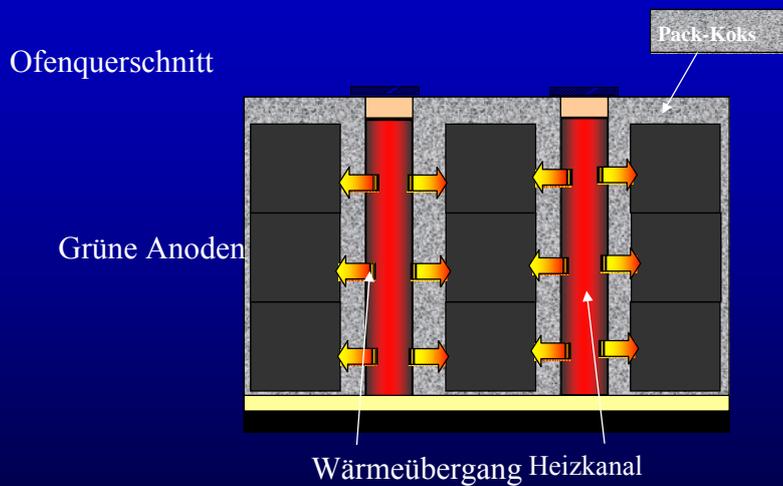


Kopfwand

Kopfwand

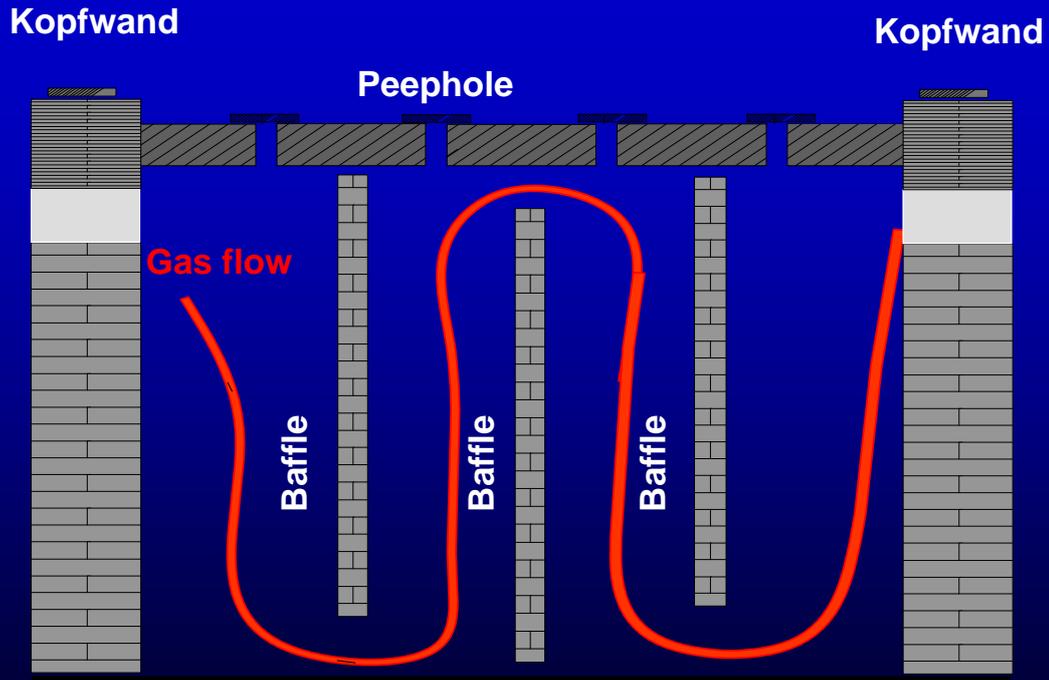
2007 SEI H07 : 24. - 26.09.2007

# Ofenquerschnitt



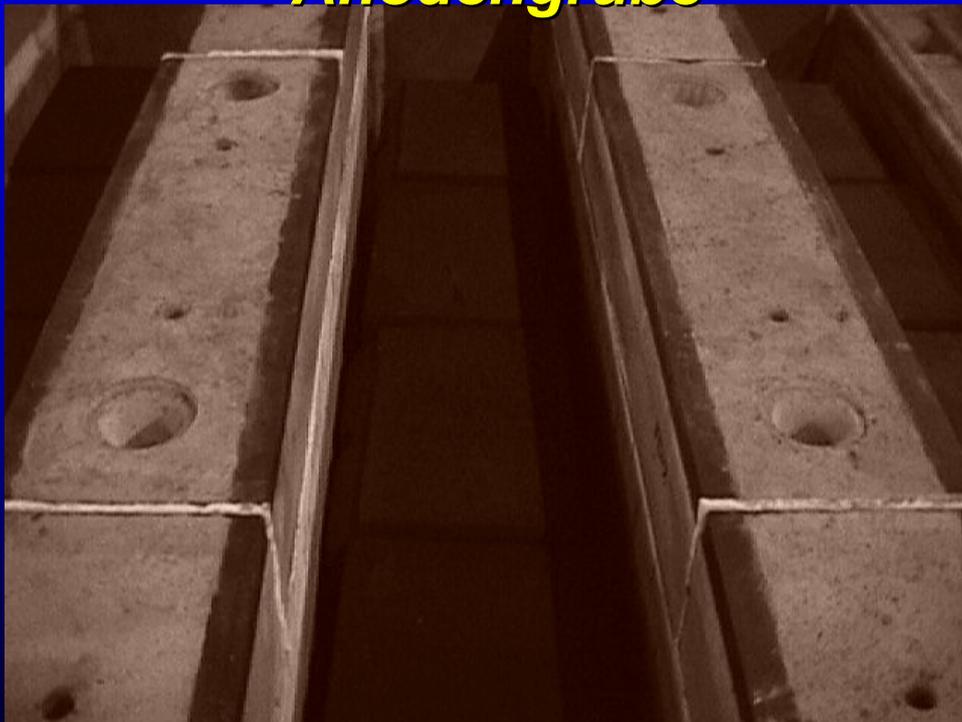
2007 SEI H07 : 24. - 26.09.2007

## Schnitt in einen Heizkanal



2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Ansicht 2 Heizkanäle und Anodengrube



2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## ***Kopfwände***

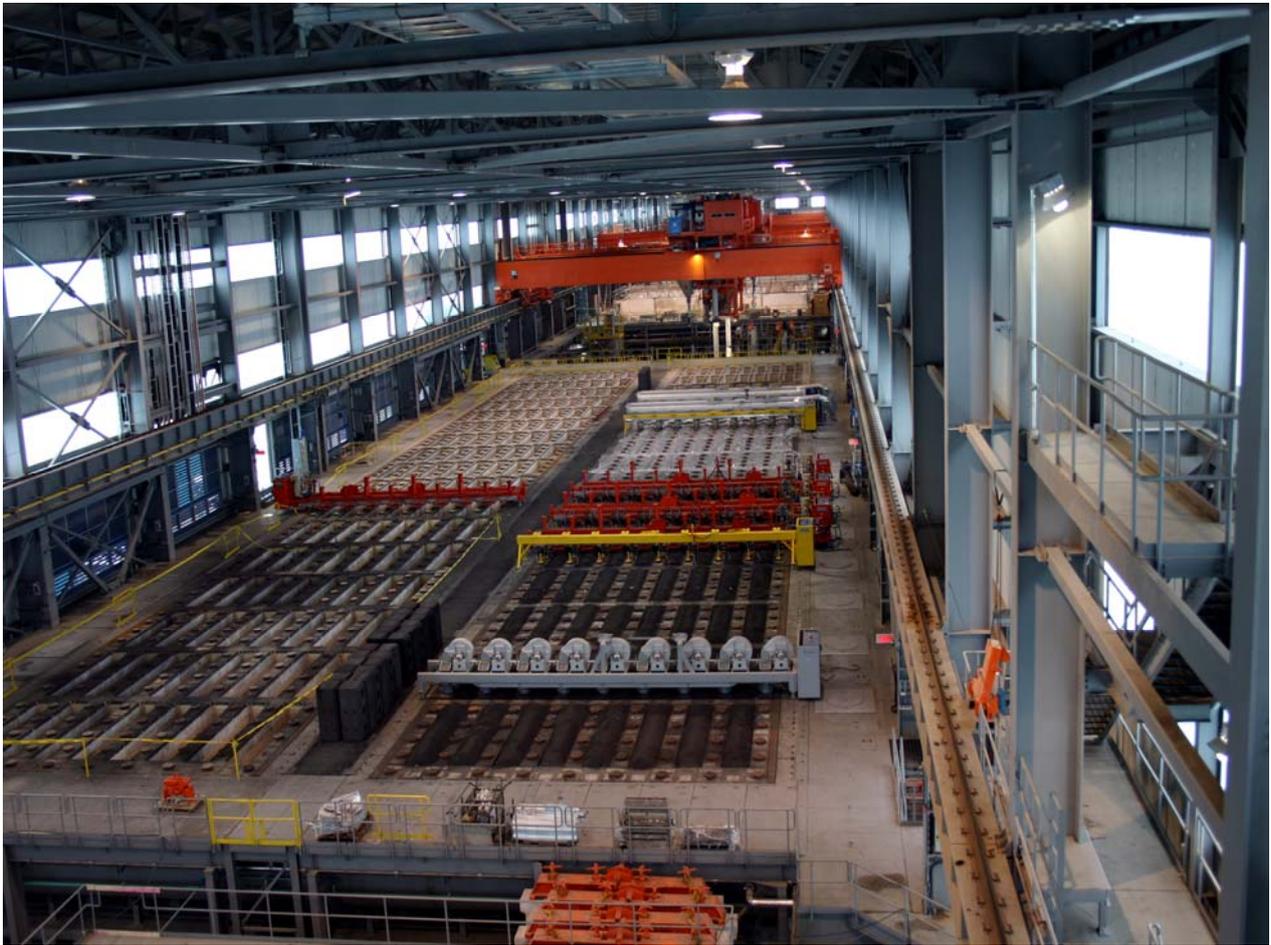


2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## ***Seitenansicht einer Sektion, bestehend aus 7 Heizkanälen***



2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

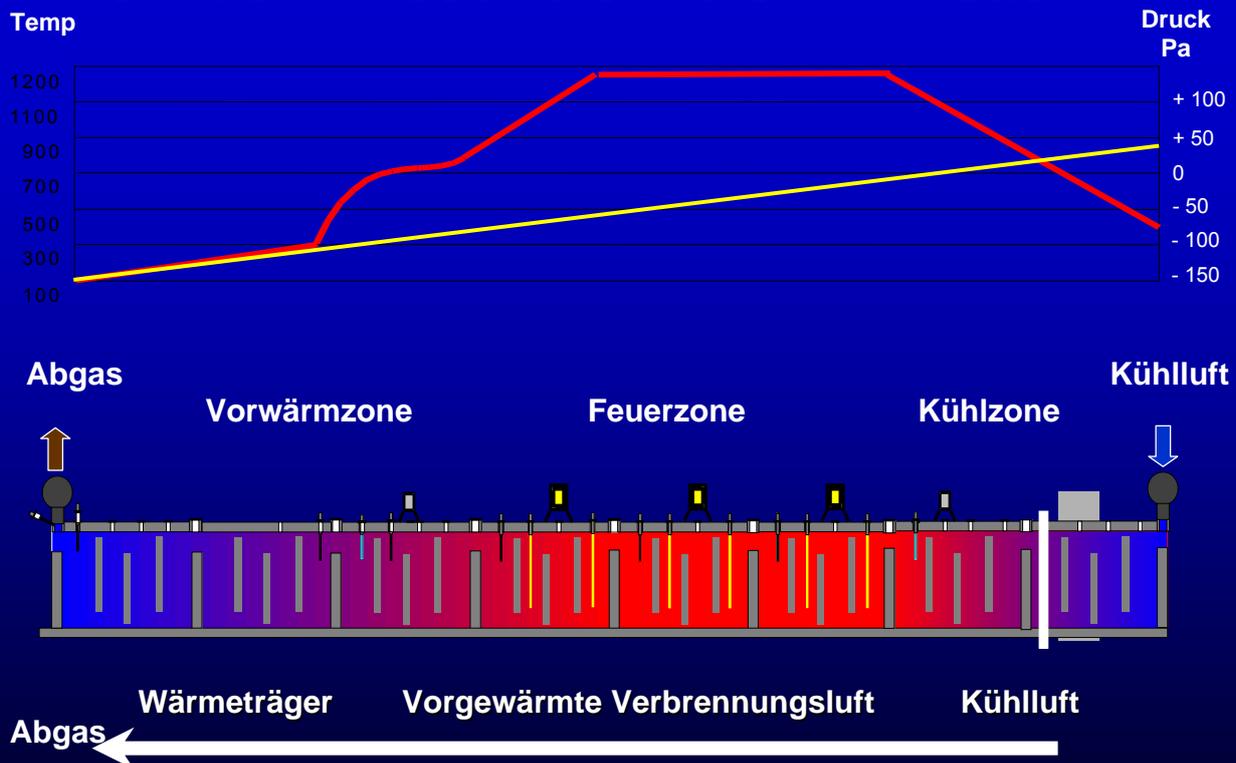


# Einflußgrößen

- Der Zustand der Heizkanäle hat einen direkten Einfluss auf die Produktivität
- Heizkanäle verändern aufgrund der Temperaturbelastung ihre physikalischen Eigenschaften
- Heizkanäle müssen regelmäßig inspiziert werden
- Heizkanäle werden repariert und nach ca. 150 Feuerzyklen ausgetauscht

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Funktion Anodenbrennofen – 1 Feuer



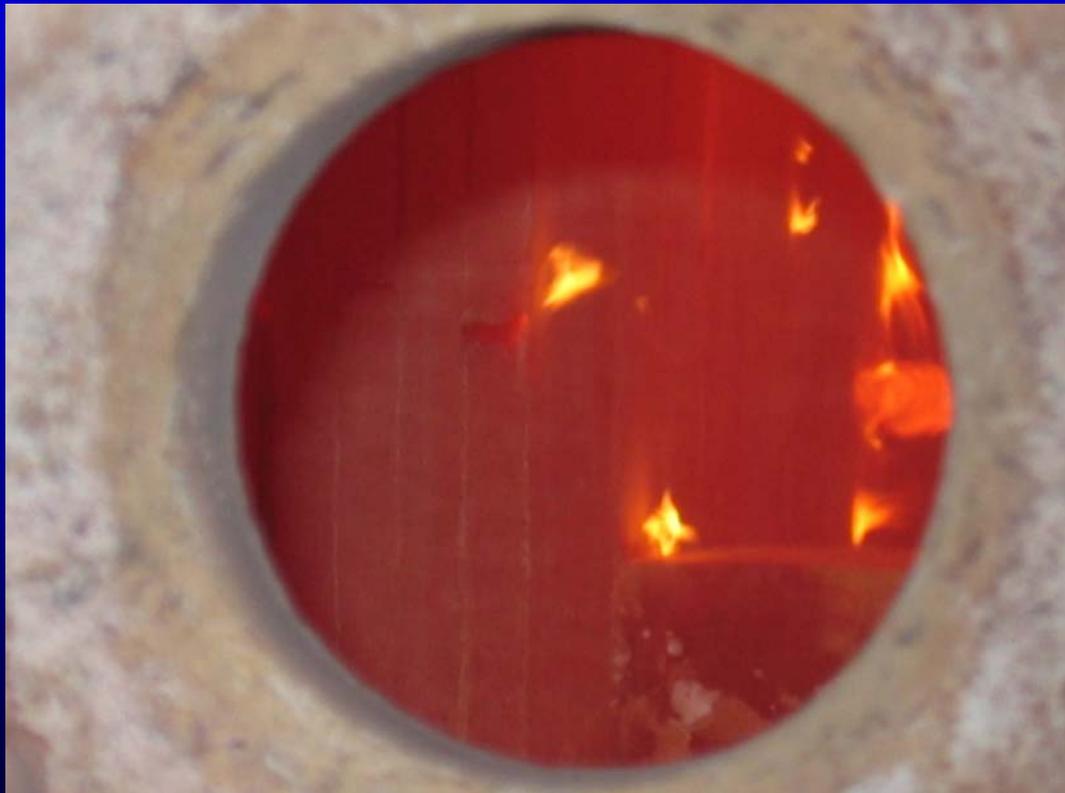
2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Heizkanal wird thermisch stark beansprucht

- Aufheizen von 20 °C auf 1250 °C in 160 h
- Abkühlen von 1250°C auf 20 °C in 200 h
- Diese ständige Temperaturwechselbelastung alle 16 Tage führt zu thermischen Spannungen im Feuerfestmaterial des Heizkanals
- Der Heizkanal verschleißt vom ersten Tag an

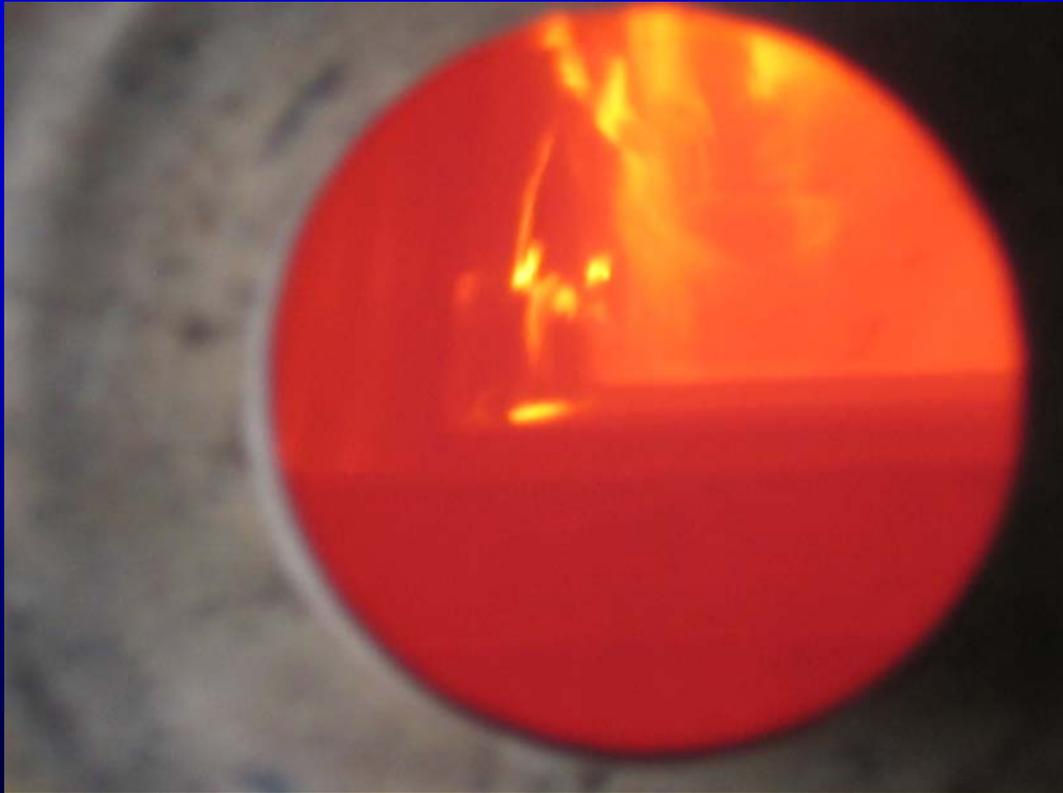
---

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

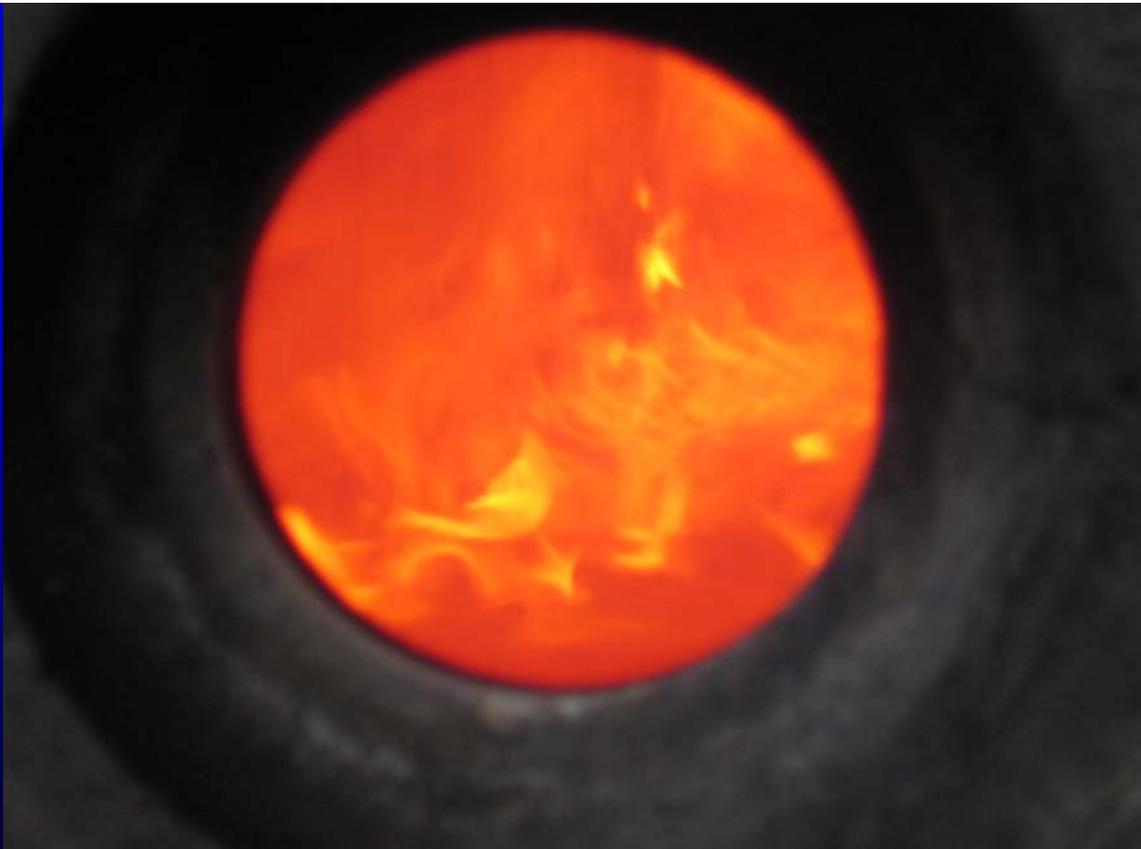


---

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



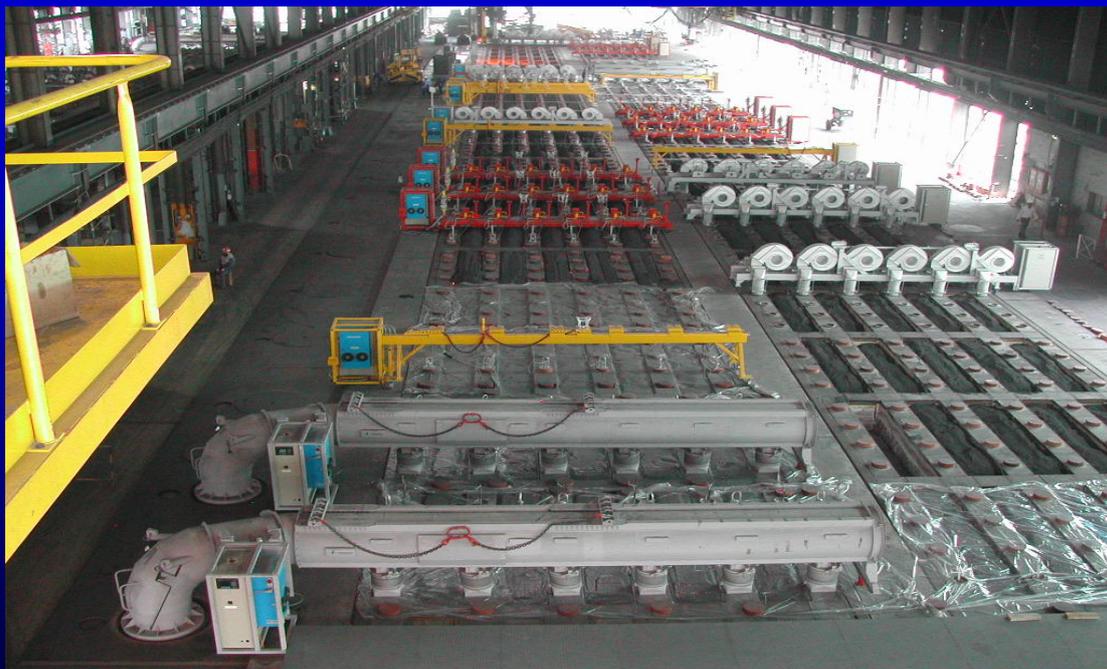
2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



**Neuer Ofen, 2 Wochen nach Start**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Heizkanal Reaktionen



**Gebrauchter Ofen , 15 Jahre in Betrieb**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Heizkanal Reaktionen

- Der Heizkanal verwirft sich, biegt sich
- Thermischer Stress führt zu Rissen und Öffnungen
- Heizkanal wird undicht, Falschlufft wird eingesaugt

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Heizkanal Reaktionen

- Risse und Öffnungen führen dazu, daß Packmaterial ( Koks) in den Heizkanal gelangt
- Heizkanal verstopft oder wird völlig blockiert
- Eine Gefährdung der Anlage kann die Folge sein

---

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Heizkanal Reaktionen



---

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Heizkanal Reaktionen



2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Heizkanal Reaktionen

- Letztlich kann der Heizkanal kollabieren, was zu einem ernstem Zwischenfall werden kann

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Heizkanal Reaktionen



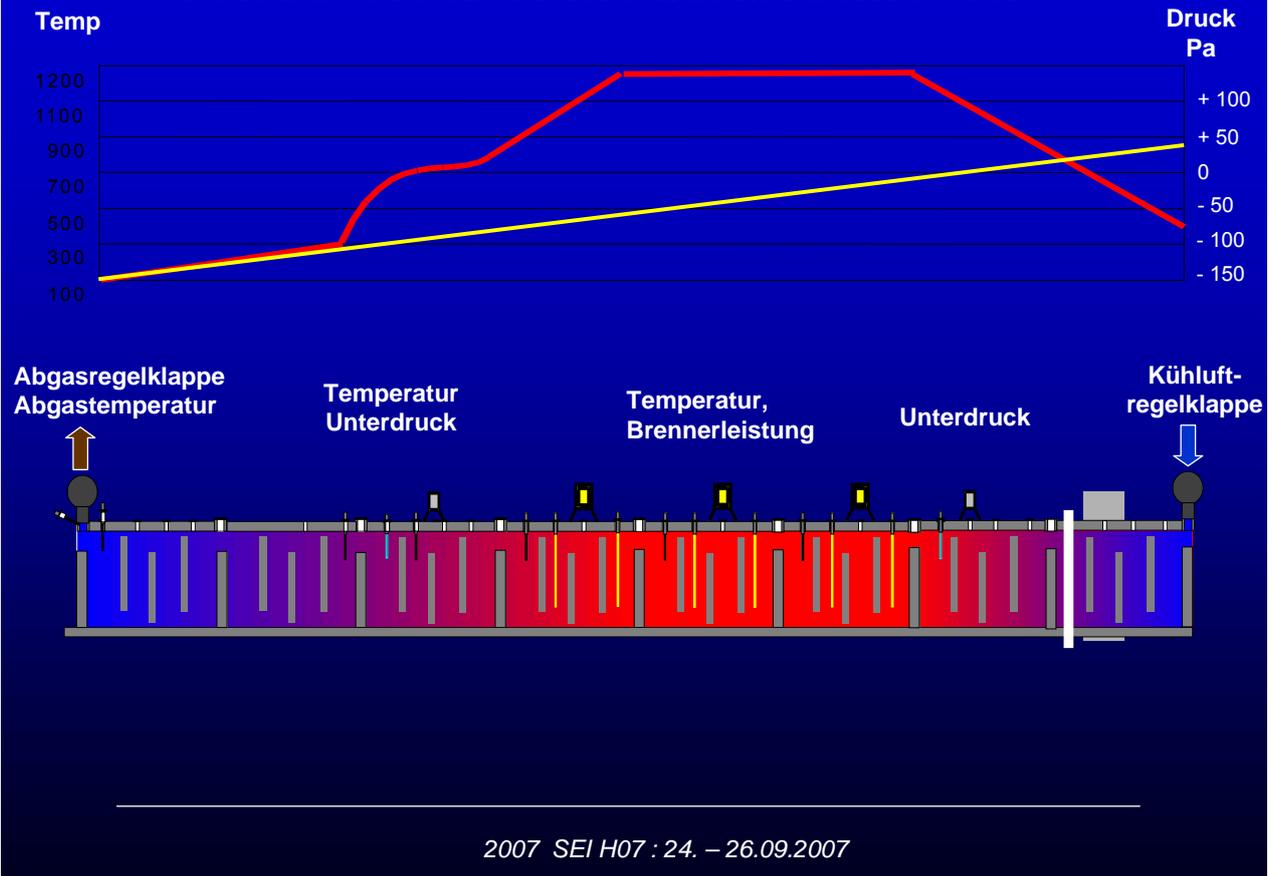
2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Die Idee

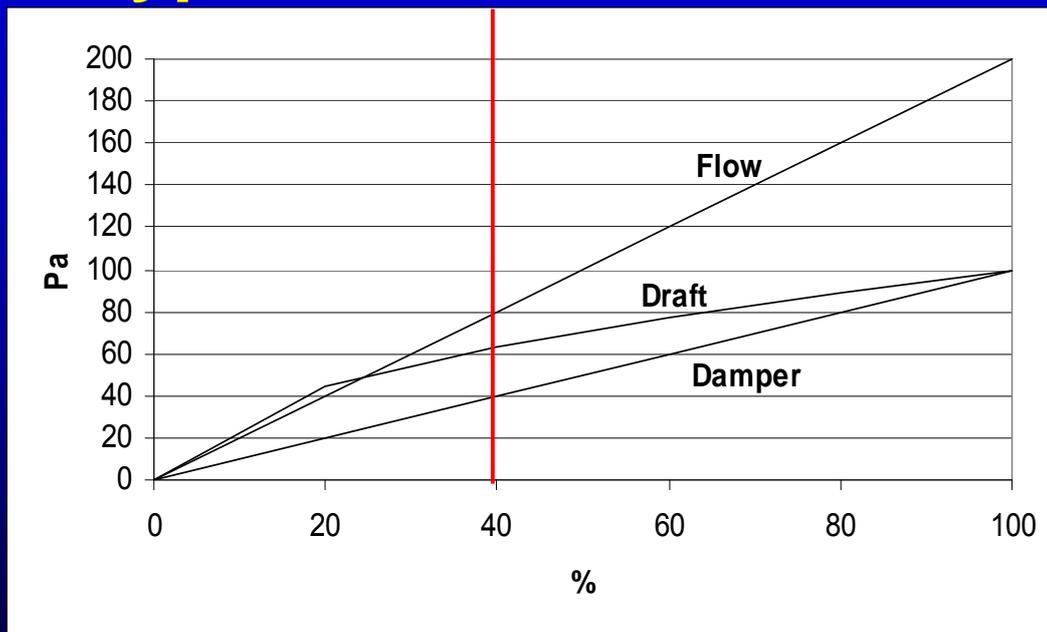
**Identifikation des Zustandes des Heizkanals  
durch Korrelation der Messwerte, die ohnehin  
schon kontinuierlich von der Feuerung  
zur Regelung des Prozesses  
verwendet werden  
- ohne weitere Sensoren oder Instrumente  
einzusetzen**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Sensoren am Anodenbrennofen



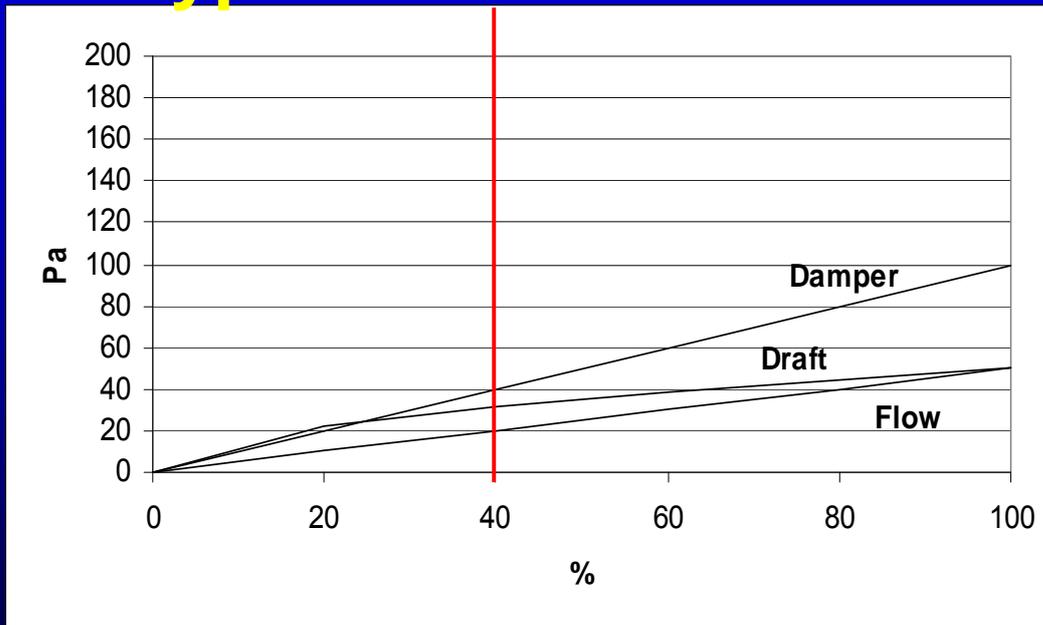
# Typische Prozeß Werte



# Neuer Heizkanal

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Typische Prozeß Werte



## Gebrauchter Heizkanal

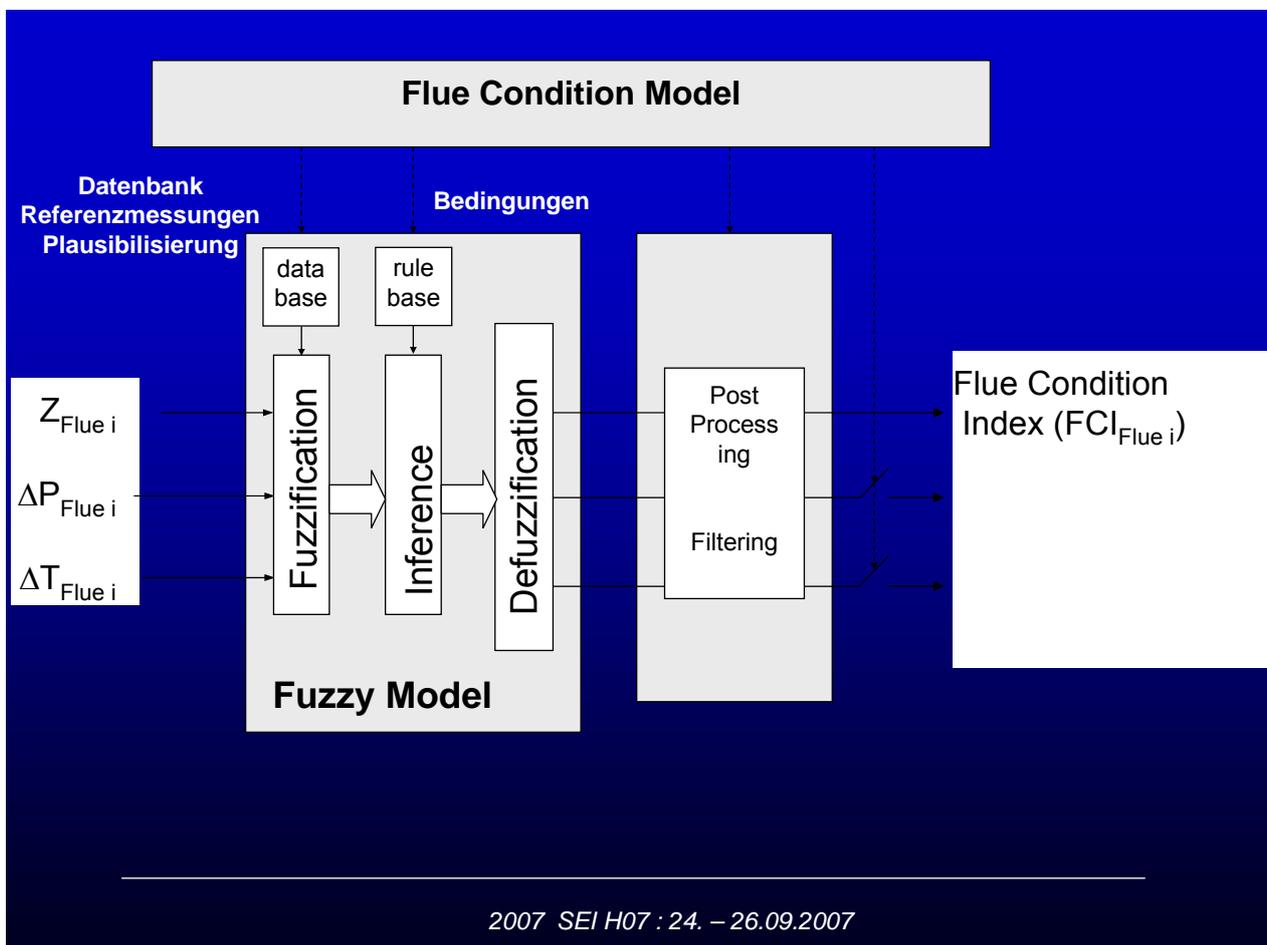
2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Der Heizkanal - Index

Korrelation der Prozeßwerte aus der Feuerung  
als Eingangsgrößen in ein Fuzzy Logic Modell

Berechne einen „ Heizkanal - Index“  
als Ausgangsgröße dieses Fuzzy Logic Modells  
zur ständigen Identifikation des Zustandes des  
Heizkanals

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



## Der Heizkanal - Index

Ein neuer Parameter „ Heizkanal-Index“  
ist gefunden, der den aktuellen Status  
des Heizkanals darstellt

Erste Aufgabe: kontinuierliche  
Verfolgung des „ Heizkanal-Index“ über  
die Lebensdauer des Ofens

Zweite Aufgabe: Dynamische Adaption  
der Feuerung in Abhängigkeit vom  
„ Heizkanalindex“

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

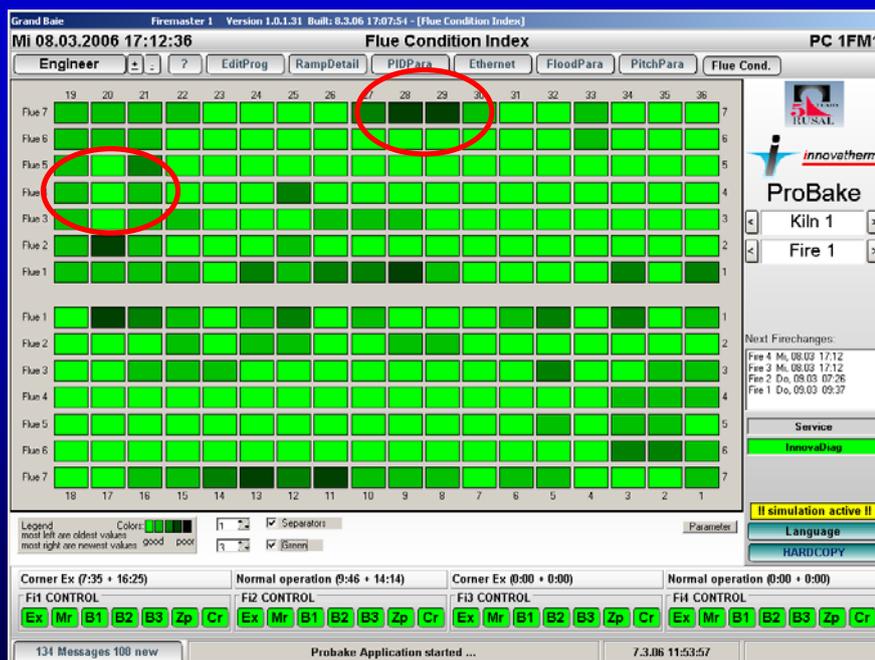
# Der Heizkanal - Index

## Erste Aufgabe

kontinuierliche Verfolgung des „  
Heizkanal-Index“ über die Lebensdauer  
des Ofens

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

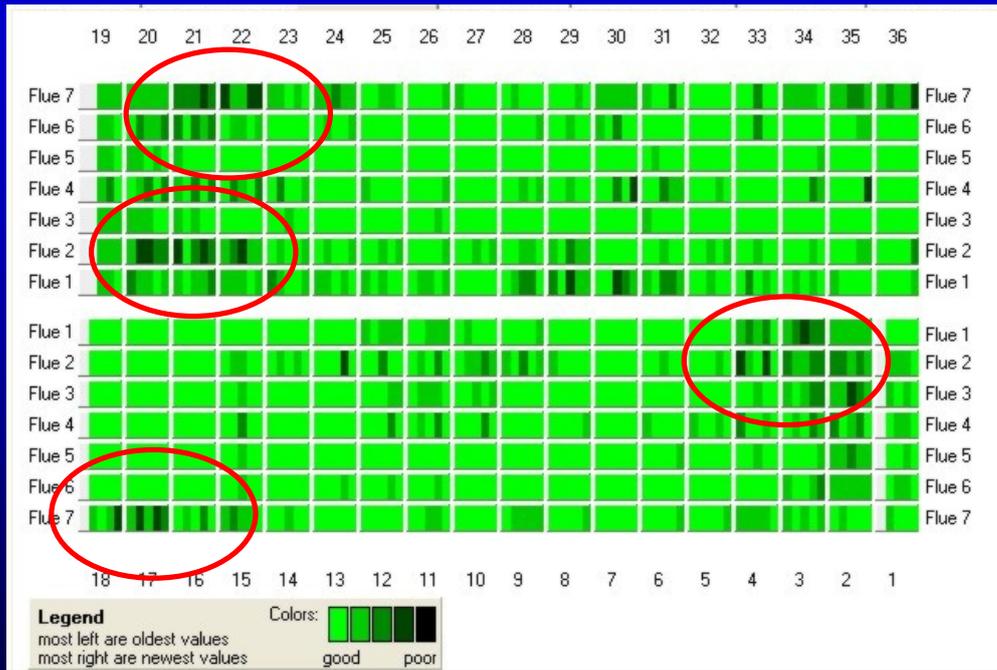
# Der Heizkanal - Index



## Zustandsanzeige der Heizkanäle

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Der Heizkanal - Index



## Ablauf der letzten 5 Zyklen

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

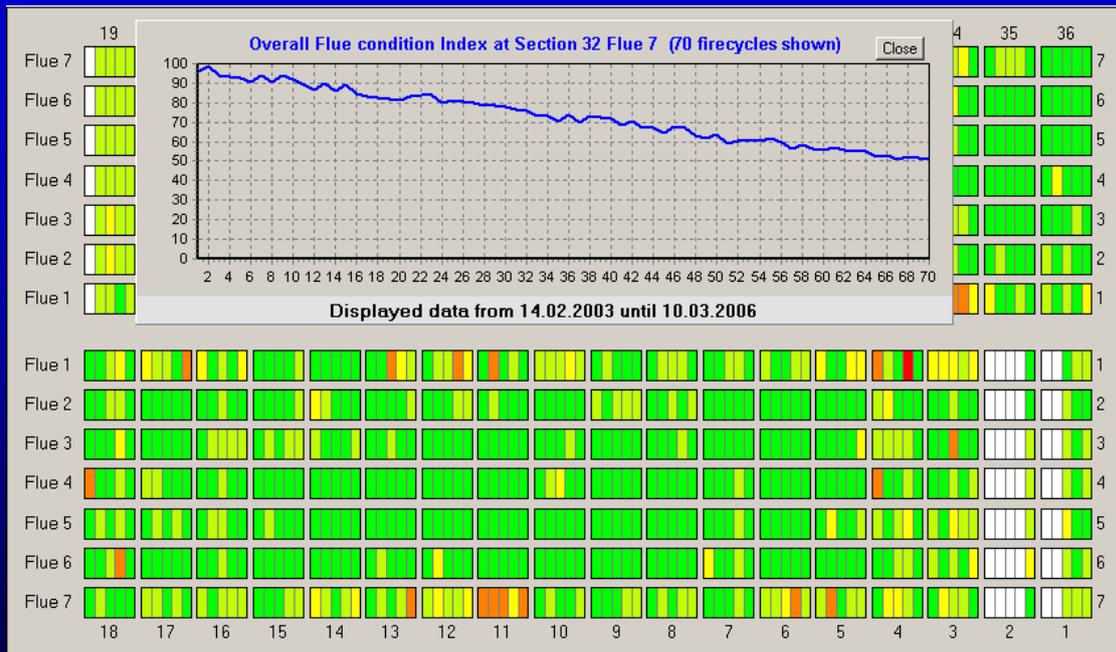
# Der Heizkanal - Index



## Als Trend

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Der Heizkanal - Index



## Lebenszykluskurve

2007 SEI H07 : 24. - 26.09.2007

# Der Heizkanal - Index

Section 7 Flue 6 ( 6 Cycles)

show raw index parts

	oldest				latest
<b>Index:</b>	94,6	96,1	96,7	95,0	93,4
Damper Pos.	83,9	90,8	90,4	86,0	80,4
Temp. Devi.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Draft Devi.	100,0	97,4	99,7	99,0	100,0
Startdraft Dmp	56,9	31,3	35,4	78,8	74,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Date	09/21/05	10/13/05	11/27/05	12/20/05	01/10/06
Delete this set	Delete	Delete	Delete	Delete	Delete

Flue was repaired

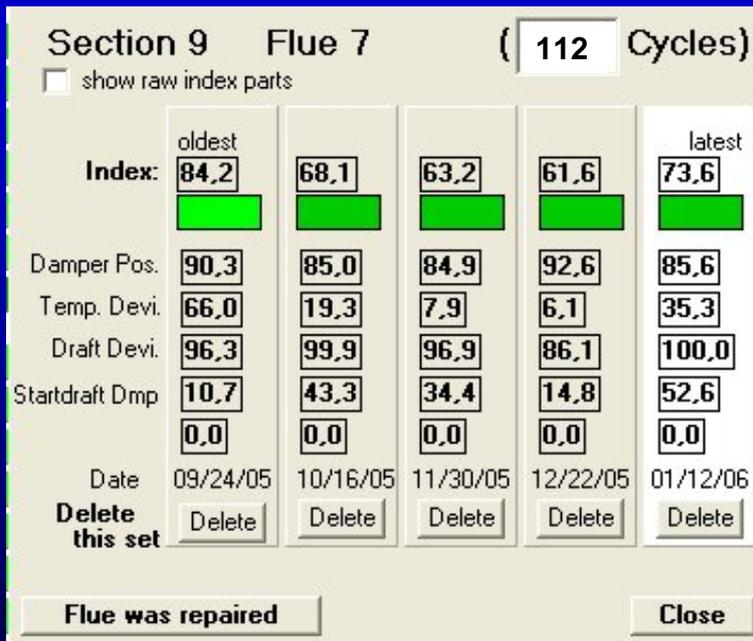
Close

Details

Neuer Heizkanal

2007 SEI H07 : 24. - 26.09.2007

# Der Heizkanal - Index

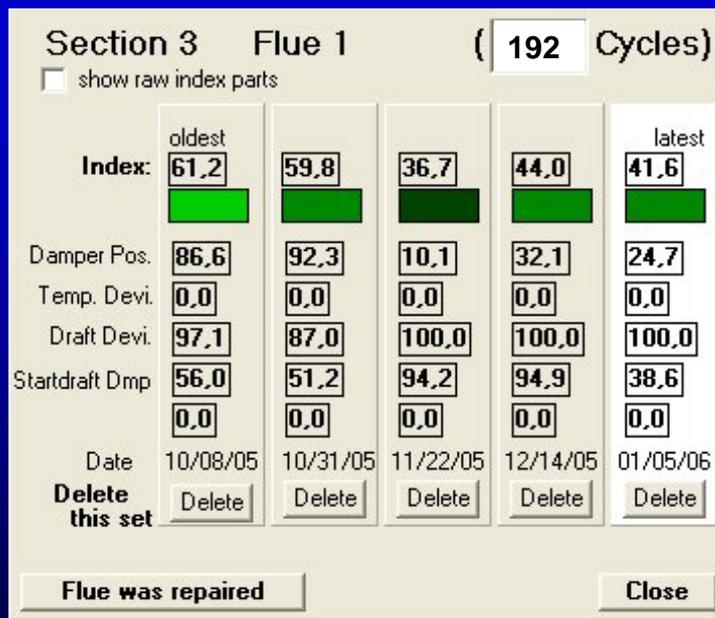


Details

Heizkanal „gealtert“

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Der Heizkanal - Index



Details

Alter Heizkanal

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Der Heizkanal - Index

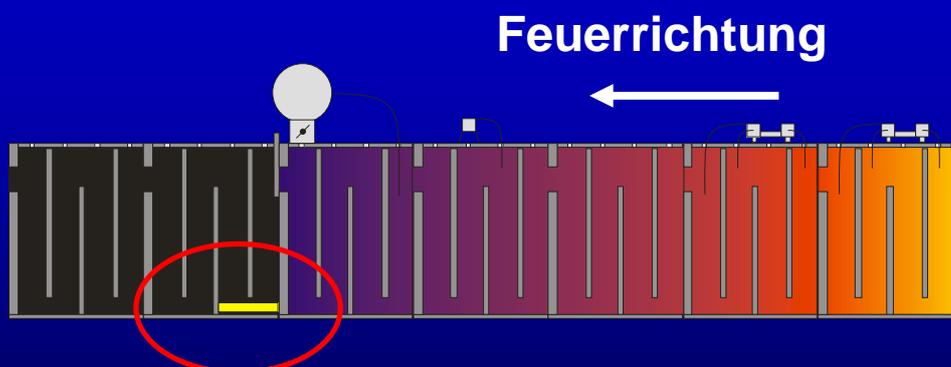
## Zweite Aufgabe

### Dynamische Adaption der Feuerung in Abhängigkeit vom „ Heizkanalindex“

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Der Heizkanal - Index

Das Feuer steht vor einem „ geblockten“ Heizkanal



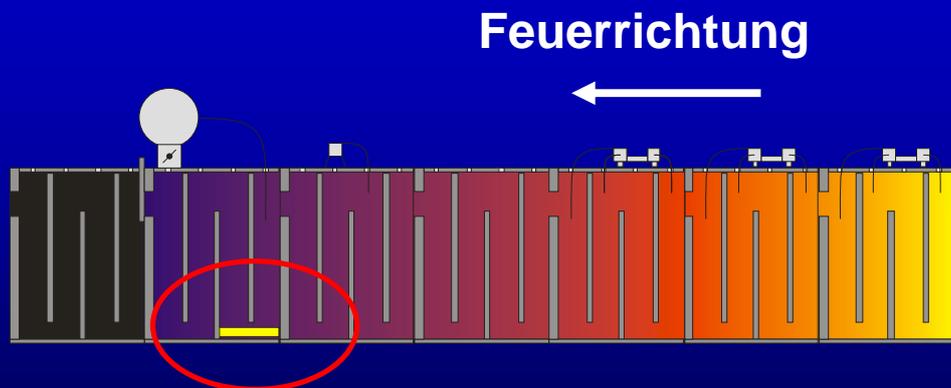
Erste Situation: Blockage ist vor dem  
Abgassammler

Feuerung ist noch nicht betroffen

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Der Heizkanal – Index ( HKI )

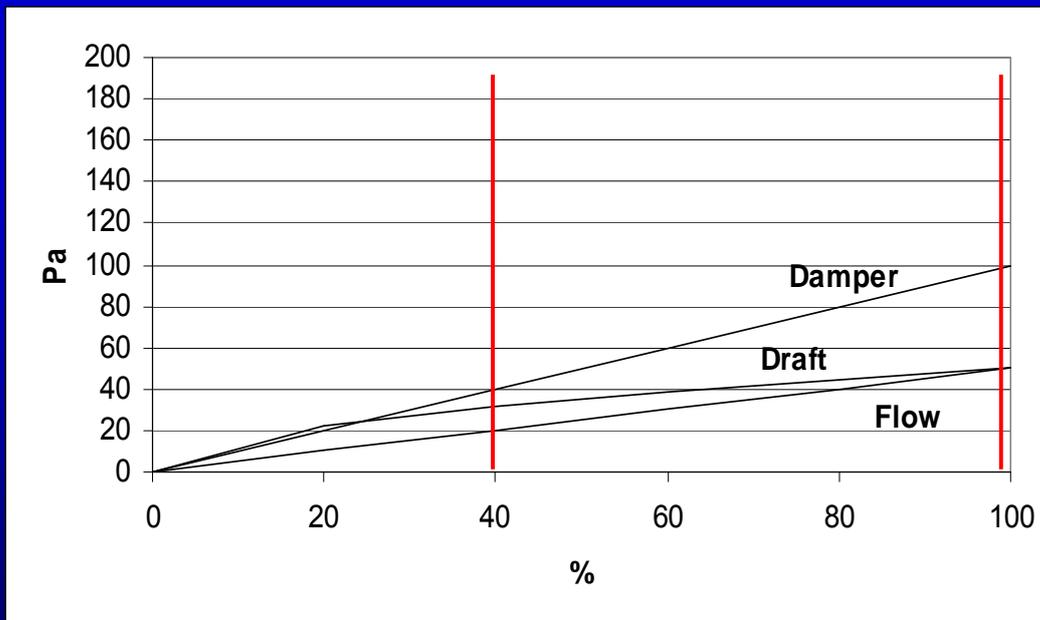
Das Feuer läuft in einen „ geblockten“ Heizkanal



**Zweite Situation: Blockage befindet sich in der ersten Sektion**

**„Heizkanalindex“ HKI identifiziert die Veränderung**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



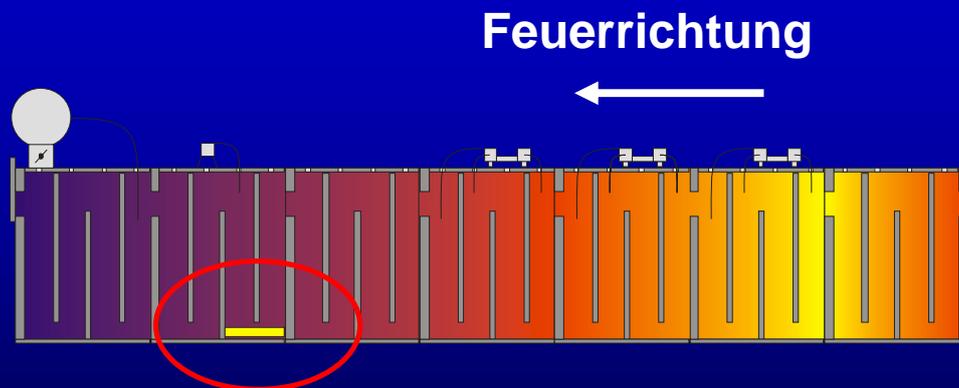
**Unterdruckmangel**

**Reaktion des HKI: Öffne Abgasregelklappe**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# Der Heizkanal – Index ( HKI)

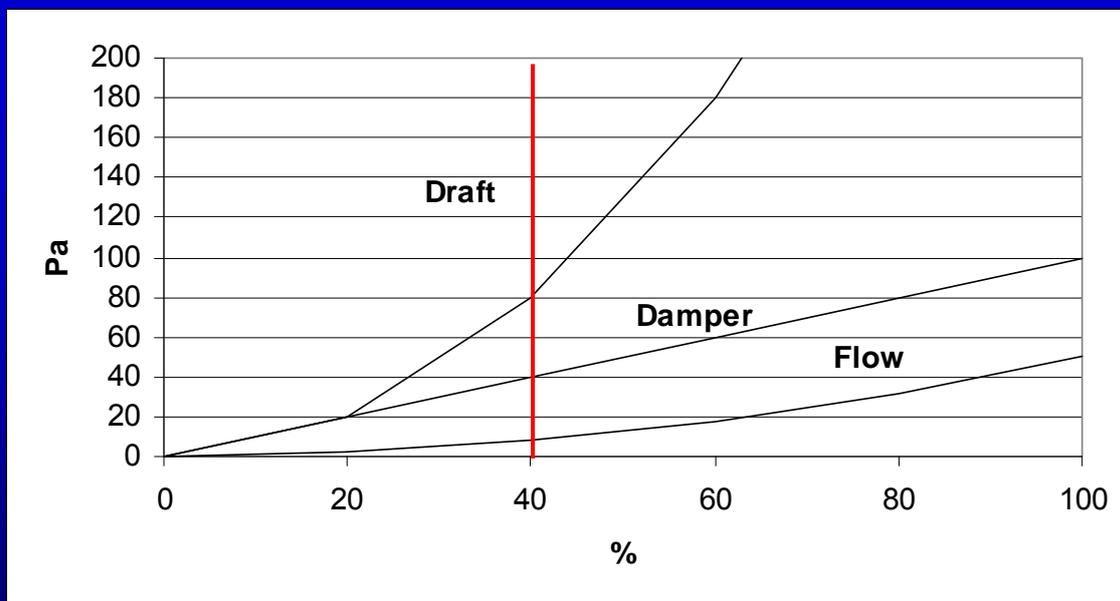
Das Feuer läuft in einen „ geblockten“ Heizkanal



**Dritte Situation: Blockage befindet sich in der zweiten Sektion**

**„Heizkanalindex“ HKI identifiziert die Veränderung**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

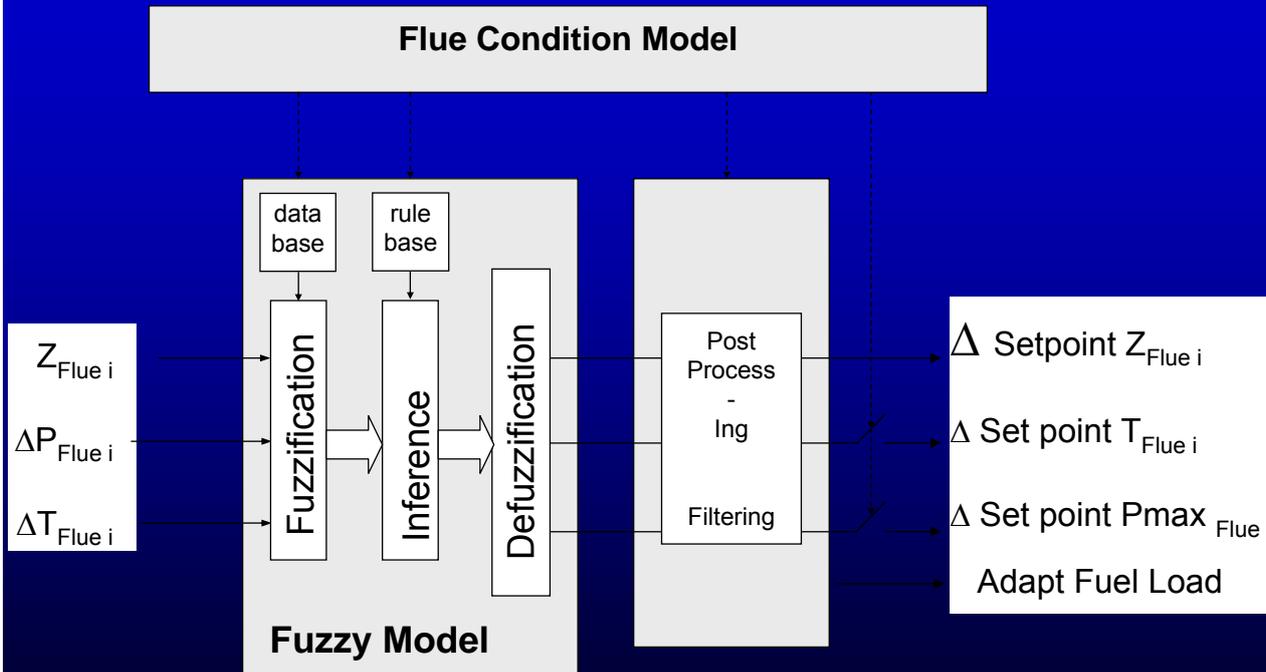


**Überdruck – Situation, kein Volumen**

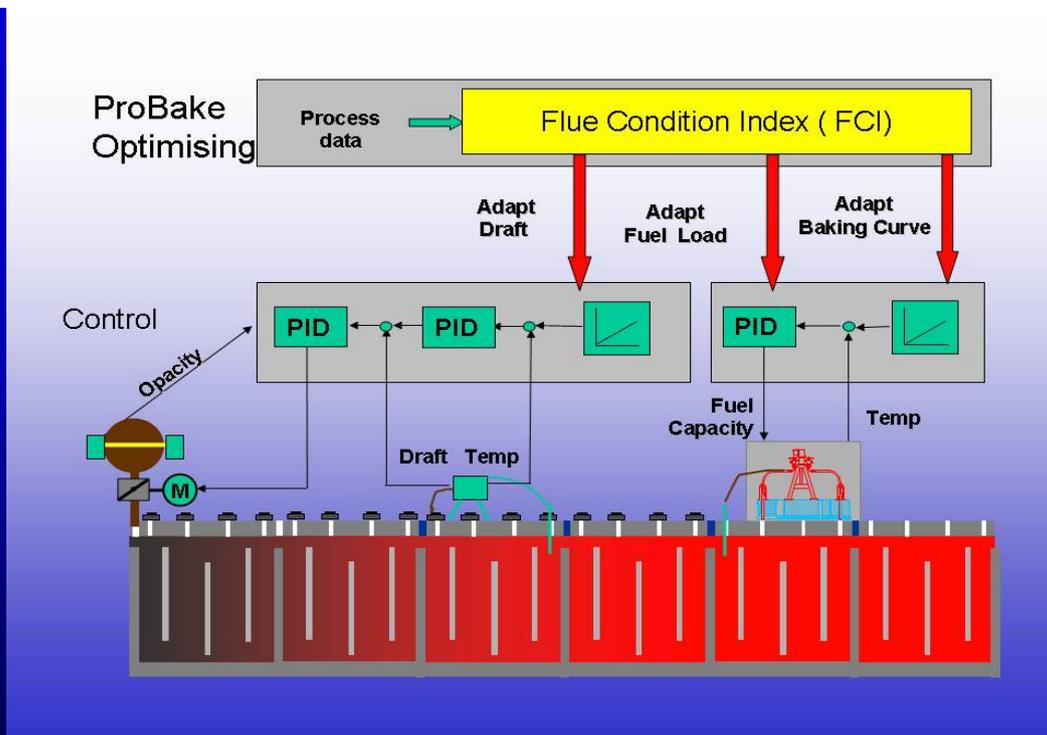
**HKI Reaktion: Adaption der Regler**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# HKI kalkuliert Adaptionen



2007 SEI H07 : 24. - 26.09.2007



# HKI adaptiert Regelgrößen

2007 SEI H07 : 24. - 26.09.2007

## Der Heizkanal – Index ( HKI)

### Reaktionen

- Ein schlechter Heizkanal wird on-line identifiziert, Druck- und Temperatursollwerte werden angepaßt
- Ein völlig geblockter Heizkanal führt zu einer automatischen Sicherheitsabschaltung der Feuerung in diesem Heizkanal, um eine Anlagengefährdung zu vermeiden (Abschaltung der Gaszufuhr für diese Brenner)

---

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Der Heizkanal – Index ( HKI)

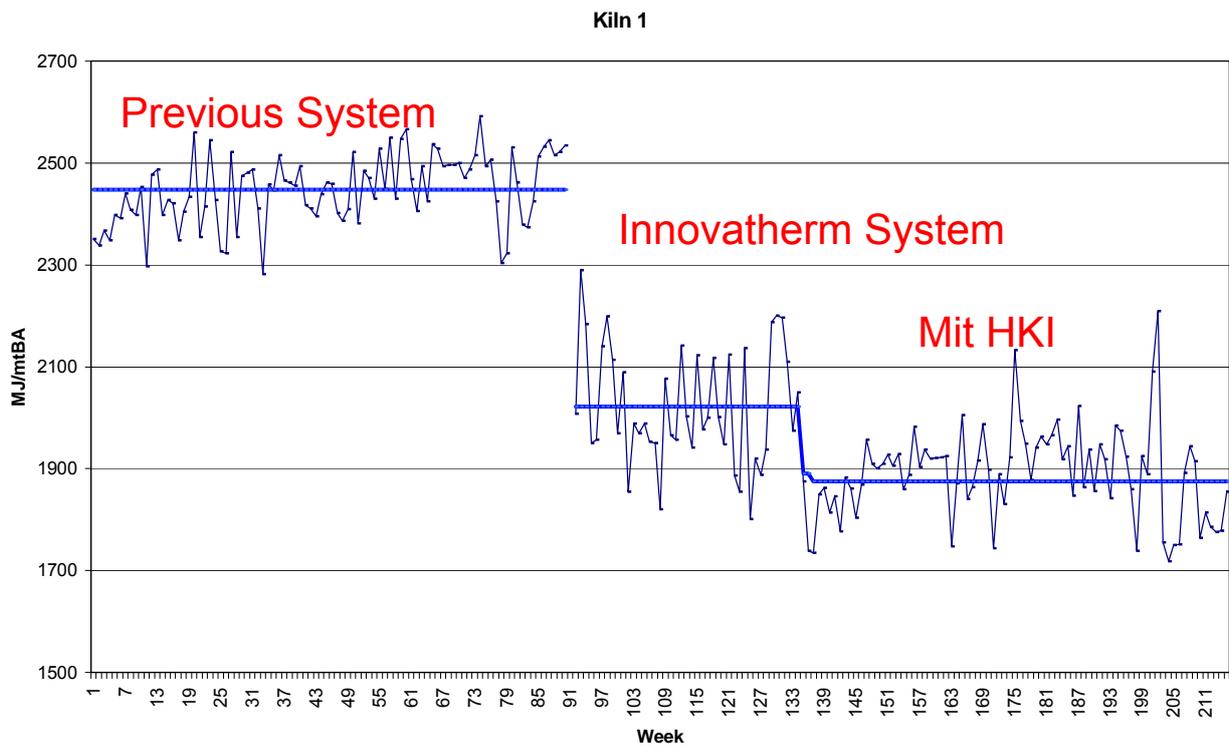
### Weitere Ergebnisse

Die dynamische Adaptation durch den HKI führt zu

- weniger thermischer Belastung des Heizkanals  
Erhöhung der Lebensdauer
- Erhöhung der Betriebssicherheit
- Energieeinsparung, speziell bei älteren Öfen

---

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Der Heizkanal – Index ( HKI )

### Zusammenfassung

- Die Einführung des HKI generiert ein aktuelles Ofenzustandsabbild, aus der Instandhaltungszyklen abgeleitet werden
- Die dynamische Adaption durch den HKI generiert
- präventive, aktive Sicherheit
- längere Standzeit der Heizkanäle
- Einsparung von Brennstoff Erdgas oder Öl

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007



## Der Heizkanal-Index

*Hey John,  
Welcher Heizkanal  
ist es???*

**Wir raten  
Besser keine  
Ausbildung**

**Zum  
Heizkanalwächter**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

## Nachwort

**Lieber Gerd Nowack**

**Viele gemeinsame Jahre der  
Freundschaft verbinden uns**

**Es begann 1982 mit der  
Absolvierung von Studien –  
und Diplomarbeit am Lehrstuhl  
„Elektronische Schaltungen/Meßtechnik“**

2007 SEI H07 : 24. – 26.09.2007

# VERBESSERUNGEN AN HEIZKANÄLEN IN ANODENBRENNÖFEN - FLUE CONDITION INDEX -

Detlef Maiwald

Innovatherm Prof. Dr. Leisenberg GmbH + Co. KG; Am Hetgesborn 20, D-35510 Butzbach, Germany

## Abstract

The condition of the flue walls in open pit anode baking furnaces is an important factor in terms of production efficiency. The flue walls change their physical properties which change the flow resistance, produce air leakages and even affect the mechanical stability due to the periodical heating/cooling cycle. Therefore the flue walls have to be observed regularly by maintenance staff and exchanged in average after a lifetime of 150 fire cycles.

With the introduction of a flue condition index, each flue in a furnace is evaluated continuously. An on-line mathematical model detects the actual condition of each flue by correlation of the relevant process data available in the firing system. As a consequence the firing properties like the maximum fuel input or the draft can be adapted or limited to the actual condition of the flue. This prevents critical situations, avoids hot spots and increases operational safety, flue wall lifetime and fuel efficiency.

## Introduction

The anode baking process is running basically as a two convection heat exchanger with a firing zone in between, thus forming three areas. These areas are the preheat, firing and cooling area. Therefore, the basic requirement of the Firing Control System is to control each flue of a fire in these three areas.

The baking process is determined by a temperature-versus-time function relating to the anodes. The heat is mainly produced by combustion of primary fuel in form of natural gas or heavy fuel oil inside the flues, introduced by a set of equipment called a "fire" which is moved around the furnace.

Figure 1 shows a typical arrangement of a fire with the related temperature profile.

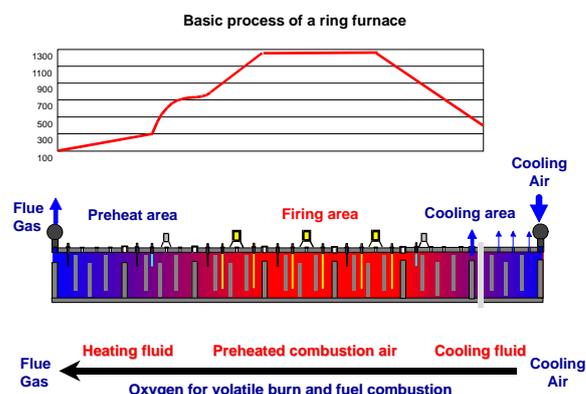


Figure 1: Baking furnace principle

For the production of baked anodes, green anodes have to be loaded into the baking furnace. They have to be heated up to 1080 °C and cooled down afterwards to reach unloading temperature. The cycle time is about 160 h to reach the maximum temperature and another 160 h to get back to unpacking temperature of about 230 °C.

So in average every 14 days the furnace is operated in an alternating temperature range of more than 1000 °C.

This cyclic and non continuous procedure performs thermal stress to the furnace structure and especially to the flue walls made of high temperature resistant refractory materials. As a result the flue walls start to deteriorate from day one of production, and after some time of operation visual changes can be observed like bending of the flue walls, vertical cracks along the flue wall or expansion of the joints to gaps. Figures 2-4 are typical spots through a life time of a flue wall.



Figure 2: Flue wall condition of a new furnace



Figure 3: Flue wall condition after years of operation



Figure 4: Typical cracks along a flue wall

### Production consequences

Since the anode baking furnace structure mainly consists of flue walls (a typical furnace contains more than 324 flue walls), special attention has to be laid on the changes of the flue wall condition. Consequences can be as follows:

- Bending of the flue walls may change the physical properties of the flow resistance
- Bending of the flue walls lead to gaps at the joints, where air leakages will occur
- Cracks and gaps at the flue walls may lead to ingress of packing coke materials, which will block the flue partially or totally
- Total collapse of a flue wall may lead to serious operational hazards

Therefore in most of the anode baking facilities a “refractory maintenance team” is established to observe the flue wall condition after each fire cycle, plan necessary repairs or partial changes of flue walls after a specific life time.

But this maintenance team is checking mechanical damages only, negative effects in the thermal process are not observed.

### Evaluation of a Flue Condition

The basic idea for the evaluation of a Flue Index is the utilization of the existing data collected by the firing system and the integration into a fuzzy logic system. A typical condition of an undisturbed flue situation can be discussed by Figure 5.

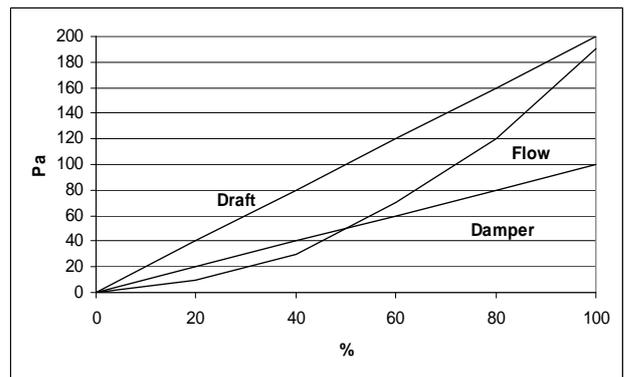


Figure 5: Condition in an undisturbed flue

This Figure illustrates the damper position in per cent at the exhaust manifold for one flue versus the actual draft value and indicates the resulting flue gas flow rate of an “undisturbed” flue in good or new condition.

Figure 6 shows the same values for a disturbed flue, or a flue in a poor condition.

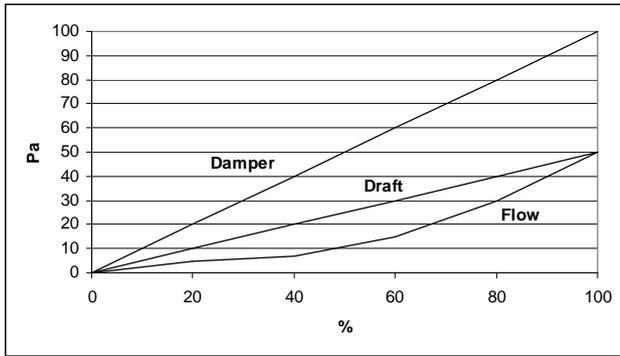


Figure 6: Condition in a disturbed flue

In comparison to Figure 5 for the same damper position, the draft value is lower and also the corresponding flue gas flow is lower. Taking this phenomena into account, the flue must have changed its physical properties, i.e. the flow resistance has increased.

Similar dependencies can also be found in the firing zone at the burner ramps. The target temperature can be achieved with different burner capacities, depending on the actual flow resistance of the flue. If the flue is in poor condition, for the same target temperature a higher burner load can be found in relation to other flues. And this situation even worsens the condition of the flue, resulting in higher hot spot temperatures underneath the burners and higher fuel input into the furnace.

### The Flue condition index

As described earlier, certain conditions and values of the firing system give an indication of the current flue condition. These are mainly:

- The damper position
- The temperature deviation
- The burner capacity
- The draft deviation

Therefore a fuzzy logic model is chosen to perform a Flue Condition Index by introducing these data as an input data base. The principle is shown in Figure 7.

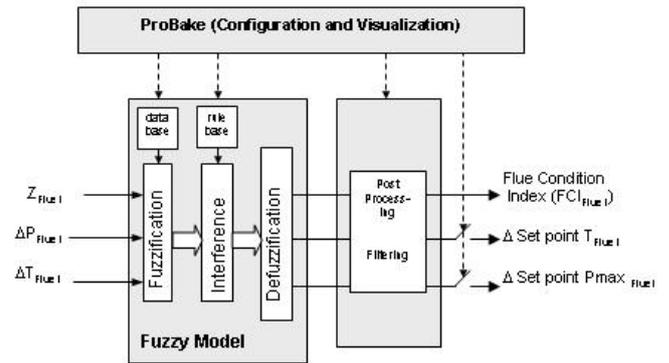


Figure 7: Flue condition index fuzzy model

Fuzzy technology contains theoretical methods und technical realizations based on fuzzy logic algorithms. While within the crisp logic only two values of degrees of truth exists (true=1 and false=0), the fuzzy logic is a multivalent logic. Within the fuzzy logic the degree of truth can be defined as function of weighing factors. Therefore values between 0 and 1 for degrees of truth are possible. Although the fuzzy technology uses humans experience, vague knowledges and heuristic methods, it performs on a defined scientific base.

The input signals are correlated, introduced into the fuzzy logic model, where the dependencies and rules are set and processed. As a result a Flue Condition Index is continuously calculated, indicating a Flue Condition in a range of 0 – 100 per cent.

### Survey of the Furnace by Flue Condition Index

Having this Flue Condition Index as a base, the furnace is now continuously supervised in terms of an actual condition of each flue. The operator is informed about the status of every flue, the same applies for the refractory maintenance staff. Degradation of the flues can be observed in an early stage, before a situation becomes serious. Additionally the flue life time of each flue in terms of fire cycles will be observed automatically. A typical result of the flue condition index is shown in Figure 8.

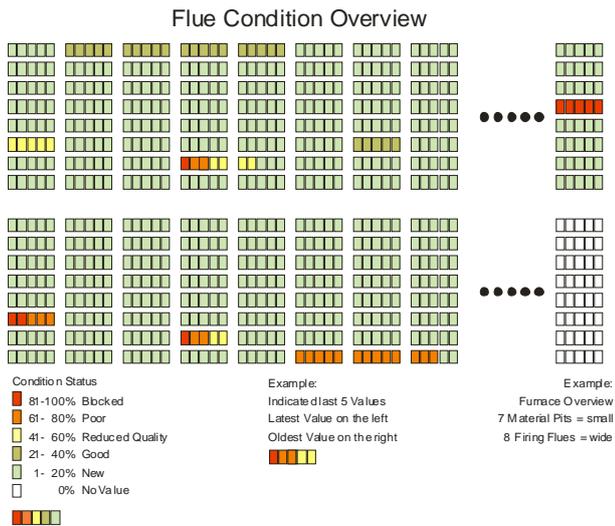


Figure 8: Flue condition furnace overview

Each flue contains 5 indication bars of the last 5 evaluations of a flue condition index each time a fire passes across this flue. Grey and green colours of this bar indicate flues in nearly new condition, yellow colour indicates ongoing degradation where as a red colour shows up bad condition or even a blocked flue. Now it is possible to select one specific flue and get details data which are shown in Figure 9.

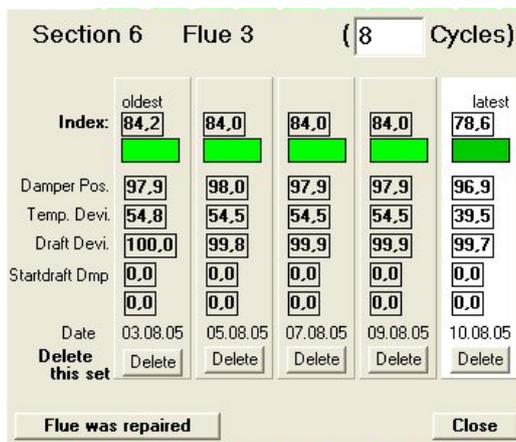


Figure 9: Flue condition index details

The top line focuses the selected flue and indicates the actual life time in terms of fire cycles. The last five calculated Flue Condition Index (FCI) Values are shown which reflect directly the status of the flue. Also the input data of the fuzzy logic model are shown in correlation to the FCI found.

Now it becomes obvious to integrate these results into the firing control strategy in order to adapt and optimize the baking process.

## Adaptive Control

The standard firing and control system does not recognize any variations in the condition of the flue. It even acts in the wrong direction when flues become older and the flow resistance is increasing. The standard control of the burner ramp can be discussed as a typical example. It introduces a certain amount of fuel at the first peepholes of the flue to reach the target setpoint temperature, which is measured at the end of the flue. If the flue becomes older, a higher amount of fuel is necessary to reach the same target temperature. This leads to higher hot spot temperatures at the burner entries and consequently higher temperature stress to the refractory materials. Carbon plants will recognize, that after some years of operation the specific fuel consumption of a baking furnace is slightly increasing.

An adaptive control algorithm using the FCI prevents partial overheating by limiting the maximum fuel input dynamically. The control strategy is shown in Figure 10.

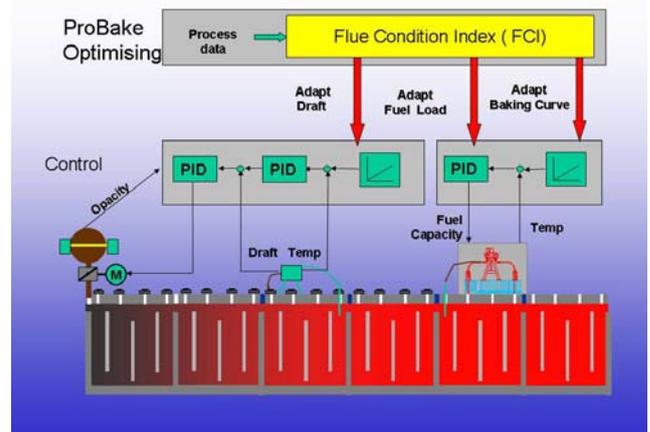


Figure 10: Adaptive control strategy

Further adaptive controls which can be executed through the FCI are the adaptation of the draft and the adaptation of the baking curve. If a flue is detected in a poor condition, immediately a higher draft setpoint is activated to reach the same flow condition compared to an undisturbed flue. The standard control would rely on the same draft setpoint, which may lead to bad combustion condition in terms of available oxygen in the flue gas.

Finally, also the baking curve can be adapted dynamically to the condition of the flue. If a flue is in bad condition, the heating up gradient will be lowered and the final soaking temperature adapted at a later stage to reach a similar heat transfer to the anode.

As a consequence, older flues will be treated with lower thermal stress which leads to an additional increase of the flue lifetime in terms of number of fire cycles.

### **Operational safety**

Each flue will be supervised on-line and in every phase of production. Therefore hazardous situations are minimized. Bad flues are detected and announced before the situation becomes serious. Even blocked flues will be detected and consequently the fuel input will be stopped immediately. Also repairs and flue changes can be planned and executed on the base of real data and statistics on top of visual inspections before a collapse occurs. This improves operational safety and prevents hazardous situations utmost.

### **Summary**

For the optimization of the control of an anode baking furnace, a Flue Condition Index (FCI) Module was invented. Using the conventional data from a firing and control system, the condition of each flue is evaluated by a fuzzy logic model. This additional information is a basis for further improvements of the furnace operation. The integration of the FCI into the firing strategy increases the lifetime of the flues, improves the fuel efficiency especially on older furnaces and maximizes the operational safety.

### **References**

- [1] W. Leisenberg, "Flue Gas Management", Light Metals 1999, 579-584
- [2] David Wilburn, Noranda Aluminium, "Test Results of Flue Condition Index", Internal Report 2005
- [3] P. Mnikoleiski, Innovatherm, Investigation of various Flue Conditions at ALCAN Sebree Works, Internal report 2005
- [4] A. Himmelreich, Innovatherm, Flue Condition Module, Fuzzy Logic Fundamentals, Development Report 2005

# Zellspannungsüberwachung für Direkt-Methanol- Brennstoffzellen

Peter Kämmerling, Holger Janßen,  
Jürgen Mergel, Harald Kleines  
Forschungszentrum Jülich

Vortrag im Rahmen der Herbsttagung der  
Studiengruppe für Elektronische Instrumentierung  
26.9.2007     Ruhr-Uni Bochum

## Zusammenfassung

Direkt-Methanol-Brennstoffzellen-Stapel (DMFC) benötigen zur Vermeidung instantaner erheblicher Korrosion während ihres Betriebes eine Einzelzellspannungsüberwachung (Cell Voltage Monitoring, CVM). Wir stellen die Anforderungen sowie die Entwicklung des CVM für DMFC vor. Wir geben einen Ausblick in die Zukunft.



# Inhalt

1. Brennstoffzellen und ihre Anwendung
2. Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC)
3. Entwicklungsweg zum Cell Voltage Monitoring (CVM)
4. aktuelles Cell Voltage Monitoring (CVM)
5. Ausblick



# Brennstoffzelle

- Galvanische Zelle, wandelt chemisch gebundene Energie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes mit einem Oxidationsmittel in elektrische Energie um.
- Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzellen sind die bekanntesten.
- Hier: DMFC, Direct Methanol Fuel Cell



# Brennstoffzellen

Fuel Cell	Elektrolyt	Brennstoff	Temperatur/°C
<i>Alkaline AFC</i>	<i>Kalilauge</i>	$H_2$	< 80
<i>Polymer Electrolyte Membrane PEM</i>	<i>Polymermembran</i>	$H_2$	60..80
<i>Direct Methanol DMFC</i>	<i>Polymermembran</i>	<i>Methanol</i>	60..80 (90..120)
<i>Phosphoric Acid PAFC</i>	<i>Phosphorsäure</i>	$H_2$	200
<i>Molten Carbonate MCFC</i>	<i>Alkali-Carbonat-Schmelze</i>	$H_2, CH_4..$	650
<i>Solid Oxid SOFC</i>	<i>Oxidkeramik</i>	$H_2, CH_4..$	800..1000



# Anwendungsgebiete

- $\leq 50W$   
portabel  
Li-Ion-Akku



- 50W - 1kW  
transportabel  
Dieselgenerator



- 500W - 2,5kW  
mobil  
Blei-Akku



# Anwendungsgebiete

- Bekannt sind Anwendungen für Notebooks oder Autos.
- Eine Studie des FZJ im Jahre 2006 ergab, daß der Ersatz des Akkutroges von Horizontalkommissionierern für den kontinuierlichen Betrieb mit einem DMFC-System wirtschaftlich erscheint.



# Methanol

- flüssig, giftig, wasserlöslich, leicht entzündlich, hohe Energiedichte, gut lager- und handhabbar.
- Eignet sich gut als Energieträger. Durch direkte Verbrennung, als Kraftstoff oder in der Brennstoffzelle in Wärme, kinetische bzw. elektrische Arbeit wandelbar.
- Wichtiger Grundstoff der Chemischen Industrie. Wird heutzutage hauptsächlich aus Kohle oder Methan synthetisiert.
- Aus Lignin gährbar. Mit Zellstoff häufigster Biostoff auf der Erde, u.a. in Biomasseabfällen aus Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie.

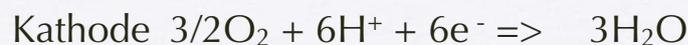


# DMFC

- Die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle heißt so, weil das Methanol in ihr direkt in elektrische Leistung gewandelt wird.
- Mit Hilfe eines Reformers könnte das  $H_2$  abgespalten und in einer PEM oder AFC oxidiert werden (indirekt).
- Die DMFC verbrennt das Methanol vollständig. An der Membran reagieren Methanol und Luftsauerstoff.

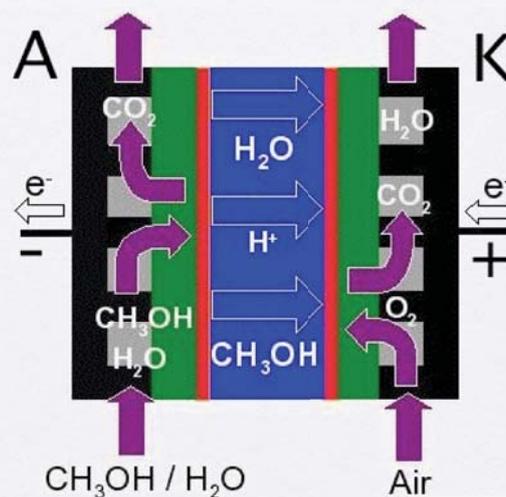


## Reaktion DMFC



Schichtaufbau:

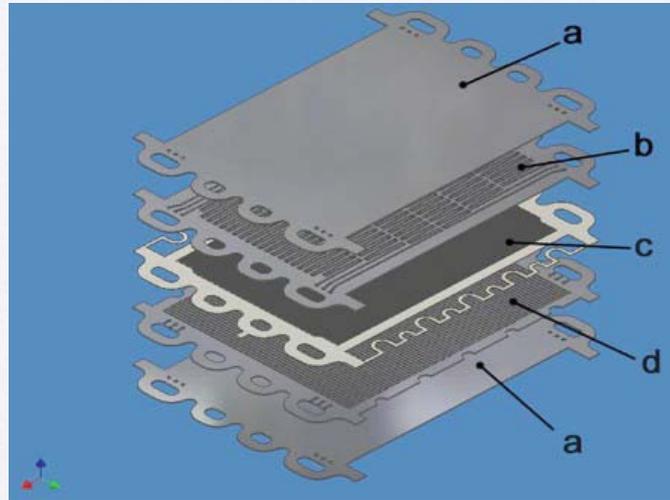
- poröser Kohleleiter, Diffusionsschicht (schwarz)
- Katalysator (grün)
- Membran (blau)



# DMFC-Zelle

- a. Bipolar-Platte.
- b. Flowfield Anode.
- c. Membrane-Electrode-Assembly (MEA) mit Membran, Katalysatorschichten, Diffusionsschichten.
- d. Flowfield Kathode.

Alle Platten bis auf den MEA-Rahmen sind elektrisch leitend.



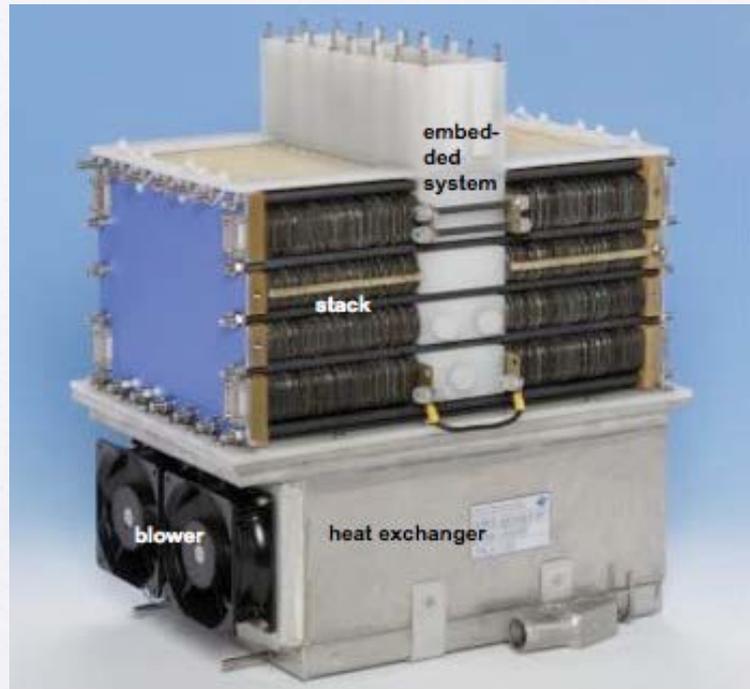
# MEA

- Die Herstellung der MEA ist aufwändig, d.h. teuer und sie lässt sich nur schwer austauschen.
- Heute gebräuchliche Membrane lassen nicht nur  $H^+$  passieren, sondern auch Methanol, was den Wirkungsgrad beeinträchtigt.
- Die Katalysatorschichten aus Platin und Ruthenium korrodieren unter unerwünschten Betriebsbedingungen. Die feste poröse Graphitschicht gleicht Stromdichten aus.



# DMFC-Stack

- Stapel aus ca. 100 Einzelzellen.
- Plattenartig gestapelt.
- Wasserrückgewinnung.



# Leistungsdaten

- Leistung 2,0 kW @ 0,45 V single cell voltage
- U, I 40..80V, 30..60A
- Anzahl Zellen 100
- Temperatur 70 .. 80°C
- Leistungsdichte 155 W/kg
- Wirkungsgrad 30%

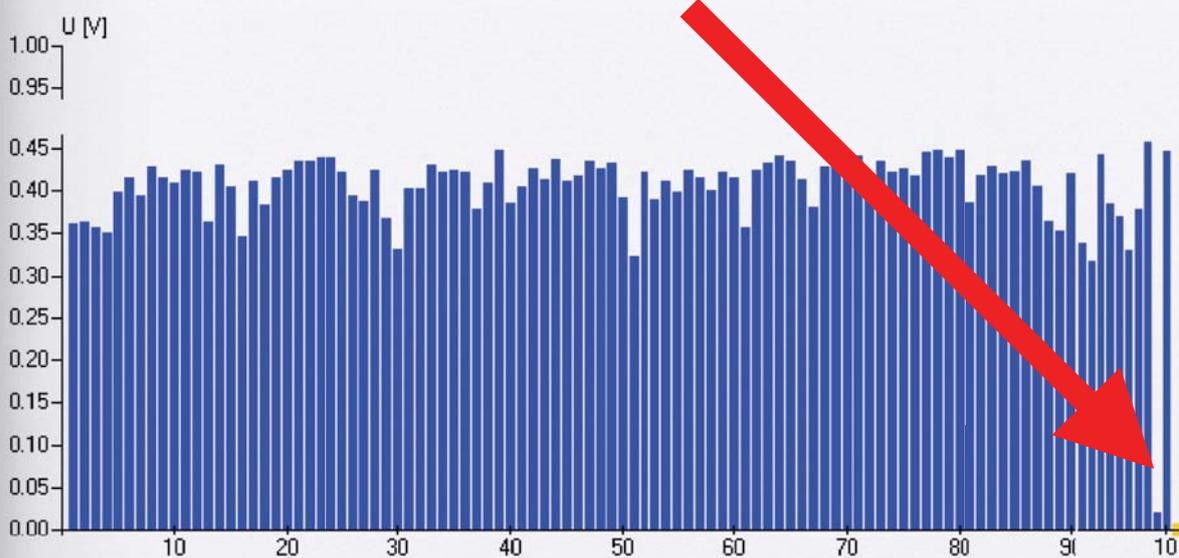


# unter Last

- Zellspannungen ohne Last ca. 0,7V .. 1V.  
Zellspannungen unter Last ca. 0,3V .. 0,6V.
- Durch kurzfristig stockenden Medientransport treten unter Last sporadische akute individuelle Zellspannungseinbrüche auf.
- Zellspannungseinbrüche unter Last führen zur instantaner Korrosion der Katalysatoren in der betroffenen Zelle.
- Lastabwurf verhindert Zellkorrosion bei Zellspannungseinbrüchen.



# Spannungseinbruch



# CVM Anforderungen

- Meßzyklus 100ms für 100 Zellspannungen.
- Lastabwurf bei Unterschreiten einer Schwelle, z.B. 300 mV, mit einer Auflösung von 6 Bit  $\approx$  16 mV/Bit.
- CVM-Preis maximal 100€.



Forschungszentrum Jülich – Zentralinstitut für Elektronik

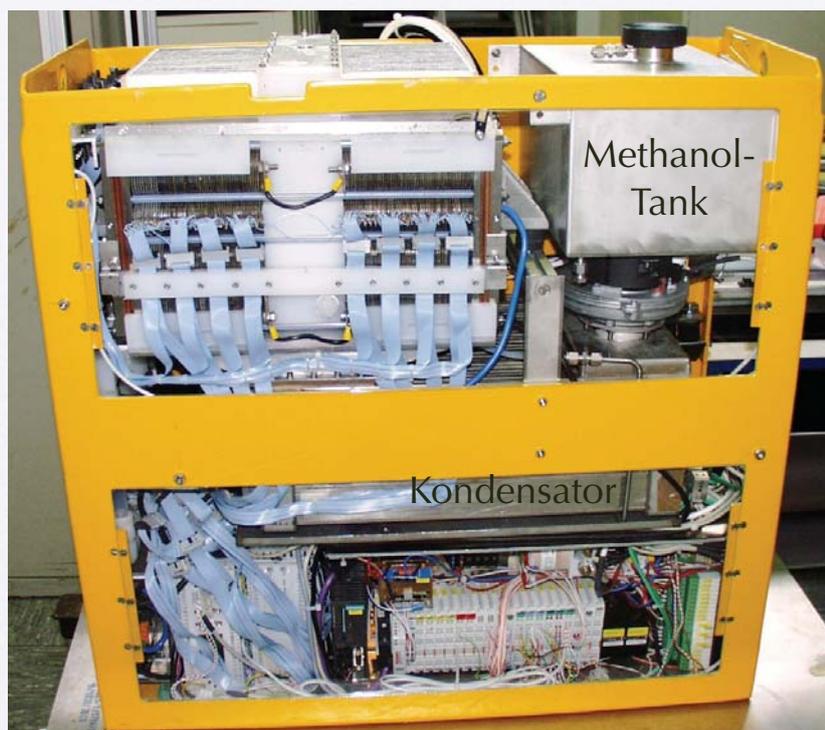
DMFC

# DMFC als Akku-Ersatz

8 CVM-Module

DMFC-Stack

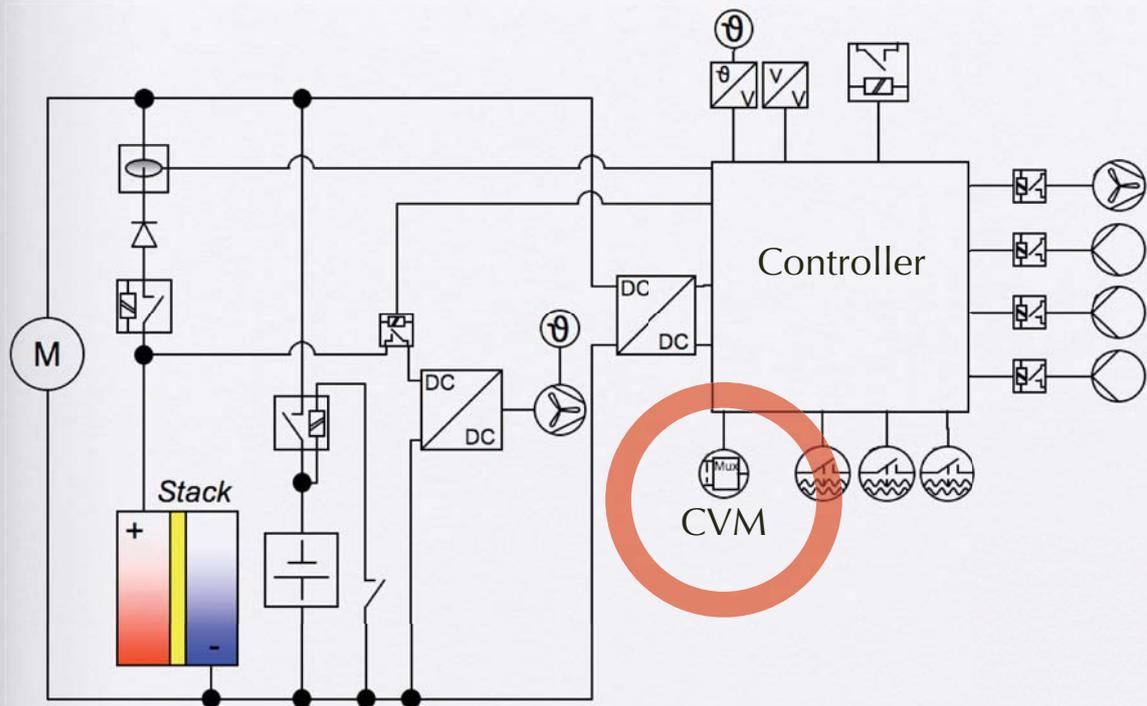
Controller SPS



Forschungszentrum Jülich – Zentralinstitut für Elektronik

DMFC

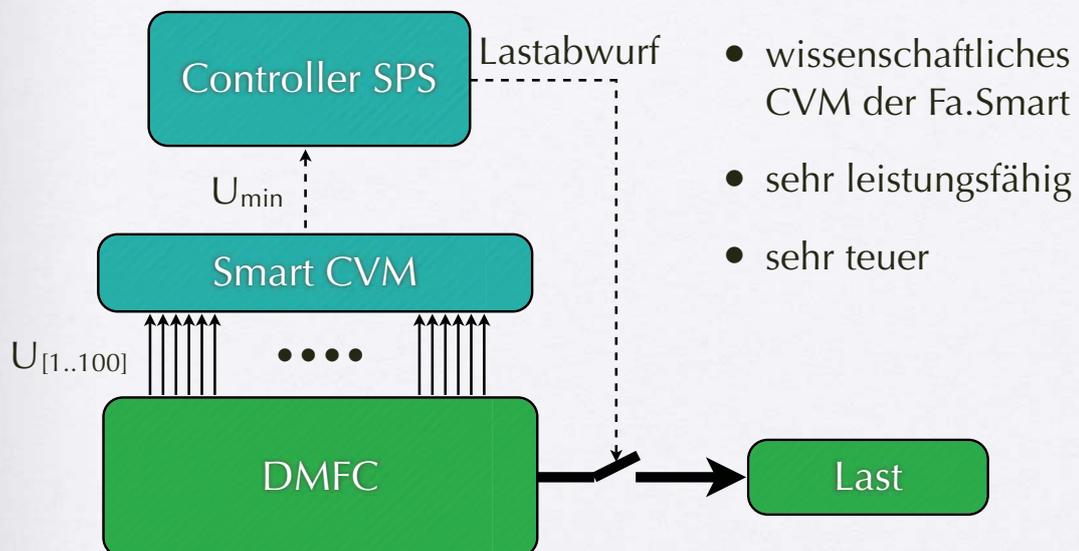
# DMFC-Controller



Forschungszentrum Jülich – Zentralinstitut für Elektronik

Entwicklung

# Bisherige Architektur

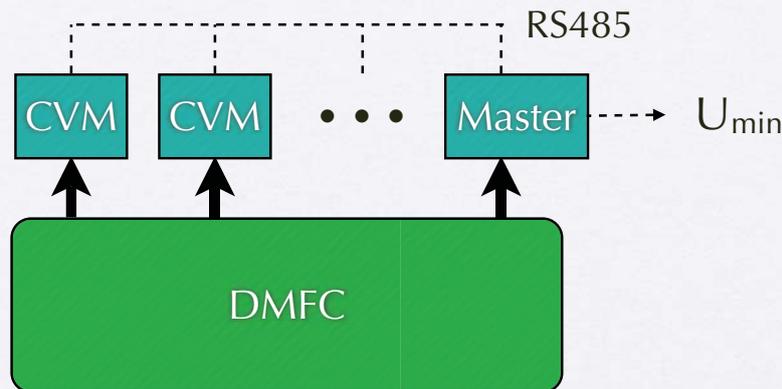


Forschungszentrum Jülich – Zentralinstitut für Elektronik

Entwicklung

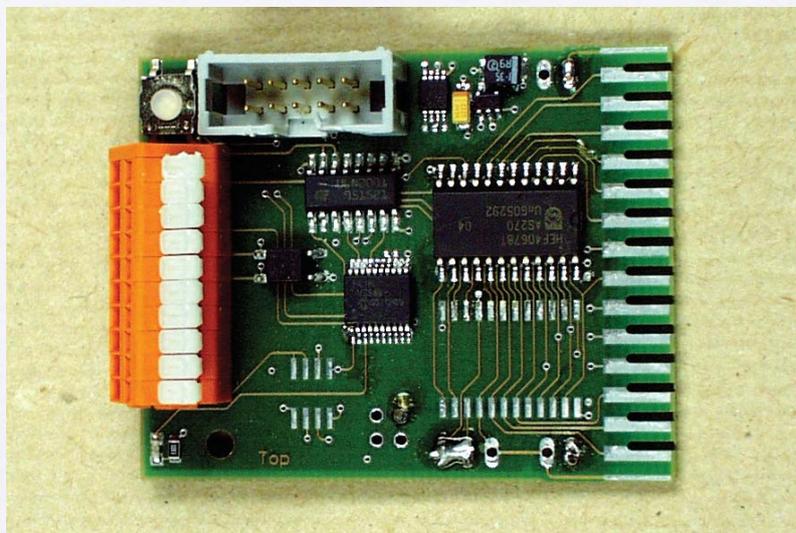
# skalierbares CVM

- 8 Module mit je 13 Meßeingängen, ein Spannungsausgang.
- Betriebsspannung für Module 2,5V .. 13V aus Stack.
- galvanisch entkoppelte Kommunikation der Module untereinander.



# CVM-1 Prototyp

mit analoger Vorverarbeitung, einfachem Microcontroller, Spannungsversorgung aus DMFC-Stack, RS485 über Kondensatoren, ca. 8€



# CVM-1 Prototyp

- PIC18F1320
- CD4067, LT1078, ULN2001
- MAX3471
- LD2980CM25
- Zellspannungs-Kontaktierung direkt an PCB



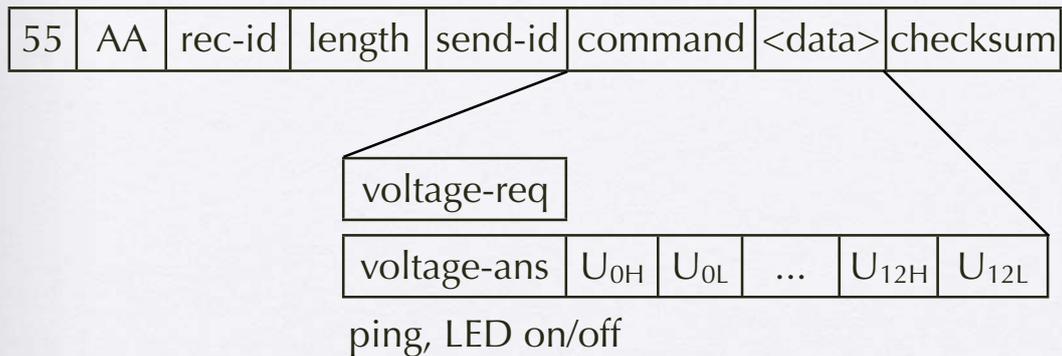
# Meßprinzip

- Jedes CVM-Modul besitzt ein individuelles GND-Potential über Minus seiner ersten gemessenen Spannung.
- Über die analoge Vorstufe werden Zellspannungen ausgewählt und in den Dynamikbereich des ADC verstärkt. Die ADC-Auflösung von 10 Bit sollte mit Hilfe der analogen Vorverarbeitung gewährleistet werden.
- Die gemessenen Zellspannungen werden zum Master übertragen. Der Master sucht die kleinste Zellspannung heraus und gibt sie aus.

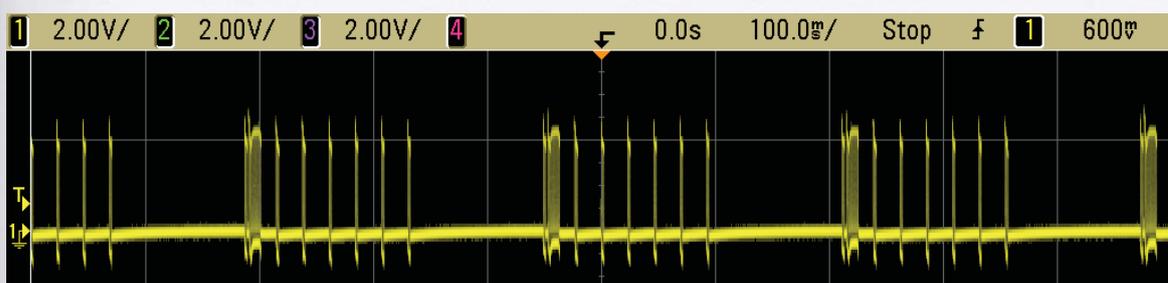


# Kommunikation

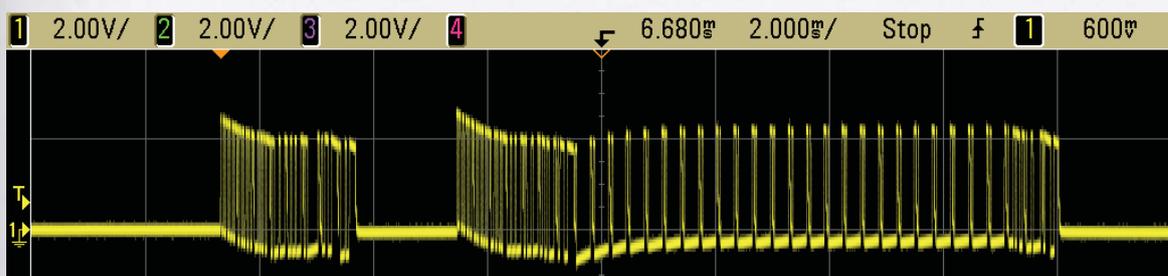
- Proprietäres, gesichertes RS-485-Protokoll.
- single Master fragt, multiple Slave antwortet.
- Frames mit Bytes:



# RS485-Pakete



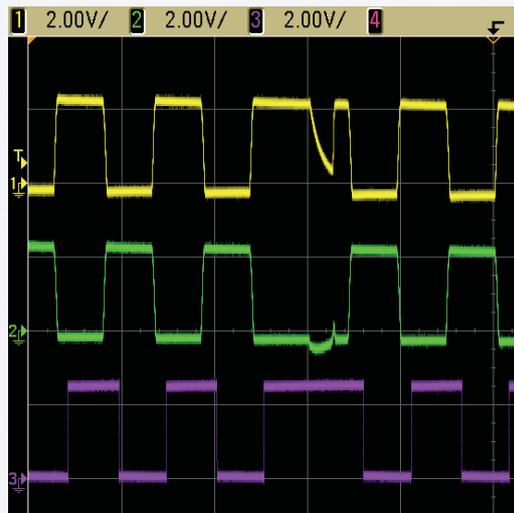
- Sieben Master-Requests an sieben Slaves, Slave-1-Answer



- Master-Request, Slave-Answer; kap. Umladevorgänge auf Bus



# galvanische Trennung



RS485+

RS485- auf Gnd

Receiver-Output

- Der differentielle Bus ist über Kondensatoren 10nF@200V in Reihe galvanisch entkoppelt.
- Bei langen 0- oder 1-Bit-Folgen erfolgt Entladung, aber der stochastische Wechsel ist bei 9,6 .. 57,6 kBaud schnell genug.



# Probleme

- Problem 1: unsystematische Exemplarstreuung des nicht-linearen Verlaufes des Innenwiderstandes der Analogmultiplexer über die Temperatur sowie über die wechselnde Betriebsspannung => individuelle Temperatur- / Spannungs-Kalibration, ggf. auch noch über Alterung notwendig.
- Problem 2: zu kleiner Datenspeicher beim Master für die Kommunikation und alle Meßwerte.
- Problem 3: direkte Kontaktierung zu starr für Wärmeausdehnung des DMFC-Stack, Oxidation der Kontaktflaschen in feucht-warmer Umgebung.

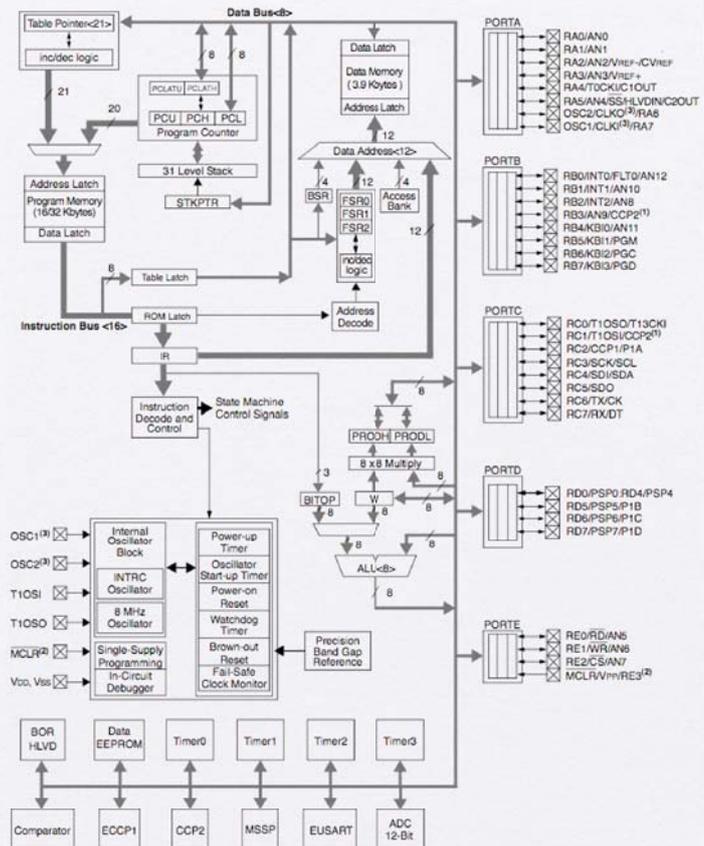


# Lösung

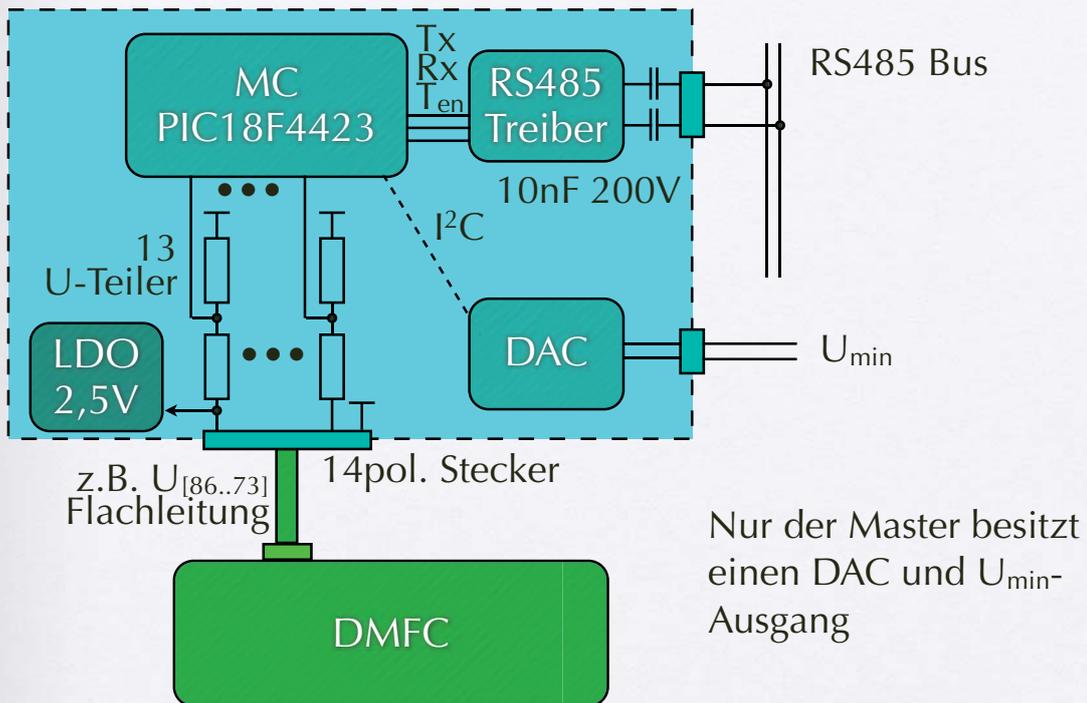
- Neukonzeption der Hardware und des Meßprinzip:
  - leistungsfähiger Microcontroller,
  - 13 MC-Analogkanäle mit U-Teilern über GND,
  - Differenzspannungen werden errechnet,
  - Verlust von ca. 4 Bit MSB Auflösung,
  - Absetzen der elektrischen Kontaktierung.
- Übernahme der galvanisch entkoppelten Kommunikation des ersten Prototypen.



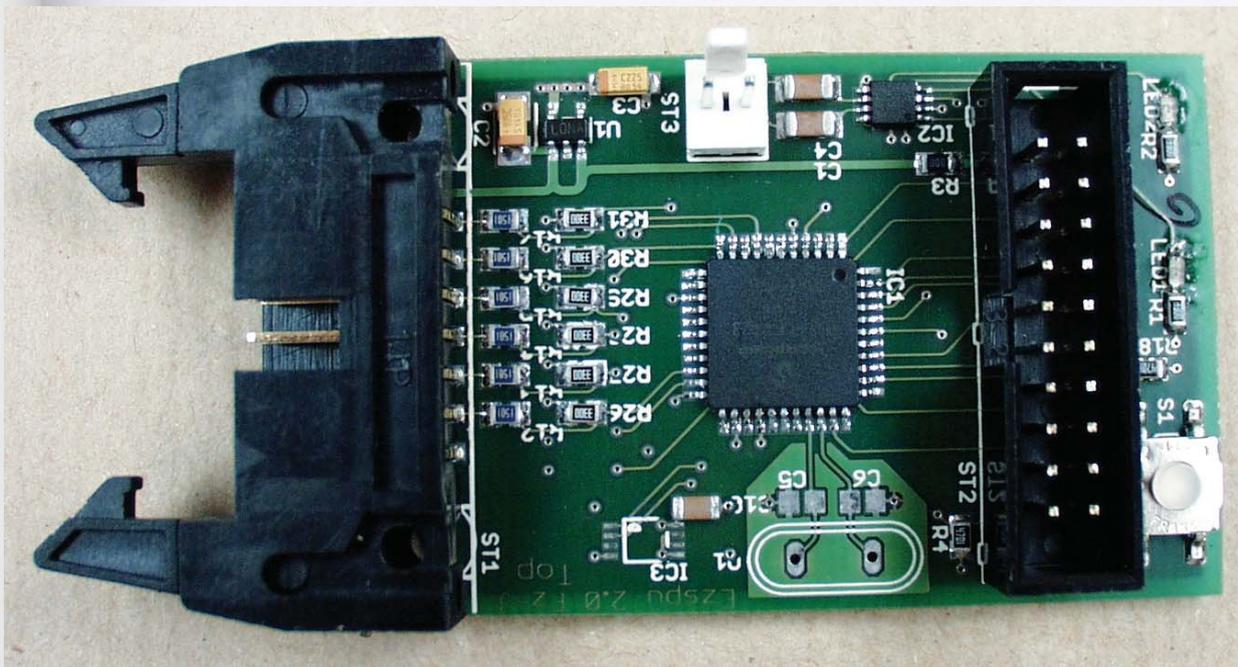
- PIC18LF4423
- 13-Kanal 12-Bit ADC
- I2C für DAC
- UART für RS485
- 4 MHz intern, 1 MIPS
- Watchdog u.ä.
- 16k Byte FlashROM
- 768 Byte RAM
- Vcc 2.5V



# CVM-2-Modul

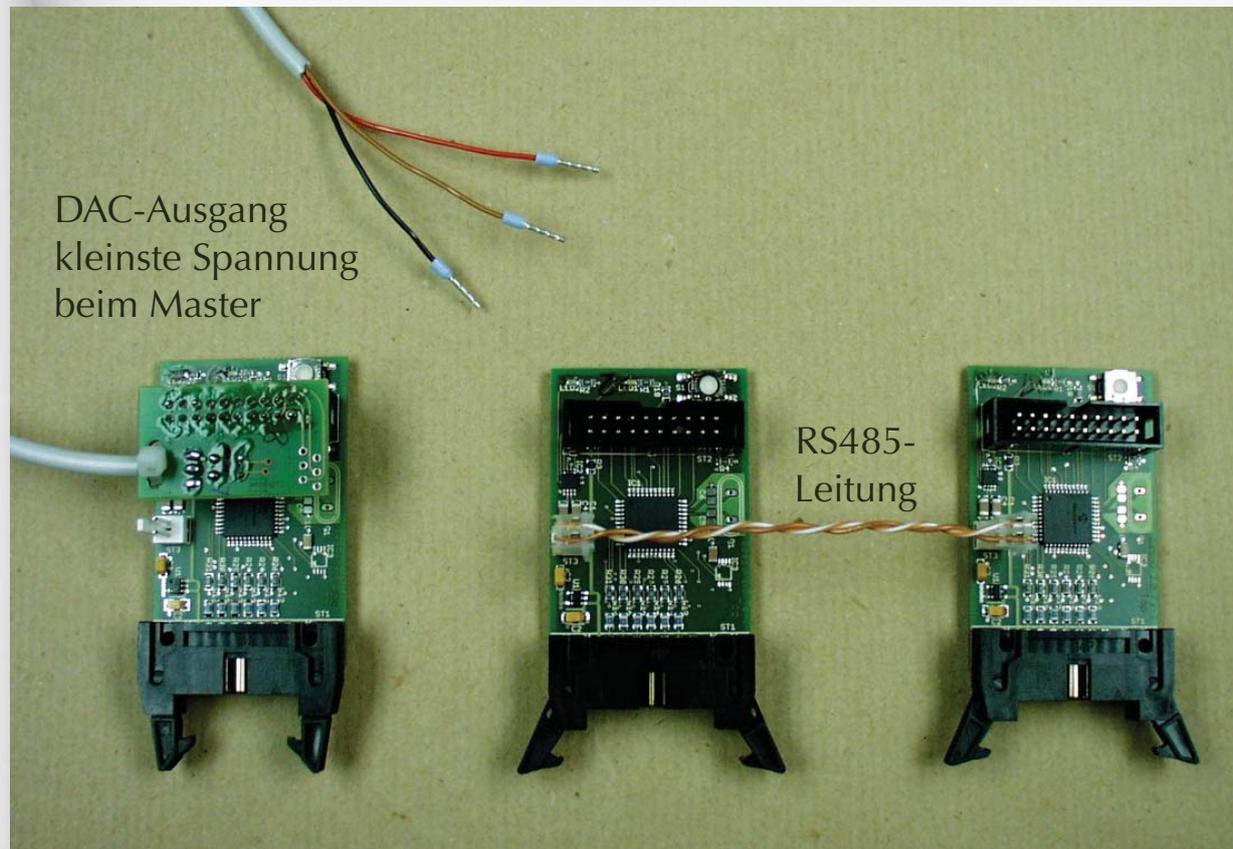


# CVM-2-Modul



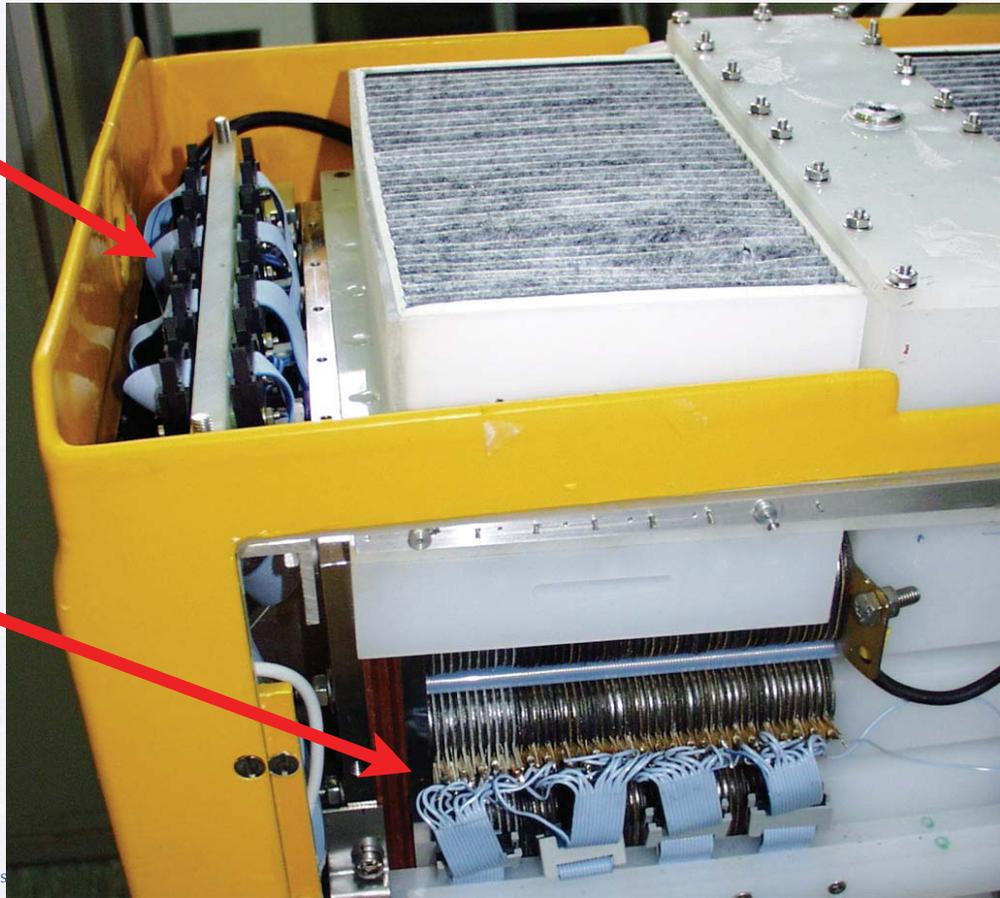
# Hardware des CVM-2

- links ist der Flachbandleitung-Stecker mit den Zellspannungseingängen der DMFC, rechts davon Spannungsteiler,
- Microcontroller, Feature-Stecker, Taste, zwei Leuchtdioden
- oben l.n.r. LDO 2.5V, Kommunikationsstecker, kapazitative galvanische Trennung, RS485-Treiber



8 CVM-  
Module

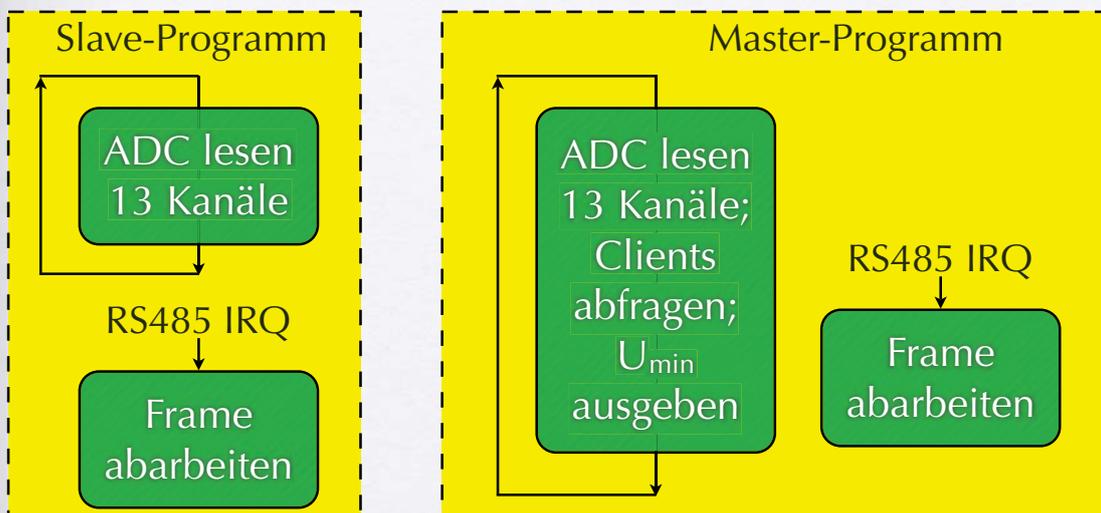
Spannungs-  
abgriffe vom  
DMFC-Stack



Fors

# Software des CVM-2

Microchip IDE; In-circuit-debugger und -Programmiergerät;  
C-Compiler Fa.CCS mit vielen Funktionen und Libraries.

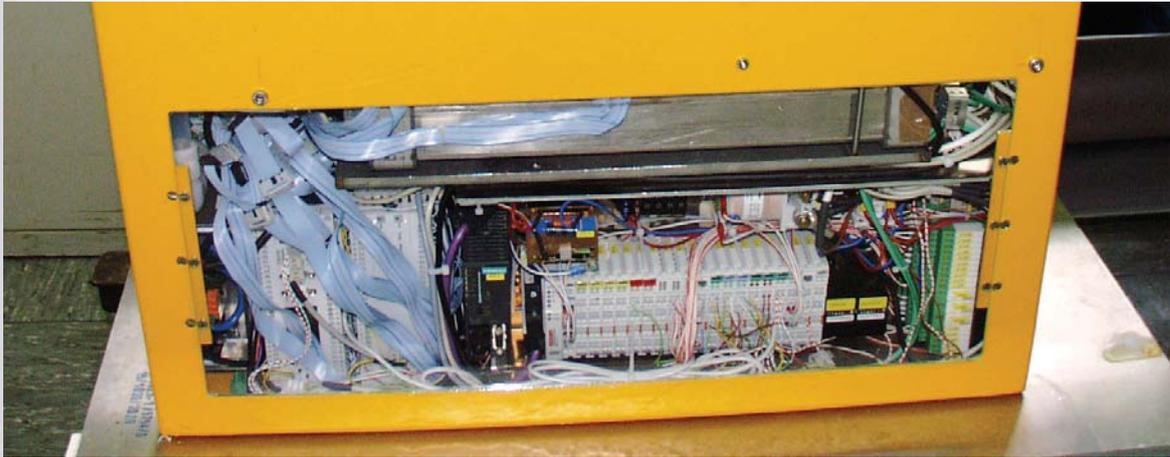


Forschungszentrum Jülich – Zentralinstitut für Elektronik

CVM

# Ausblick

- Ersatz der SPS und der Peripherie durch eigenen DMFC-Controller mit Ethernet TCP/IP.
- Controller-PCB und Hochstrom-Leistungs-PCB.



# Quellennachweis

- Alle Grafiken und Bilder by FZJ-ZEL & FZJ-IEF3
- Folgende Präsentationen dienten als Quellen:
  - Vortrag DMFC Activities at Juelich Research Center, Germany, Indo-German Workshop on "Fuel Cells and Hydrogen Energy", January 29.-31.2007 at CGCRI, Kolkata, Dr.Holger Janßen
  - Vortrag FZJ-ZAT am 17.9.2004, Dr.Holger Janssen



# Durchflussmesstechnik am Beispiel des Vortex-Messprinzips

Simone Schleuter, 26. September 2007

1. Einführung
2. Überblick über die Durchflussmessverfahren
3. Vergleich der verschiedenen Messverfahren
4. Aufbau und Optionen des Optiswirl 4070
5. Prinzipieller Aufbau des Konverters VFC070
6. Signalverarbeitung und Auswertung im VFC070
7. Kalibrierung VFC070 und VFM 4000

## Einführung

- zur Geschichte der Firma Krohne
  - 1921 Gründung der Firma durch Ludwig Krohne
  - Fertigung von Schwebekörpermessgeräten
  - weltweit 2.439 Mitarbeiter (550 Duisburg)
  - Duisburg:
    - Hauptsitz, Entwicklung und Produktion von Schwebekörper-Durchflussmessgeräten, Radar-Füllstandmessgeräten, Elektronischen Komponenten
  
- Produkte im Bereich Durchflussmesstechnik:
  - Schwebekörper
  - Magnetisch induktive Messwertaufnehmer
  - Coriolis
  - Ultraschall
  - Vortex



3

Seit über 85 Jahren ist die Firma Krohne Messtechnik im Bereich Füllstand und Durchflussmesstechnik tätig.

Ludwig Krohne begann 1921 mit der Fertigung von Schwebekörper Durchflussmessern. Die erste Fertigungsstätte auf einem eigenen Grundstück entstand 1935. Der Zweite Weltkrieg setzte dem zaghaften Wachstum der Firma ein jähes Ende und zerstörte die eigenen Firmengebäude.

Der Aufstieg zu einem der führenden, innovativen Unternehmen der Durchfluss-Messtechnik beginnt 1949 mit dem Firmeneintritt von Kristian Rademacher-Dubbick, Enkel des Firmengründers Ludwig Krohne.

Ende der Siebziger Jahre gibt Kristian Rademacher-Dubbick die Geschäftsführung ab und wechselt in das Direktorium.

Heute liegt die Firmenleitung in den Händen von Michael Dubbick (Controlling und Personal) und Stephan Neuburger (Marketing und Vertrieb).

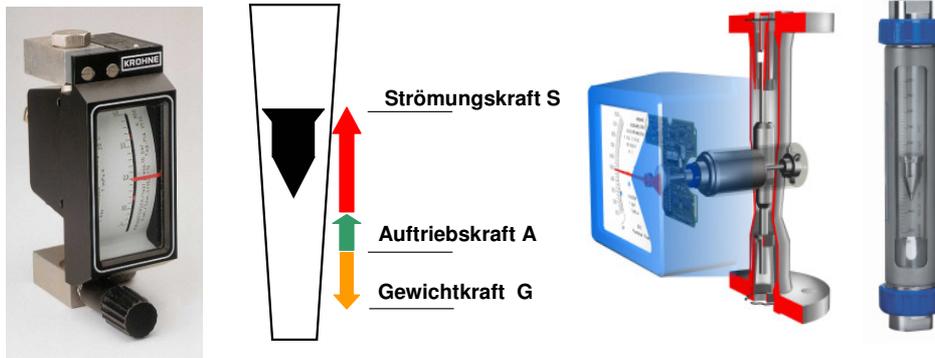
KROHNE beschäftigt im Kernunternehmen über 2.000 Mitarbeiter weltweit (nicht eingerechnet die Joint Ventures) und ist bis heute ein Familienunternehmen.

## Geschichtliche Daten:

- 1921** Gründung LUDWIG KROHNE & SOHN. Fertigung von Schwebekörpermessgeräten
- 1952** Erstes magnetisch - induktives Durchflussmessgerät für industriellen Einsatz (TOBI 1952 / KROHNE Altometer 1962)
- 1953** Exakte Verformung zylindrischer Glasrohre zu konischen Messrohren
- 1954** Einführung der ersten berührungslosen Übertragungseinrichtung für Schwebekörpermessgeräte
- 1959** Füllstandanzeiger mit Schwimmer und Magnetkupplung
- 1960** Einführung eines exakten Umrechnungsverfahrens für Schwebekörpermessgeräte, das als VDI - Richtlinie übernommen wird
- 1961** Erstes magnetisch - induktives Durchflussmessgerät als Produkt der KROHNE-Gruppe (ALTOMETER)
- 1966** Bau des größten Prüfstandes der Welt in Sliedrecht/NL
- 1972** Entwicklung des getasteten Gleichfeldes für MID-Geräte
- 1978** Entwicklung von 2-Strahl-Ultraschall-Durchflussmessgeräten
- 1979** Errichtung eines noch größeren und genaueren Prüfstandes in Sliedrecht/NL
- 1980** Erste Lieferung eines Ultraschallgebers an SHELL für Rohölmessungen
- 1985** Entwicklung und Produktion von Coriolis-Massedurchflussmessgeräten
- 1990** Entwicklung und Produktion von Mikrowellen-Radargeräten (FMCW) für Füllstandmessungen
- 1994** Entwicklung des ersten Geradrohr-Coriolis-Massedurchflussmessgeräts
- 1996** Erstes magnetisch-induktives Durchflussmessgerät für teilgefüllte Rohrleitungen (**TIDALFLUX**)
- 1996** **ALTOSONIC V** weltweit erstes Ultraschall-Durchflussmessgerät für eichpflichtigen Verkehr
- 2000** Inbetriebnahme der 11. Kalibrierungsanlage, wiederum der größten und genauesten der Welt, bei KROHNE Altometer, 43 Meter hoch, Genauigkeit besser als 0,013%
- 2001** Erstes magnetisch-induktives 2-Leiter-Gerät mit vollständiger Prozessfähigkeit, intelligenter Energieoptimierung und hoher Dynamik
- 2002** Die neue Generation der Masse-Durchflussmessgeräte mit Geradrohr, **OPTIMASS**
- 2003** Erstes 3-Strahl-Ultraschalldurchflussmessgerät für die Chemische Industrie, **UFM 30302004** Neue Generation magnetisch-induktiver Durchflussmessgeräte **OPTIFLUX** mit eingebauter Diagnose für Prozesse, Genauigkeit und Gerätezustand
- 2004** Neue Generation Füllstandmessgeräte **OPTIWAVE** und **OPTIFLEX** mit neuem Bedienungskonzept

## Überblick über die Messverfahren

- VA (Variable Area = Schwebekörper)



5

Schwebekörpermessgeräte werden zur Messung von Flüssigkeiten und Gasen verwendet.

Sie sind universell in beinahe jeder industriellen Anwendung einsetzbar.

Ein VA-Meter wird immer von unten nach oben durchströmt, wobei sich der Schwebekörper im Messrohr frei bewegen kann.

Auf ihn wirken die Strömungskraft **S**, die Auftriebskraft **A** und entgegengesetzt die Gewichtskraft **G**.

Der Durchfluss hebt den Schwebekörper an, bis die angreifenden Kräfte im Gleichgewicht sind ( $G = S+A$ ).

Die sich einstellende Höhe des Schwebekörpers ist direkt proportional zum Durchfluss.

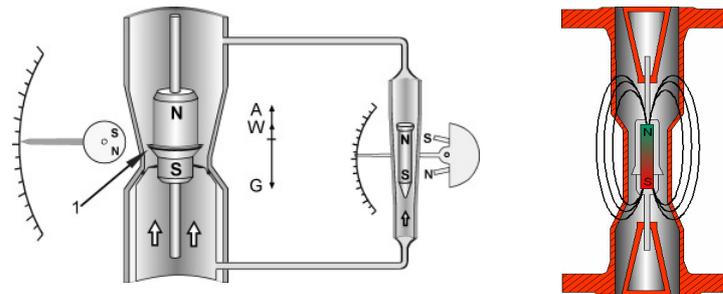
Bei einem Glaskonus kann der zugehörige Durchfluss direkt auf einer Skala abgelesen werden.

Bei schwierigen Bedingungen, z.B. hohem Druck, hoher Temperatur oder aggressiven Medien wird ein Metallkonus verwendet.

Da in diesem Fall kein direktes Ablesen möglich ist, findet eine magnetische Übertragung auf eine Anzeige bzw. zu einer Auswertelektronik statt.

## Überblick über die Messverfahren

- VA (Variable Area = Schwebekörper)



6

### Vorteile von Schwebekörper-Messgeräten sind:

- hohe Zuverlässigkeit
- geringe Kosten
- einfache Installation
- leichte Handhabung
- Exakte Messung auch sehr geringer Durchflussmengen durch spezielle VA-Metern
- Standard-Messbereichsbreite 10 : 1  
(Verhältnis von End- zu Anfangswert des Messbereiches)
- Auch bei niedrigem Betriebsdruck einsetzbar
- Geringer Druckverlust
- Örtliche Anzeige ohne Hilfsenergie
- Keine oder nur geringe Ein- und Auslaufstrecken
- Austauschbarkeit der wesentlichen Bauteile
- Exakte Berechenbarkeit nach VDI-Richtlinien.

### Nachteile:

- hohe Ungenauigkeit im unteren Messbereich jedes Schwebekörpermessgerätes (Schleichmengen)
- können nicht ab „0“ (kein Durchfluss) messen

## Überblick über die Messverfahren

### •MID (Magnetisch Induktive Durchflussmessgeräte)

$$(1) \quad U = K \cdot B \cdot v \cdot D$$

**K** Gerätekonstante  
**B** Stärke des Magnetfeldes  
**v** mittlere Fließgeschwindigkeit  
**D** Elektrodenabstand  
**U** induzierte Spannung

Der Volumendurchfluss  $q_v$  lässt sich berechnen nach:

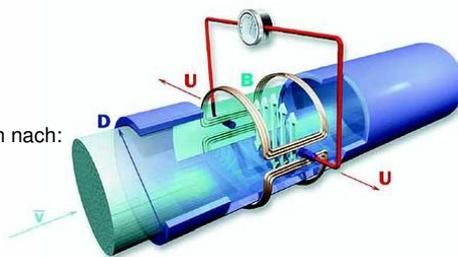
$$(2) \quad q_v = v \cdot D^2 \cdot \pi/4$$

Aus Gleichung 1 folgt:

$$(3) \quad v = U / (K \cdot B \cdot D)$$

Damit ist:

$$(4) \quad q_v = (U / K \cdot B) \cdot D \cdot \pi/4$$



7

Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte messen das Durchflussvolumen von Flüssigkeiten, Pasten, Breien und Schlämmen (auch mit Feststoffanteilen) in fast allen Industriezweigen.

Einzigste Voraussetzung für dieses Messverfahren ist eine gewisse elektrische Mindestleitfähigkeit des Messstoffes.

Der Messung liegt das bekannte Faradaysche Induktionsgesetz zugrunde.

Ein MID besteht aus einem nicht-ferromagnetischen Messrohr mit innen elektrisch isolierender Oberfläche, diametral auf dem Rohr montierten Magnetspulen und Elektroden, die durch die Rohrwand hindurch mit dem Messstoff in Kontakt stehen. Die stromdurchflossenen Feldspulen erzeugen ein Magnetfeld mit der Induktion  $B$  senkrecht zur Rohrlängsachse. Dieses Magnetfeld durchdringt das Messrohr und den darin fließenden Messstoff.

Entsprechend dem Induktionsgesetz wird im Messstoff eine Spannung  $U_v$  induziert, die zur mittleren Fließgeschwindigkeit  $v$  des Messstoffes, der Induktion  $B$  und dem Rohr-Innendurchmesser  $D$  proportional ist. Es gilt vereinfacht:  $U_v = k \cdot B \cdot D \cdot v$ .

Diese Signalspannung  $U_v$  wird durch Elektroden, die mit dem Messstoff in Kontakt stehen und isoliert durch die Rohrwand durchgeführt werden, abgegriffen. Mit  $q_v = v \cdot \pi \cdot D^2 / 4$  wird die Signalspannung  $U_v$  von einem Messumformer in eine Durchfluss-Anzeige ( $q_v = U_v \cdot \pi \cdot D / (4 \cdot k \cdot B)$ ) umgerechnet und in für die Prozessführung geeignete Standard-Signale umgesetzt.

### Vorteile eines MIDs:

- beste Reproduzierbarkeit
- sehr hohe Messgenauigkeit (0,15% Messungenauigkeit)
- Messung weitgehend unabhängig von Druck, Dichte, Temperatur, Viskosität und Strömungsprofil
- kurze Ein- und Auslaufstrecken
- freier Rohrquerschnitt
- kein zusätzlicher Druckverlust
- keine beweglichen Teile
- beliebige Einbaulage
- Messbereichsbreite 100:1

## Überblick über die Messverfahren

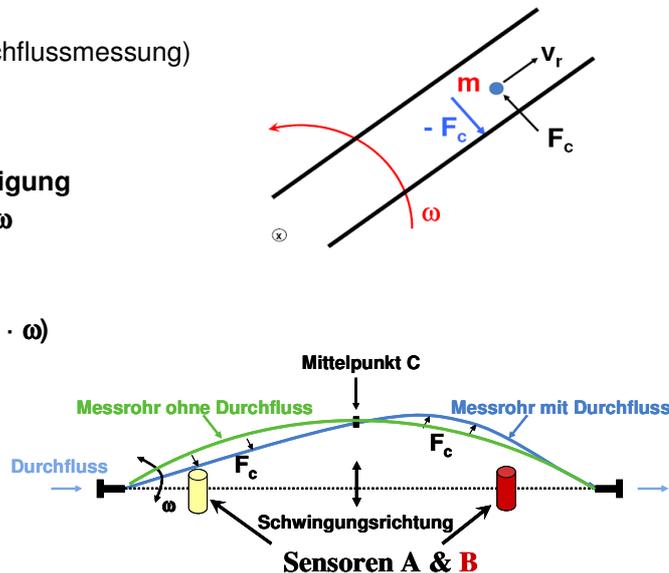
- Coriolis (Masse- Durchflussmessung)

### Coriolisbeschleunigung

$$a_c = 2 \cdot v_r \cdot \omega$$

### Corioliskraft

$$F_c = m (2 \cdot v_r \cdot \omega)$$



8

Die Messung der Masse ist die genaueste Methode der Durchflussmessung, da sie unabhängig von Druck, Temperatur, Viskosität und elektrischer Leitfähigkeit ist.

Wenn sich eine Masse zu einer Schwingungsachse hin oder von dieser weg bewegt, entstehen Coriolis-Kräfte.

Bei Masse-Durchflussmessgeräten wird das Messrohr durch einen Treiber in eine ebene Schwingung um die Ruhelage A-B versetzt. Wird das Messrohr von Flüssigkeitsteilchen mit der Geschwindigkeit  $v$  durchströmt, entstehen Coriolis-Kräfte ( $F_c$ ), die an den beiden Rohrhälften mit unterschiedlichen Vorzeichen angreifen. Sie sind direkt proportional zum Massestrom und führen zu einer Verformung des Messrohres. Zwischen den Punkten A und C werden diese Teilchen von einer niedrigen auf eine höhere Bahngeschwindigkeit beschleunigt.

Die Coriolis-Kraft wirkt der Beschleunigungsrichtung entgegen. Zwischen den Punkten C und B werden die Flüssigkeitsteilchen analog zu A und C abgebremst, wodurch Beschleunigungs- und damit auch Reaktionskräfte in umgekehrter Richtung entstehen. Diese Coriolis-Verformung ist extrem klein und der Grundschiwingung des Messrohres überlagert. Die Gesamtbewegung des Messrohres wird mittels induktiver Sensoren erfasst. Das erzeugte Signal ist proportional zum Massedurchfluss und wird im Messumformer verarbeitet.

Da die Schwingfrequenz des Messrohres temperaturabhängig ist, wird die Temperatur ständig gemessen und die Messwerte entsprechend korrigiert.

Herkömmliche Signalverarbeitungsverfahren sind beim Auftreten von Fehlern aufgrund elektrischer und mechanischer Störungen fehleranfällig, aber mit Hilfe einer hohen Abtastrate und digitaler Signalverarbeitung können diese Fehler eliminiert werden.

## Überblick über die Messverfahren

- Ultraschall Durchflussmessgeräte

- L** Länge der Messlinie
- $c_m$**  Schallgeschwindigkeit im Messstoff
- $v_m$**  Flussgeschwindigkeit des Mediums
- T** Laufzeit der Ultraschallwellen
- $q_v$**  Massendurchfluss

$$c_m = 2 \cdot L / (T_{AB} + T_{BA})$$

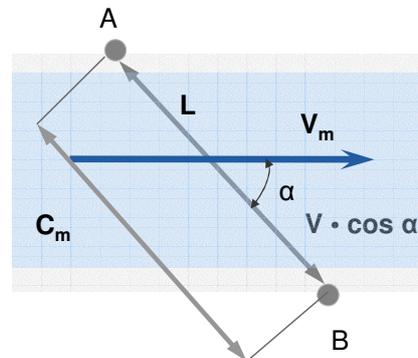
$$T_{AB} = L / (c_m + v_m \cdot \cos \alpha)$$

$$T_{BA} = L / (c_m - v_m \cdot \cos \alpha)$$

$$v_m = L / (2 \cdot \cos \alpha) \cdot ((T_{BA} - T_{AB}) / (T_{BA} \cdot T_{AB}))$$

$$q_v = A \cdot v_m = \pi D^3 \cdot L / (2 \cdot \cos \alpha) \cdot ((T_{BA} - T_{AB}) / (T_{BA} \cdot T_{AB}))$$

$$= \pi D^3 / (4 \cdot \sin(2\alpha)) \cdot ((T_{BA} - T_{AB}) / (T_{BA} \cdot T_{AB}))$$



9

Ähnlich zweier Kanus auf einem Fluss werden akustische Signale entlang eines diagonalen Messpfades gesendet und empfangen (siehe Bild oben). Schallwellen laufen stromabwärts mit dem Fluss schneller als stromaufwärts gegen den Fluss.

Die Laufzeit ist direkt proportional zur Durchflussgeschwindigkeit der Flüssigkeit.

Der Durchfluss ergibt sich aus:

$$q_v = A \cdot v_m = \pi \cdot D^3 \cdot L / (2 \cdot \cos \alpha) \cdot ((T_{BA} - T_{AB}) / (T_{BA} \cdot T_{AB}))$$

$$= \pi \cdot D^3 / (4 \cdot \sin(2\alpha)) \cdot ((T_{BA} - T_{AB}) / (T_{BA} \cdot T_{AB}))$$

Da der Laufzeitunterschied der Ultraschallwellen sehr gering ist, muss die Differenzmessung der Laufzeiten möglichst genau sein.

### Vorteile der Ultraschallmessung:

- keine in die Leitung eindringenden Teile
- keine beweglichen Teile
  - kein Ablagerungsrisiko
  - keine Druckverluste
  - keine Kalkablagerungen
- kein Einfluss des Mediums auf die Mess-Performance
- für leitfähige und nicht-leitfähige Flüssigkeiten
- hohe Genauigkeit mit großer Messspanne
- Messung bei niedriger Geschwindigkeit möglich
- Messung in beide Richtung

## Überblick über die Messverfahren

- Vortex Durchflussmessgeräte (Karman'sche Wirbelstraße)

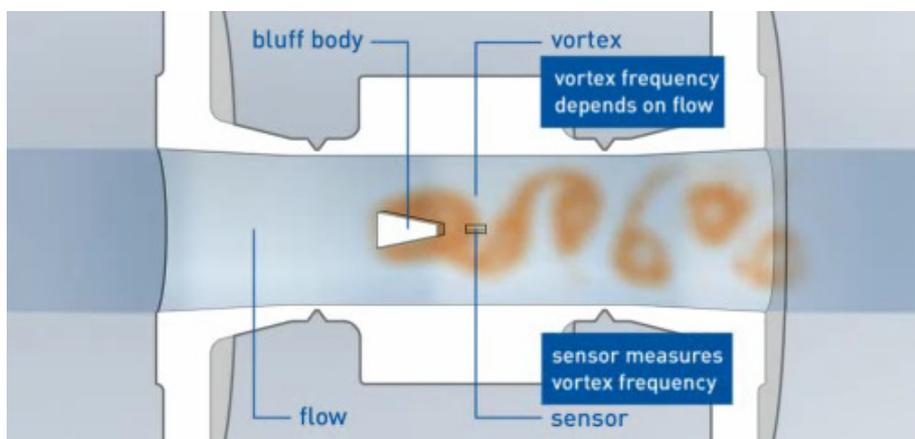


- „Vortex“ = „Wirbel“
- Messprinzip der Karman'schen Wirbelstraße
- Im Messrohr lösen sich am Störkörper (bluff body) Wirbel ab und bilden eine Wirbelstraße aus.
- Die Wirbelablösefrequenz ist proportional zur Durchflussgeschwindigkeit
- Die Ablösefrequenz wird mit Hilfe eines Piezosensors (im Pickup), der die Wirbel als Druckstöße erfasst, gemessen

10

Mit einem Wirbelfrequenz-Durchflussmessgerät (Vortex) wird der Volumendurchfluss von Gasen, Dämpfen und Flüssigkeiten in vollgefüllten Rohrleitungen gemessen. Das Messprinzip basiert auf dem Prinzip der Karman'schen Wirbelstraße.

Im Messrohr befindet sich ein Störkörper, hinter dem sich Wirbel ablösen. Die Wirbelablösefrequenz ist proportional zur Durchflussgeschwindigkeit. Die abgelösten Wirbel werden als Druckstöße von einem Piezokristall im Sensor empfangen und von einer Auswerteelektronik gezählt.



## Vergleich der verschiedenen Messverfahren

Messprinzip	Durchmesser	Preis	Messung	Medien				$\Delta p$ (Druckverlust)	Genauigkeit	Vorteile	Nachteile
				Flüssigkeiten		Gase	Dämpfe				
				nicht leitfähig	leitfähig						
VA (Variable Area = Schwebekörper)	DN15 - DN100	↓	Volumen	++	++	++	++	-	-	ungenau im unteren Messbereich (+/- 1,6%)	
MID (Magnetisch Induktive Durchflussmessgeräte)	DN5 - DN300	-	Volumen	--	++	--	--	+	+	Störungswiderst and sehr genau (+/-)	
Coriolis (Masse Durchflussmessgeräte)	DN3 - DN50	↑	Masse	++	++	○ hohe Dichte erforderlich	-	+	+	kein Druckverlust	
Ultraschall Durchflussmessgeräte	DN13 - DN5000	-↑	Volumen	++	++	+	++	+	+	kein Druckverlust	
Vortex-Durchflussmessgeräte	DN15 - DN300	↓	Volumen/ Masse	++	++	++	++	○	○	ungenau im unteren Messbereich	

++ sehr gut geeignet  
 + geeignet  
 ○ bedingt geeignet  
 - eher nicht geeignet  
 -- gar nicht geeignet

11

In der Tabelle ist erkennbar, dass ein Vortex-Durchflussmessgerät als einziges Gerät universell für jedes Medium einsetzbar ist.

Mit diesem Messgerät kann sowohl der Massen-, als auch der Volumendurchfluss gemessen werden.

Wichtig bei diesem Messverfahren ist, dass der Volumenstrom kontinuierlich erfolgt, da sich bei kurzen Druckstößen keine richtige Wirbelstrecke, die für die Messung unerlässlich ist, ausbildet.

Auch bei geringen Durchflüssen kann diese Wirbelstrecke abreißen, so dass eine recht hohe Messungengenauigkeit auftritt.

Für mittlere und hohe Durchflüsse beträgt die Genauigkeit bei diesem Messverfahren 0,75-1% je nach Medium.

Gleichzeitig ist es eine preiswerte Alternative und deckt einen relativ großen Bereich an Nennweiten ab.

## Aufbau und Optionen des Optiswirl 4070

- Messwertaufnehmer VFM4000:
  - Mit integriertem Temperatursensor (PT1000)
  - Optional mit Drucksensor (Piezoaufnehmer)
  - Optional mit Absperrventil
  
- Messwertumformer VFC070:
  - Modularer Aufbau
  - Flow Computer
  - 4-20mA Stromausgang
  - HART kompatibel
  - Messung von Volumen, Masse und Normvolumen
  - Dichtekompensation durch Echtzeitmessung



12

Der Optiswirl 4070 (Krohne Vortex-Durchflussmessgerät) ist momentan das einzige auf dem Markt erhältliche Gerät, das integrierte Druck- und Temperatursensoren hat.

Dies ermöglicht eine wesentlich höhere Genauigkeit bei der Messung des Normvolumens (Externe Sensoren: 3% Messungenauigkeit, Optiswirl 4070: 0,75-1% Messungenauigkeit).

Der VFC070 (Konverter) hat die Aufgabe die drei anliegenden Sensorsignale zu verarbeiten und den zugehörigen Durchfluss zu ermitteln. Da es sich beim VFC070 um ein reines Zweileitergerät handelt, stehen als Schnittstellen zum Auslesen der Daten ein Stromausgang (4-20mA) und HART zur Verfügung.

Bei einem Stromausgang wird je nach Messwert ein zugehöriger Strom ausgegeben.

z.B.             $0 \text{ m}^3/\text{h} = 4 \text{ mA}$   
                   max. Durchfluss = 20 mA

## Prinzipieller Aufbau des Konverters VFC070

- Temperatur
  - Sensor PT1000
  - automatische Umschaltung der Messbereiche zur Erhöhung der Auflösung
  - digitale Auswertung über AD-Wandler-Wert
  
- Druck
  - piezoresistiver (d.h. passiver) Absolutdruckaufnehmer
  - Spannungsversorgung über VFC070
  - Brückenspannung am Drucksensor wird nach Differenzverstärker digitalisiert
  
- Vortex- Signal
  - Zwei Piezo-Sensoren (originales und invertiertes Signal)
  - Ladungsänderung der Sensoren wird über Ladungsverstärker in Spannungen umgewandelt
  - Signale werden voneinander subtrahiert und gefiltert

13

**HART (Highway Addressable Remote Transducer)** ist ein Protokoll für busadressierte Feldgeräte.

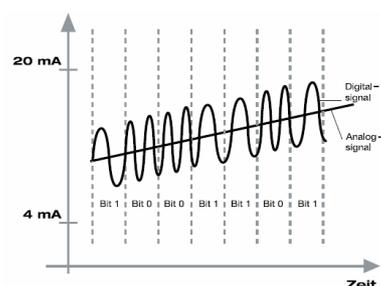
Bei der HART Kommunikation werden Feldgeräte konventionell über 4..20mA Stromschleifen (Normsignal) verbunden bzw. an Regler und Steuerungen mit solchem Normsignalausgang angeschlossen. Über das Normsignal werden Sollwerte (z.B. für digitale Stellungsregler) oder Istwerte (z.B. für Messumformer) übertragen. Neben der Signalübertragung dienen diese Stromsignale bei der 2-Leiter Technik als Versorgung der Feldgeräte (maximaler Stromverbrauch eines Gerätes: 3,55mA).

Diesem analogen Signal wird im FSK Verfahren (Frequency Shift Keying) ein digitales Signal aufmoduliert. Somit können zusätzlich Mess-, Stell- und Gerätedaten übertragen werden, ohne das Analogsignal zu beeinflussen. Zusätzlich wird über das HART-Protokoll eine umfassende Integration der Feldgeräte in Engineering- Tools und Prozessleitsysteme ermöglicht. Die Reaktionszeiten von HART liegen im Bereich von 500 ms.

Bei Verwendung von HART Ex-Trennstufen ist auch ein Einsatz in explosionsgefährdeter Umgebung möglich.

(„0“=2200Hz; „1“=1200Hz = Trägerfrequenz).

Abbildung: Normsignal mit aufmoduliertem Digitalsignal aus [www.buerkert.at](http://www.buerkert.at)



## Überblick über die Messverfahren

- Physikalische Grundlagen (Vortex)

$f$	Frequenz	$Q_B = f \cdot 3600 / k$
$k$	Anzahl Pulse pro m <sup>3</sup>	
$\rho_B$	Betriebsdichte	$Q_M = Q_B \cdot \rho_B$
$\rho_N$	Normdichte	
$Q_B$	Betriebsdurchfluss	
$Q_M$	Massendurchfluss	$Q_N = Q_M / \rho_N$
$Q_N$	Normdurchfluss	

- Dichte ist temperatur-, druck- und medienabhängig (z.B. Flüssigkeiten nahezu inkompressibel)
- für den Normdurchfluss muss Druck- und Temperaturkompensation der Dichte durchgeführt werden

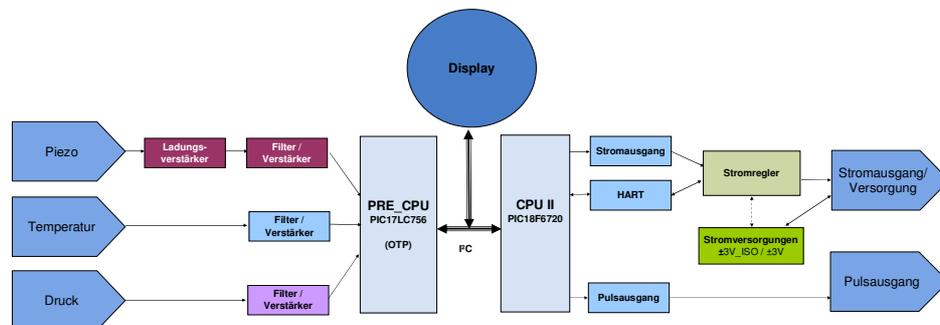
14

Der Durchfluss ist direkt proportional zur Frequenz der am Störkörper abgelösten Wirbel (Gleichungen siehe oben).

Da die Dichte temperatur- und druckabhängig ist, werden diese beiden Messgrößen ebenfalls über Sensoren gemessen und gehen in die Berechnung mit ein.

So ist die Messung des Normdurchflusses mit den aktuellen Prozessparametern im Gerät möglich, und muss nicht über externe Sensoren in der Leitwarte erfolgen.

## Prinzipieller Aufbau des Konverters VFC070



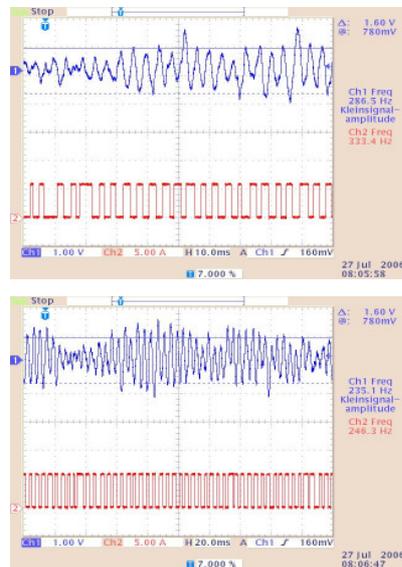
15

Der Konverter besteht aus fünf einzelnen Leiterplatten, die in einzelne Funktionsblöcke aufgeteilt sind:

- Display:** Anzeige der Messwerte und Bedieneinheit (sowohl über Tasten, als auch über Hallensoren)
- Barrier-PTS:** Vorverarbeitung der Messsignale von Druck und Temperatur, sowie Ex-Barriere
- Pre-CPU:** Vorverarbeitung des Vortex- Messsignals (Umwandlung von Ladung in proportionale Spannung, Filterung, etc.)
- CPU II:** I<sup>2</sup>C-Master, HART Kommunikation, Steuerung Stromausgang, Steuerung Pulsausgang, Displaysteuerung, Menüsteuerung (HMI), Flow-Computing
- NT/SA/PA:** (Netzteil) Erzeugung der Versorgungsspannungen +/-3V-ISO, +/-3V, Stromschleife, Verarbeitung der Ausgangssignale
- EMV-Filter:** Filter um EMV-Störungen bereits vor dem Konverter zu eliminieren (im Gehäuse)

## Signalverarbeitung und Auswertung im VFC070

- Probleme bei realen Vortex-Signalen:
  - Überlagerung von Rauschen
    - geringer Einfluss
  - Überlagerung von Rohrschwingungen
    - Amplitude der Störung darf nicht zu hoch sein
    - Frequenzmodulation kann zu falschen Messergebnissen führen
  - Resonanzen
    - liegen außerhalb des Messbereiches, und haben so nur geringen Einfluss, da sie herausgefiltert werden



16

In der Realität wird das sinusförmige Vortex-Signal meistens durch Störungen wie Rauschen, Rohrleitungsschwingungen oder Resonanzen überlagert.

D.h. der Messwertempfänger muss so konstruiert sein, dass seine eigene Resonanzfrequenz möglichst weit außerhalb des Messbereiches liegt. Dies hat aber zur Folge, dass je höher die Grenzfrequenz ist, je steifer ist der Pickup und desto kleiner werden die Amplituden des Messsignals.

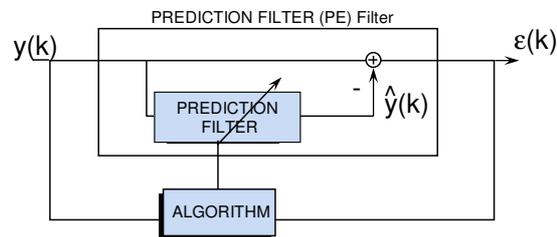
Aus diesem Grund muss ein Kompromiss zwischen Steifigkeit und der Höhe der Signalamplitude getroffen werden.

Gleichzeitig muss die Elektronik in der Lage sein, die „richtige“ Frequenz aus den Störfrequenzen zu erkennen um damit den Durchfluss berechnen zu können.

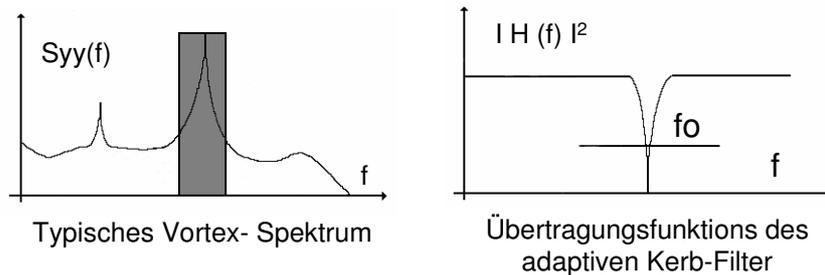
Aus diesem Grund werden ein analoges und ein digitales Vortex Signal an den Prozessor weitergegeben.

Mit Hilfe des digitalen Signals wird dynamisch die Abtastrate des Messsignals bestimmt (Nyquist Kriterium  $f_{\text{abtast}} > 2 \cdot f_{\text{max}}$ ).

## Signalverarbeitung und Auswertung im VFC070



PEM - Estimator structure



Typisches Vortex- Spektrum

Übertragungsfunktions des adaptiven Kerb-Filter

17

Das analoge Vortex-Signal wird mit Hilfe eines adaptiven Kerbfilters ausgewertet (vgl. Abbildung unten rechts).

Die Abbildung unten links zeigt das typische Spektrum eines Vortex-Signals.

Grau hinterlegt ist die Vortexfrequenz zu erkennen.

Der adaptive Kerbfilter arbeitet folgendermaßen:

Ein Algorithmus ermittelt die Parameter, mit denen der Prädikationsfilter das Vortex-Signal nachbilden kann. Dieses nachgebildete Signal wird mit dem Original verglichen (vgl. Abbildung oben Mitte).

Wenn der Fehler der Differenz beider Signale minimal ist, wird die ermittelte Frequenz für die weiteren Berechnungen verwendet.

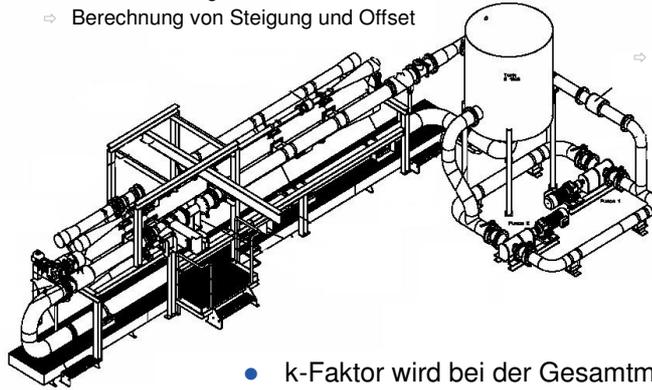
## Kalibrierung VFC070 und VFM4000

- Konverter VFC070

- Kalibrierung durch:
  - Simulation von Druck und Temperatur
  - Einstellung zweier definierter Ströme
- ⇒ Berechnung von Steigung und Offset

- Messteil VFM4000

- Kalibrierung durch:
  - Messung des Volumens in einer definierten Zeitspanne
  - Zählen der „Pulse“ des Vortex-Signals
- ⇒ aus der Anzahl der Pulse und dem Volumen wird die Kalibrierkonstante (k-Faktor [Impulse / m<sup>3</sup>]) ermittelt



- k-Faktor wird bei der Gesamtmontage an den Konverter übergeben

18

Bevor das Messteil und der Konverter zusammengeführt werden, müssen beide getrennt voneinander kalibriert werden.

Die Elektronik wird über ein automatisches Kalibriersystem abgeglichen. D.h. spezifizierte Werte von Druck und Temperatur werden simuliert und mit diesen wird der Offset und die Steigung der zugehörigen Messgröße gespeichert.

Der Stromausgang wird kalibriert, in dem ein definierter Strom eingestellt und dann mit dem gemessenen Wert ebenfalls Offset und Steigung berechnet werden.

Das Messteil VFC4000 wird in einem Wasser-Kalibrierstand abgeglichen. D.h. über Referenzmessgeräte wird das Volumen in einer definierten Zeitspanne gemessen. Zur Berechnung der Kalibrierkonstante (k-Faktor) werden die „Pulse“ des Vortex-Signals gezählt. Über die Anzahl der Pulse und das Volumen wird dann der k-Faktor ermittelt. Die Einheit ist [Impulse/m<sup>3</sup>].

Bei der Gesamtmontage wird dann der ermittelte Wert des k-Faktors an die Elektronik übergeben.

Titel der Doktorarbeit:

Frank Blichke

Parametrische Frequenzschätzung bei Vortex-Sensorsignalen

# Lagenweise optimierte SL-Hochfeld-Magnetsysteme

**Gerd F. Nowack**

**Digital Signal Processing Group**

**Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Germany**

[Gerd.Nowack@RUB.de](mailto:Gerd.Nowack@RUB.de)

**Gewidmet Herrn Dr.-Ing. Friedrich Wulf, HMI, Berlin**

**Teil 1:** Erläuterung zu den Einzelfolien aus der Power/Point- Präsentation (Teil 2)

**Teil 2:** Folien der Power/Point- Präsentation (auf 30 reduziert)

**Teil 3:** Original Tagungsbeitrag auf der Int. Conference On Modeling and Simulation in Algeria, 2.- 4. 7. 2007. Mein Beitrag wurde in den Proceedings versehentlich vergessen. Thema:

**A Novel Design Approach to Superconducting Magnet Coil Systems  
for High-Resolution NMR-Spectroscopy**

**Zu Teil 1: Folien 1 - 3:** Thema, Verfasser, Keywords, Agenda

**Folien 4 - 7:** Anwendungsschwerpunkt (1): MRT: Magn. Resonance Tomography: Historische Entwicklung, Marktführer, Beispiele, aufgenommen mit einem SL-Tomographen

**Folien 8 - 12:** Anwendungsschwerpunkt (2): NMR: Nuclear Magn. Resonance: Die wichtigsten Elemente mit einem magnetischen Kernmoment, Spektren, Bedeutung hoher Magnetfelder in der chemischen Analyse, Marktführer, state of the art: 600 und 900 MHz-Spektrometer

**Folien 13 - 14:** Physikalische Grundlagen der Supraleitung und Daten der zum Magnetbau technisch verwendbarer Materialien mit dem Schwerpunkt auf NbTi, das zur Herstellung von SL-Drähten bestens geeignet ist.

**Folien 15 - 17:** Mathematische Grundlagen der Magnetfeldberechnung: Hauptfeld, Feldhomogenisierung durch die Variation der Stromdichte (Reduzierung um 50%) im Wicklungspaket: Wicklungstechnik mit Blind- und Stützwindungen, Magnetfeldberechnung: Korrekturfeld.

**Folien 18:** Helmholtz-Kriterium: Feldkrümmung (bei  $z = 0$ ) verschwindet. (Aus Symmetriegründen verschwinden die ungeraden Ableitungen der magnetischen Feldstärke, d.h. Homogenisierung bedeutet, dass bei optimaler Geometrie möglichst viele gerade Ableitungen ebenfalls verschwinden. Das Problem der Feldhomogenisierung einer Solenoidspule vorgegebener Länge hat zwei (!) Lösungen nach dem Helmholtz-Kriterium.)

**Folien 19:** Hier ist eine optimale Geometrie für ein Hybridspulensystem: innen aus Nb<sub>3</sub>Sn und außen aus NbTi angegeben. Die Gesamtfeldstärke beträgt 18,35 T bei 100 A in den Außensegmenten und 50 A innen. Die Drahtstärke beträgt 0,5 mm.

**Folien 20:** Feldstärkeverlauf der NbTi-Teilspule. (Bei  $z = 0$  ist die Krümmung Null!)

**Folien 21:** „Loadline“ der NbTi-Teilspule. Ohne die Abschwächung durch das Rückfeld der Nb<sub>3</sub>Sn-Spule erreicht das Feld der NbTi-Spule maximal: 8,55T bei 82 A. (Ein Sicherheitsabstand ist einzuhalten: zum einen ist der Draht in der Wicklung mechanisch gestresst und zum anderen ist die Feldstärke in der Zentralebene am Draht höher als auf der Achse: 10-20%)

**Folien 22:** Neues Wicklungskonzept: Jede einzelne Lage erzeugt ein homogenes Magnetfeld. Die Hauptvorteile sind: (1) Es kann jede beliebige Drahtlänge verarbeitet werden. (2) Theoretisch kann jede Lage mit einer eigenen Stromstärke betrieben werden, d.h. innen ist eine niedrige und außen eine hohe Stromstärke zu empfehlen.

**Folien 23-25:** Magnetfeldberechnung eines einlagiges Teilsystems, Gesamtfeld als Summe aller Einzelfelder. Wichtigstes Ergebnis: Die Kontur der lagenweise optimalen Spule ist nicht mehr rechteckförmig. (Wiederum ergeben sich nach dem Helmholtz-Kriterium zwei Lösun-

gen: die eine ist für hohe Felder in kleinen Volumen und die andere für etwa halb so große Felder in relativ großen Probenvolumina geeignet.)

**Folien 26-28:** Hier sind die MatLab<sup>®</sup>-Ergebnisse für die Wicklungskonturen, die zentralen Feldstärken und den Drahtlängenbedarf angegeben: Die Hochfeldspule benötigt ca. 15 km und die zweite Realisationsmöglichkeit ca. 11 km.

**Folien 29-30:** Der Vergleich der beiden Multilayer-Systeme ergibt, dass der erste Typ (Hochfeldspule) für die NMR (kleine Probenvolumina) bestens geeignet ist. Extrem hohe Felder sind allerdings nur zu erreichen, wenn die Wicklung segmentiert wird, d.h. die Stromstärke im inneren Abschnitt niedriger gewählt wird. Die zweite Bauform ist als Standardlösung gut einzusetzen: Über mehrere Zentimeter beträgt die Inhomogenität weniger als 1 ppm.

Am Ende steht eine Zusammenfassung der Ergebnisse.

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

Am Ende folgt **Teil 3:**

Original Tagungsbeitrag auf der Int. Conference on Modeling and Simulation in Algier, 2.- 4. 7. 2007. Mein Beitrag wurde in den Proceedings versehentlich vergessen. Thema:

**A Novel Design Approach to Superconducting Magnet Coil Systems  
for High-Resolution NMR-Spectroscopy**



---

**Lagenweise optimierte SL-Hochfeld-Magnetsysteme**

**Gerd F. Nowack**  
Digital Signal Processing Group

Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150  
D-44780 Bochum, Germany  
E-mail: Gerd.Nowack@rub.de

---

 **RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**  
Digital Signal Processing Group

Folie 1  
SEI-H07-Bochum



---

What is new?

- In order to obtain homogeneous magnetic fields, cross-sections with different current densities are proposed.
- The new design applies coils of non-rectangular cross sections.
- Here, each coil layer is optimized separately to obtain optimum field homogeneity.
- The new technology of coil design is best suited for superconducting coil magnet systems of field strength up to approx. 10 T.

---

 **RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**  
Digital Signal Processing Group

Folie 2  
SEI-H07-Bochum



---

Contents

1. Introduction
2. Basics about Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
3. Applications
  - 3.1. MR-Tomography (low field, wide bore)
  - 3.2. NMR-Spectrometry (high field, small bore)
4. Magnet Systems
  - 4.1. State of the art
  - 4.2. Superconducting materials: NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn
  - 4.3. Computation of magnetic fields and coil systems
  - 4.4. **New magnet design: Optimization of each winding layer**
5. Summary

---

 **RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**  
Digital Signal Processing Group

Folie 5  
SEI-H07-Bochum



---

**3. Applications**  
3.1. MR-Tomography (low field, wide bore)

**Partition of world market:**

- 1/3 Siemens AG Medical Solutions, 91052 Erlangen, Germany
- 1/3 GE Healthcare 80807 München (General Electric, USA)
- 1/3 Rest of the world

**Historic Development in NMR:**

- 1946: Felix Bloch, Edward Purcell: Absorption spectra  
Nobel price, physics: 1952
- 1950: Richard Ernst, Weston Anderson: FT of pulse responses  
Nobel price, chemics: Richard Ernst: 1991
- 1973: Paul Lauterbur: NMR with a local resolution = MRT  
Nobel price: medicine: 2003

---

 **RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**  
Digital Signal Processing Group

Folie 4  
SEI-H07-Bochum



---

Siemens: NMR-research

- 1977 Siemens starts research in NMR
- 1980 First picture of the human cranium/skull
- 1981 oil-cooled 2 KG Iron-magnet: 4 mm local resolution
- 1983 First SL-Magnet 3,5 KG: MAGNETOM
- 2003 MAGNETOM Trio: 3 T (= 30 kG) – MRT of the whole body: That is the standard.
- 2003 MAGNETOM 7T: 7 T – MRT of the whole body: That is state of the art in research.

---

 **RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**  
Digital Signal Processing Group

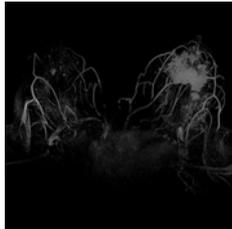
Folie 5  
SEI-H07-Bochum



---

Magnetom Trio, 3T-pictures<sup>®</sup>, Siemens



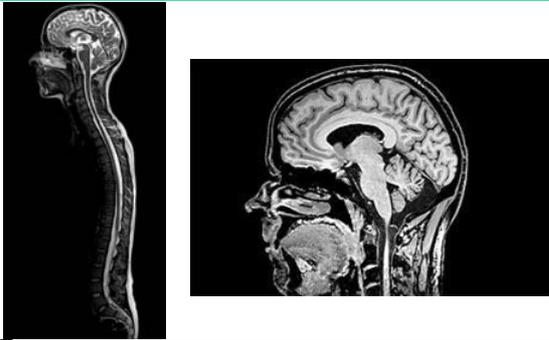


---

 **RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**  
Digital Signal Processing Group

Folie 6  
SEI-H07-Bochum

The human brain:  
Universitätsklinikum Essen®



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 7  
SEI-H07-Bochum

(To 3. Applications)  
3.2. NMR - Spectrometer (very high field, small bore)



- Very high frequencies of the resonance
- Magnetic field strengths of the NMR - Spectrometer for the chemical analysis of molecule structure: 5 up to 20 T. (Sample volumes are about 1 cm<sup>3</sup>.)

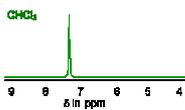
	5 T	10 T	15 T
<sup>1</sup> H	212,89 MHz	425,78 MHz	638,68 MHz
<sup>13</sup> C	53,545 MHz	107,089 MHz	160,634 MHz
<sup>29</sup> Si	42,328 MHz	84,656 MHz	126,98 MHz



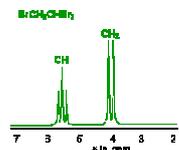
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 8  
SEI-H07-Bochum

NMR-Spectra (Analytics)



System of lowest (zero-) order, only singulets



System of first order, multiplets, fine structure of equidistant lines



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 9  
SEI-H07-Bochum

Why high-field NMR is necessary?



- Distances of lines (line groups) are direct proportional to the magnetic field strength.
- Line width = natural line width + broadening by field inhomogeneity. (Pile-up of neighbored lines will be lower.)
- Hyperfine structure can be found.
- High field spectroscopy can analyze very complex molecules.
- Tetramethylsilan (TMS) is used as **Reference** material.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 10  
SEI-H07-Bochum

SC-Magnet systems: World market



**Bruker/Biospin GmbH**, Silberstreifen,  
76287 Rheinstetten, Germany

**Jeol/Japan**, in Germany: Oskar-von-Miller-  
Str. 1A, 85386 Eching, Germany

**Varian/USA**, in Germany: Alsfelder Str. 6,  
64289 Darmstadt, Germany



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 11  
SEI-H07-Bochum

Bruker/Biospin GmbH: master pieces



Ultra Shield™, 89mm<sup>Ø</sup>



Ultrastabilized™, 54mm<sup>Ø</sup>



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 12  
SEI-H07-Bochum

## 4.2. Superconducting materials: History of discovery

- 50 of about 100 elements are superconducting below a critical temperature  $T_C$ .
- Within the famous mercury Hg, which becomes solid below  $-39^\circ\text{C}$  and superconducting below  $T_C = 4,16\text{ K}$ .
- Kamerlingh-Onnes liquefied Helium in Leiden in 1911 @  $T_s = 4,2\text{ K}$  (boiling point). Suddenly his temperature meter: mercury does not measure correctly any longer! He doesn't believe in a new physical phenomena.
- Bardeen, Cooper and Schrieffer: The BCS-theory explains superconductivity in 1957. Two electrons are together a Cooperpair, which can pass through metals without any resistance.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 13  
SEI-H07-Bochum

## Physical data for: NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn

Technical superconductor	Critical temperature $T_C$	$I_C$ @ 4,2K 0,5 mm <sup>Ø</sup> F54, EAS, Bruker-Biospin <sup>®</sup> , Former: VAC	Critical induction $B_C$
<b>NbTi</b> 50:50 Alloy	9,5 K	5T / 306 A 4T / 267 A 5T / 228 A 6T / 189 A 7T / 147 A 8T / 105 A	13,5 T
<b>Nb<sub>3</sub>Sn</b> , Nb <sub>2,85</sub> SnZr <sub>0,15</sub> Cubic lattice	18,05 K 18,07 K	?	29,5 T 52,8 T



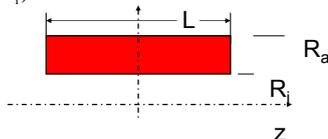
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 14  
SEI-H07-Bochum

## 4.3. Computation of magnetic fields: Main field - rectangular

The magnetic axial field strength of a multilayer cylindrical coil can be computed with the given formula:

$$B_a(z, L, R_a, R_i) = \frac{1}{2} \frac{N}{L(R_a - R_i)} I * \mu * g(z, L, R_a, R_i)$$



The geometric constant  $g$  is:

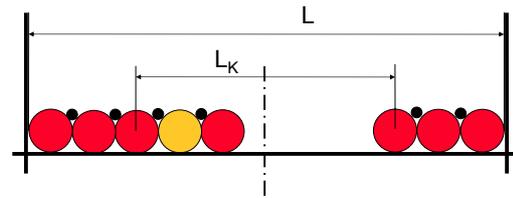
$$g(z, L, R_a, R_i) = \left( z + \frac{L}{2} \right) * \ln \left( \frac{R_a + \sqrt{R_a^2 + \left( z + \frac{L}{2} \right)^2}}{R_i + \sqrt{R_i^2 + \left( z + \frac{L}{2} \right)^2}} \right) - \left( z - \frac{L}{2} \right) * \ln \left( \frac{R_a + \sqrt{R_a^2 + \left( z - \frac{L}{2} \right)^2}}{R_i + \sqrt{R_i^2 + \left( z - \frac{L}{2} \right)^2}} \right)$$



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 15  
SEI-H07-Bochum

## Spatial homogeneous fields by optimization of a correcting length $L_K$ within using the half current density



Within the correcting length one can see blind- (yellow) and support-windings (black).

- The blind-winding reduces the current density to the half.
- The very thin support-winding ( $d = D/4$ ) is necessary to implement very high winding-packets, to prevent deviation from the circle contour.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 16  
SEI-H07-Bochum

## Correcting field - rectangular

The Main field is superimposed by the **Correcting field**.

$$B_{a,K}(z, L_K, R_a, R_i) = \frac{1}{2} \frac{N}{L_K(R_a - R_i)} I_K * \mu * g_K(z, L_K, R_a, R_i)$$

$$\text{with } I_K = -\frac{I}{2}$$

The geometric constant  $g_K$  is:

$$g_K(z, L_K, R_a, R_i) = \left( z + \frac{L_K}{2} \right) * \ln \left( \frac{R_a + \sqrt{R_a^2 + \left( z + \frac{L_K}{2} \right)^2}}{R_i + \sqrt{R_i^2 + \left( z + \frac{L_K}{2} \right)^2}} \right) - \left( z - \frac{L_K}{2} \right) * \ln \left( \frac{R_a + \sqrt{R_a^2 + \left( z - \frac{L_K}{2} \right)^2}}{R_i + \sqrt{R_i^2 + \left( z - \frac{L_K}{2} \right)^2}} \right)$$



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 17  
SEI-H07-Bochum

## Criterion of field homogeneity for optimization

So-called **Helmholtz-Criterion**:

Vanishing curvature  $k$  (at  $z = 0$ ) of the field strength characteristic.

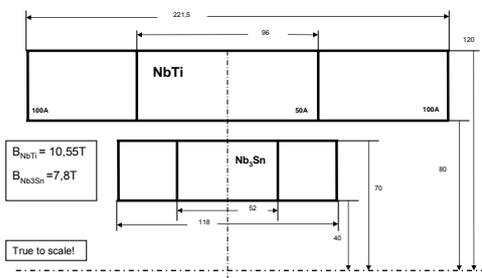
$$k = \frac{d^2}{dz^2} B(z) \sqrt{1 + \left( \frac{d}{dz} B(z) \right)^2} = 0$$



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 18  
SEI-H07-Bochum

## Design of a hybrid system



$$B_{NbTi} = 10,55T$$

$$B_{Nb3Sn} = 7,8T$$

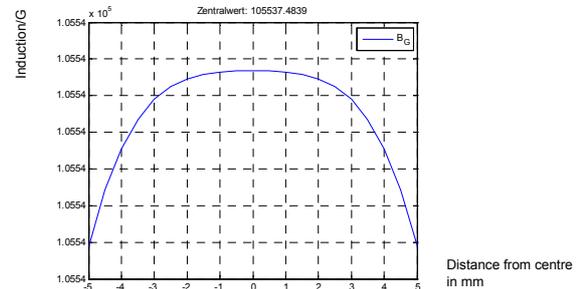
True to scale!



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 19  
SEI-H07-Bochum

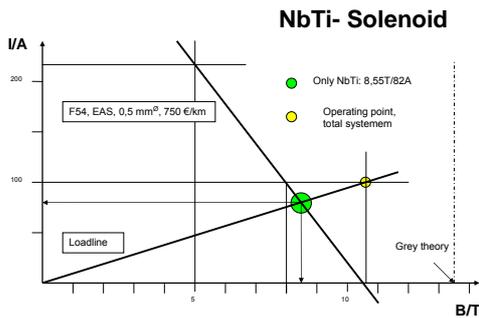
## NbTi – Coil: Induction - characteristic



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 20  
SEI-H07-Bochum

## NbTi - Electrical operating point



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 21  
SEI-H07-Bochum

## 4.4. New magnet design: Optimization of each winding layer

- **Advantages:**
- You can use the total delivered length of wire because each new layer is optimized again. (Cut wire is loosed. It is impossible to solder the superconducting filaments of the SC-wire.)
- It is impossible to implement a coil winding with a constant current density. Interlayer metal foils are necessary to stabilize a thermal equilibrium in the case of coil quenching.
- You can implement the total coil without the last layer. Then you can test the homogeneity. The very little corrections can be done with an optimal design of the last winding layer.
- You can use more than one coil because all single coils produce a homogeneous field. That is independent from the size of the current.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 22  
SEI-H07-Bochum

## Computation of the magn. field of a coil layer

Induction of single-layer magnet system:

$$B_a(z, L, R) = \frac{1}{2} \frac{N}{L} * I * \mu * g(z, L, R)$$

For the geometric factor follows:

$$g(z, L, R) = \frac{z + \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + \left(z + \frac{L}{2}\right)^2}} - \frac{z - \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + \left(z - \frac{L}{2}\right)^2}}$$



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 23  
SEI-H07-Bochum

## Computation of the magnetic field of a corrected single-layer coil

- Add to the field of the single-layer coil the values of the correcting single-layer coil.
- These values can be determined very simple, replacing the current  $I$  by  $I_K = -I/2$  and the length  $L$  by  $L_K$ .
- The total field induction (the sum characteristic) must have the curvature zero @  $z=0$ .
- Now the correction length  $L_K$  can be calculated. As we have seen earlier (design of rectangular systems) this problem has two solutions, too.



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
Digital Signal Processing Group

Folie 24  
SEI-H07-Bochum

## The design of multilayer systems has two solutions, too.

Design Approaches

High-field Coil System by optimization of each layer

System for large sample volumes by optimization of each layer

Folie 25  
SEI-H07-Bochum

## Multilayer systems: The two solutions: results from Matlab®

Solution: 1

Solution: 2

Ordinal number of single layer over the exact correcting length (in mm from the middle) → Non-rectangular profiles of corrected coils

Folie 26  
SEI-H07-Bochum

## Multilayer systems: Field strength (results from Matlab®)

Solution: 1

Solution: 2

Total magnetic induction (in G) over the ordinal number of the single layer

Folie 27  
SEI-H07-Bochum

## Multilayer systems: Length of SC-wire (results from Matlab®)

Solution: 1

Solution: 2

Total length of SC-wire (in km) over the ordinal number of the single layer

Folie 28  
SEI-H07-Bochum

## Comparison of the two Multilayer systems

The comparison between the two non-rectangular cross-section solutions can be summarized:

- Both designs are comparable with regards to mechanical efforts in implementing the magnetic systems.
- The solutions are suitable for different applications:
  - The high-field system is applicable to achieve a large chemical shift in NMR-spectrum (Solution 1).
  - The system with high-uniform field volume is preferred to explore super-fine resolution spectra (Solution 2).
  - Both systems have an excellent stability in time.

Folie 29  
SEI-H07-Bochum

## 5. Summary and Conclusion

- This contribution concentrates on the best possible cross-section of SC-coils for high and homogeneous magnetic fields. Best results can be found using non-rectangular cross-sections.
- Field homogeneity for different current densities can be achieved by a special winding technique.
- In principle there are two best solutions: one for generating very high field strength, one for achieving very high homogeneity. The given example designs are optimal for field strength of 8T up to 10T.
- The design method itself is universal.

Folie 30  
SEI-H07-Bochum

# A Novel Design Approach to Superconducting Magnet Coil Systems for High-Resolution NMR-Spectroscopy

Gerd F. Nowack  
Digital Signal Processing Group  
Ruhr-Universität Bochum,  
Universitätsstraße 150  
D-44780 Bochum, Germany  
E-mail: Gerd.Nowack@rub.de

## Abstract

In high-resolution nuclear magnetic resonance (NMR-) spectroscopy superconducting coils are used to generate magnetic fields with strengths in the range of 5 to 20T (1T=10kG). This paper will present new approaches to the construction of magnetic coil systems that produce sufficient homogeneous magnetic fields. In the past this goal was reached by the combination of several coils of a rectangular cross section. In this paper, the definition of homogeneity is similar to the well-known Helmholtz idea that the curvature radius of the magnetic field is infinite at the origin. It is equivalent if the second derivation vanishes. All described solutions fulfil this condition.

Due to the high costs of the superconducting wire (NbTi or Nb<sub>3</sub>Sn), compact coils have to be designed with short wire length and small coil diameter. Several new winding techniques are presented using additional support windings between each layer for implementing large winding heights. In order to obtain homogeneous magnetic fields, cross-sections with different current densities are proposed. The new design applies coils of non-rectangular cross section. Here, each coil layer is optimised separately to obtain optimum field homogeneity. The new technology of coil design is best suited for superconducting coil magnet systems of field strength up to approx. 10 T.

**Keywords:** Superconducting Magnet Coil Systems, Novel Geometric Design, High-Resolution NMR-Spectroscopy

## 1. Introduction: Review of History and State of the Art Technology

Magnets for NMR-application were built originally as air split iron magnets with well-defined magnetic pole shoes [1]. The magnetic field strength was limited by the saturation of iron at a maximum field strength of 2.12 T.

The first high field SC-magnet system was developed in the early seventies using superconducting wires consisting of NbTi filaments in a copper matrix [2]. Typical system performance achieved for the SC-wire was at 6.36T@4.2K and a current density of 70A/mm<sup>2</sup>. For applications above the critical induction of NbTi (11T) hybrid systems have to be used [2]. An additional inner coil is introduced consisting of Nb<sub>3</sub>Sn wire. With this technology the maximum induction reaches 20T@4.2K or more if the temperature is lowered to 2K. In 20T magnet systems the proton oscillation frequency is about 1GHz. The line width in a high resolution NMR spectrum is limited by finite homogeneity of the magnetic induction within the sample volume, and the lack of sufficient stability in time. A good compromise can be achieved with the choice of 10T, 1ppm field inhomogeneity and sovereign time stability in the short circuit mode of the coils. The optimum coil design depends also on the amount of SC-wire length. Milestones in the development of SC-magnet systems for NMR-application are:

1957 [3] (50 years ago)	40MHz-spectrum @ 1T
1973 (34 years ago)	270MHz-spectrum @ 6,35 T
1990 (17 years ago)	5 different high temperature ceramics: T <sub>c</sub> > 77 K (80 – 160K)
2007 (today)	1 GHz-NMR-spectrum @25 T

Specification of the best masterpieces:

Total weight:	up to 8 t
Free Bore:	50 – 60 mm <sup>Ø</sup>
Liquid Helium filling:	600 l à 5€ = 3000 €
Liquid Nitrogen filling:	500 l à .1€ = 50 €
Price of NbTi-SL-wire 0.5 mm <sup>Ø</sup> :	approx. 2 €/m, (2000 €/km)
Price of the complete SC-magnet system:	80000€

This paper will help to design optimal SC-Magnet systems for implementation to own demands. These systems use only NbTi-wire, e.g. 0.5 mm<sup>Ø</sup> with 60 SC-filaments. One result of the model computation is the calculation of the necessary length of the SC-wire. In best case only one single length is required which becomes favourable because it is impossible to produce infinite length of SC-wires (in contradiction to copper wires). So the technical availability of wire lengths becomes an important issue. This advanced design allows to apply for every given wire length because each single layer of the coil winding produces a homogeneous magnetic field.

## 2. Fundamentals of Technology

### 2.1. Winding technique

The simplest winding arrangement is the rectangular cross section. But the implementation causes the most serious problems:

(1) The first (lowest) layer of the winding has to be coiled with a maximum of tension, because the forces of the following layers onto the first can loosen the tension.

(2) All layers with an odd number are clockwise and all others are counter-clockwise coiled. In the case of an ideal winding the wire cannot fall in the free spaces of the lower layer. Because of the change of the helix gradient the wire tries to follow the gap spaces but then it has to cross the wire below falling in the next gap. This results in a serious elliptic deformation of the winding. But it becomes visible only if about 10 layers are ready. The implementation of an exact circle form makes it necessary to use new coil former or bobbin. But in consequence a bigger amount of SC-wire is necessary because of the larger diameter.

The best qualified winding technique is a filling of the gap spaces with a supporting winding, consisting of a very small diameter of:  $d^\emptyset = D^\emptyset/4$ . In case of a 0.5 mm $^\emptyset$  SC-wire the supporting winding measures 0.125 mm $^\emptyset$ . In praxis a plastic wire with a diameter of 0.15 mm $^\emptyset$  is preferable. Applying this winding technique even coils with thick windings could be nearly perfectly implemented.

(3) There are several methods for realizing uniform magnetic fields. The best-known method is the usage of so-called „notch-coils“. Two additional outer coils prevent the decay of the magnetic field on the central axis. This solution requires a considerable amount of SC-wire. In this contribution a well-defined current density will be used. The magnetic field strength of a single layer is bell-shaped (and not uniform). A more homogeneous field can be reached by reducing the current density in the middle of the layer. This is realized by using a blind winding which is implemented by a plastic wire of the same diameter like the SC-wire (Fig.1) The current density has to decrease by 50 % within the length which has to be computed absolute precisely. The implementation needs a special winding machine which is capable to manage three wires at the same time. It was proven that this technique is applicable [4].

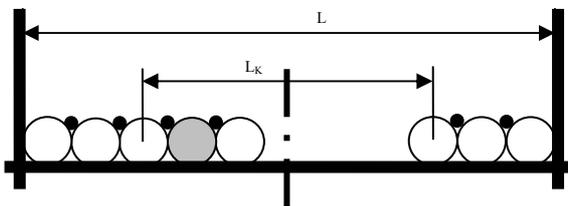


Fig. 1: Winding technique with support and blind windings

### 2.2. Methods of field homogenization

#### 2.2.1. Definition of field homogeneity

A very famous solution is the double-ring arrangement of Helmholtz [5] (distance = radius of the ring-coils), fulfilling the condition  $k(0) = 0 @ z=0$ . The curvature k is given by:

$$k = \frac{\frac{d^2}{dz^2} B(z)}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{d}{dz} B(z)\right)^2\right]^3}}$$

Today more sophisticated demands are known taking into account the different sizes of sample volumes. In the field of analytic chemistry (NMR) volumes from 1mm<sup>3</sup> up to 1cm<sup>3</sup> are used. In the region of nuclear magnetic tomography (MRT) the volumes are much higher (> 100 dm<sup>3</sup>). In both cases the main magnetic field should have an inhomogeneity of 1ppm in the sample volumes. That is sufficient in MRT. In NMR, additional shim-coils are used to trim the magnetic field so that the resolution of the spectrum is about a factor 1000 higher compared to MRT.

#### 2.2.2 Computation of magnet systems with homogeneous fields

##### 2.2.2.1 Optimized Solution for High-Field magnet systems

The main field coil of a magnetic system is a solenoid-coil consisting of multiple layers. A maximum of field strength using a minimum of SC-wire-length is achievable if the windings are as close as possible, beginning on the smallest diameter. To fulfil the condition of homogeneous magnetic fields it is necessary to reduce the current density to half by using a blind winding in addition over a computed correction length. (Ref. Fig.1)

The axial magnetic induction of a multi-layer cylindrical coil can be computed by:

$$B_a(z, L, R_a, R_i) = \frac{1}{2} \frac{N}{L(R_a - R_i)} I * \mu * g(z, L, R_a, R_i)$$

For the geometric factor  $g(z, L, R_a, R_i)$  is equal to:

$$g(z, L, R_a, R_i) = \left(z + \frac{L}{2}\right) * \ln \left( \frac{R_a + \sqrt{R_a^2 + \left(z + \frac{L}{2}\right)^2}}{R_i + \sqrt{R_i^2 + \left(z + \frac{L}{2}\right)^2}} \right) - \left(z - \frac{L}{2}\right) * \ln \left( \frac{R_a + \sqrt{R_a^2 + \left(z - \frac{L}{2}\right)^2}}{R_i + \sqrt{R_i^2 + \left(z - \frac{L}{2}\right)^2}} \right)$$

This field will be superimposed by the correcting field:

$$B_{a,K}(z, L_K, R_a, R_i) = \frac{1}{2 L_K (R_a - R_i)} N I_K * \mu * g_K(z, L_K, R_a, R_i)$$

The correcting current:  $I_K = -\frac{I}{2}$

Corresponding for the geometric factor  $g_K$  follows:

$$g_K(z, L_K, R_a, R_i) = g(z, L, R_a, R_i) \text{ with } L \equiv L_K$$

The total field induction must have the curvature zero @  $z=0$ . That means that the second derivation of the total field  $B(z)$  vanishes:

$$\left. \frac{d^2}{dz^2} [B_a(z) + B_{a,K}(z)] \right|_{z=0} \equiv 0$$

From this condition the correction length  $L_K$  can be calculated. The following results can be found with MATLAB™ for a realistic case of a 56 layer coil. Note: The problem has two solutions:

**Solution 1 (Fig. 2)**

Given: Internal radius:  $R_i = 40$  mm, External radius:  $R_a = 70$  mm (number of layers = 56), Length:  $L = 200$  mm

Diameter of the SC-wire:  $DM = 0.54$  mm<sup>Ø</sup>,  $\mu_0 = 4 * \pi$  G/(A/cm)

Current density:  $I/DM^2 = 191$  A/mm<sup>2</sup>, Correcting Current density:  $I_K/DM^2 = 95.5$  A/mm<sup>2</sup>

Calculated optimum: correcting length:  $L_{K1} = 8.88$  mm, Conversions factor = 0.1078 T/1A

(That means 6.35 T @ 58.9 A), Field homogeneity:  $10^{-5}$  within 1 cm (on z-axis) and  $<10^{-6}$  within 0.5 cm.

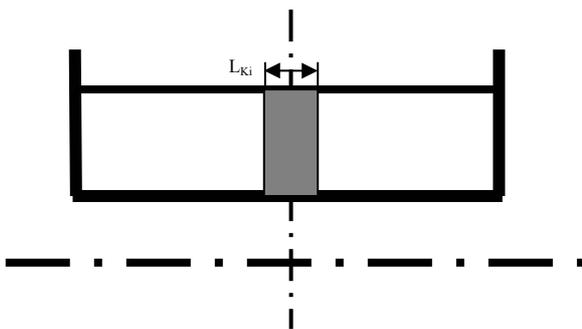


Fig. 2: High-field coil with concentric correction

**2.2.2.2 Optimized Solution for magnet systems for large sample volumes**

The given problem has in fact two solutions. In 2.2.2.1. a solenoid-coil was realized with a small concentric area with a half current density. The second solution proceeds from the case of a layer with the half current density, which is supplemented additionally by small areas with a full current density at the outer edges. Curvature is zero corresponding to the first solution. This solution can be found by the right choice of the

optimization limits. Using the same formulas the results are (MATLAB™):

**Solution 2 (Fig. 3)**

Given: Internal radius:  $R_i = 40$  mm, External radius:  $R_a = 70$  mm (number of layers = 56), Length:  $L = 200$  mm

Calculated optimum: correcting length:  $L_{K2} = 152.359$  mm, Conversions factor = 0.06077 T /1A

(That means 6.35 T @ 104.5 A), Field homogeneity:  $8.5 * 10^{-8}$  within 1 cm (on z-axis) and  $<10^{-8}$  within 0.6 cm.

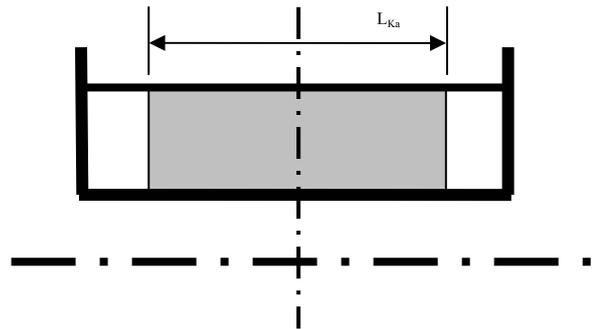


Fig. 3: High-homogeneity coil with outer correction

**2.2.2.3 Comparison between the Optimized Solutions presented in 2.2.2.1 and 2.2.2.2**

Both solutions fulfil the Helmholtz condition that the central curvature of the magnetic induction is zero:  $k(0) = 0$ . The magnet system corresponding to 2.2.2.1. is more compact, needs a larger wire length, and generates a higher field strength by a factor of 1,774 compared to the system in 2.2.2.2. if the currents are equal. To reach the same field strength (perhaps 6.35T = 3-fold iron saturation) the design of 2.2.2.1. needs 58.9, respectively for NbTi@4.2K is 111.7A [6]. So the design of 2.2.2.1. guarantees a stable operation, the design of 2.2.2.2. is more on the critical edge. Consequently the first design is recommended for high field applications, the second for high homogeneous fields ( $10^{-8}$  within 1 cm).

**3. New magnet design: Optimization of each winding layer**

On the regarded systems several disadvantages can be observed. First disadvantage is the fact that the SC-wire must have a certain calculated value. It is impossible to utilize the fully delivered length which is – as a rule- larger than the ordered one. To avoid any shortening of the expensive SC-wire the design of a magnet system is can only be regarded as superb, if the total length of the available wire will be used. Then the stability of the magnet will increase to become a very robust system.

A second disadvantage of rectangular-crossed systems is the lack of uniformity of the current density. Due to the use of interlayer foils the distances between single turns in z-direction are often shorter than in radial expansion. The design of systems with geometrical optimization of each layer dimension has many advantages. The total field strength results from superposition of all single values.

The computation of single-layer magnet systems is relative simple:

$$B_a(z, L, R) = \frac{1}{2} \frac{N}{L} * I * \mu * g(z, L, R)$$

For the geometric factor  $g(z, L, R)$  follows:

$$g(z, L, R) = \frac{z + \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + \left(z + \frac{L}{2}\right)^2}} - \frac{z - \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + \left(z - \frac{L}{2}\right)^2}}$$

In addition, the correcting field with the half current density is equal to:

$$B_{a,K}(z, L_K, R) = \frac{1}{2} \frac{N}{L_K} * I_K * \mu * g_K(z, L_K, R)$$

The correcting current:  $I_K = -\frac{I}{2}$

Corresponding, for the geometric factor  $g_K$  follows:

$$g_K(z, L_K, R) = g(z, L, R) \text{ with } L \equiv L_K$$

The total field induction must have the curvature zero @  $z=0$ . Now the correction length  $L_K$  can be calculated. As we had seen earlier: the design of multilayer systems has two solutions, too.

#### Solutions (Fig. 4 and Fig. 5)

Given: Internal radius:  $R_i = 40$  mm, External radius:  $R_a =$  variable, Length:  $L = 200$  mm  
 Diameter of the SC-wire:  $DM = 0.54$  mm<sup>Ø</sup>  
 Current density:  $I/L = 0.5$  A/mm,  
 Correcting Current density:  $I_K/L_K = 0.25$  A/mm  
 Calculated optimum: correcting length: Fig. 6 and Fig. 9.

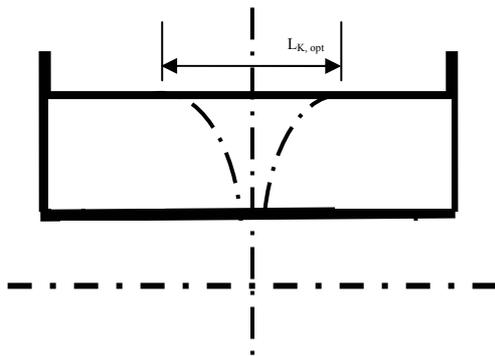


Fig. 4: High-field Coil with concentric correction: each layer optimization (design approach)

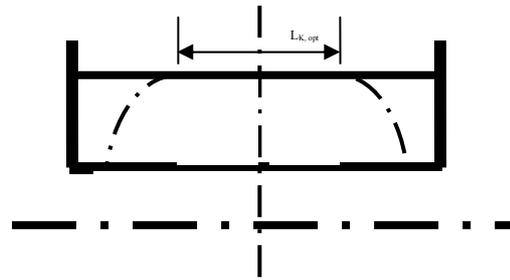


Fig. 5: System for large sample volumes with outer correction: each layer optimization (design approach)

#### Homogeneous high field magnet system for small sample volumes (with concentric correction)

In Fig. 6 the size of the correcting length of each layer is given.

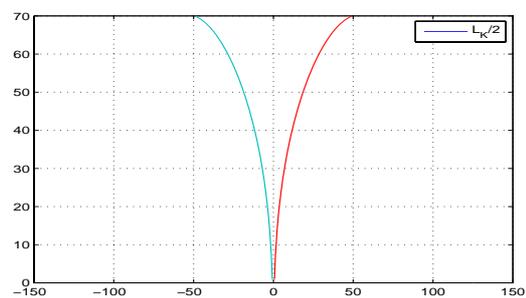


Fig. 6: Ordinal number of single layer over the exact correcting length (in mm) (with concentric correction)

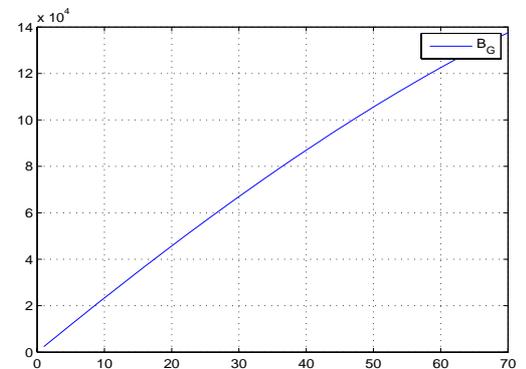


Fig. 7: Total magnetic induction (in G) over the ordinal number of the single layer (with concentric correction)

#### Homogeneous magnet system for large sample volumes (with outer correction)

In Fig. 9 the size of the correcting length of each layer is given.

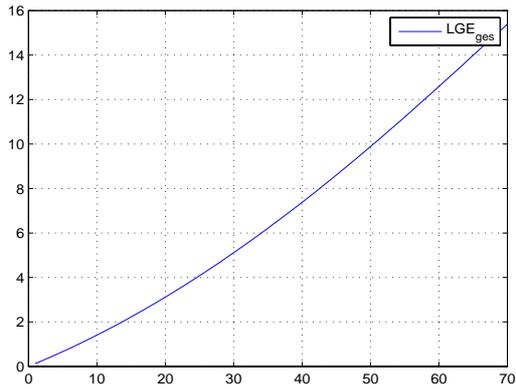


Fig. 8: Total length of SC-wire (in km) over the ordinal number of the single layer (with concentric correction)

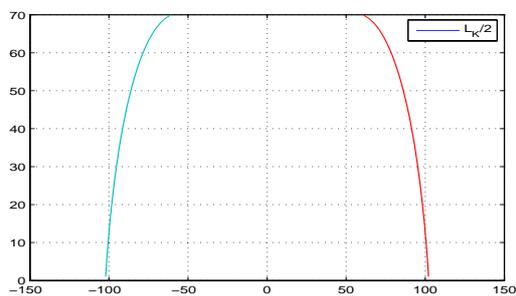


Fig. 9: Ordinal number of single layer over the exact correcting length (in mm) (with outer correction)

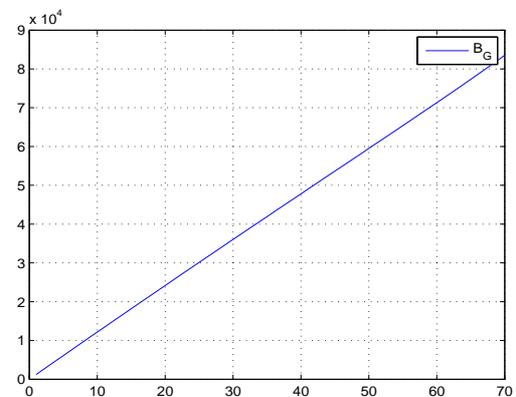


Fig. 10: Total magnetic induction (in G) over the ordinal number of the single layer (with outer correction)

The comparison between the two non-rectangular cross-section solutions can be summarized:

- (1) Both designs are comparable with regards to mechanical efforts in implementing the magnetic systems.
- (2) The solutions are suitable for different applications:
  - (2.1) The high-field system is applicable to achieve a large chemical shift in NMR-spectrum
  - (2.2) The system with large uniform field volume is preferred to explore super-fine resolution spectra. This system also shows an excellent stability in time.

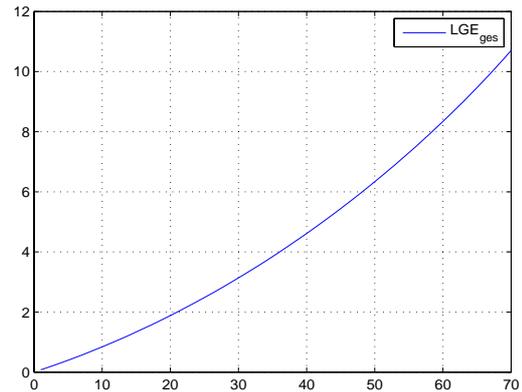


Fig. 11: Total length of SC-wire (in km) over the ordinal number of the single layer (with outer correction)

## 4. Conclusion

Starting with an outlook of the history of magnets for NMR-spectroscopy, this contribution concentrates on the best possible cross-section for high and homogeneous magnetic fields. Field homogeneity for different current densities can be achieved by a special winding technique. Best results can be found using non-rectangular cross-sections. In principle there are two best solutions: one for generating high fields, one for achieving high homogeneity. The given example designs are optimal for field strength of 8T up to 10T. The method itself is universal.

## 5. Acknowledgments

With great honor I remember Professor Günther Laukien. I like to express my gratitude for all I learned and know about NMR. His ideas and inventions had been the base of the Bruker-Biospin Inc, Rheinfelden, Germany. For the support in questions of paper layout and the english language I like to thank my friend Detlef Maiwald.

## 6. References

- [1] K. Wotruba: Verbesserung der Homogenität des Feldes von Elektromagneten, Czech. J. Phys. B 18 (1968), page 1078-1081
- [2] M. Sauzade, J. Taquin, E. May, J. Pontnau: Very Homogeneous Magnetic Fields with Superconducting Coils, Pro 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Magnet Technology, 1967, page 599-602 (Achieved Field strength: 5.4T)
- [3] M. Saunders, A. Wishnia, K.G. Kirkwood; J. Am. Chem. Soc. 1957, 79, 3289-3290
- [4] G.F. Nowack: Supraleitende Magnetsysteme für die Kernresonanz-Spektroskopie; Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1973
- [5] Helmholtz, H. v., Vortrag in der Sitzung vom 16.3.1849 der Berliner physikalischen Gesellschaft
- [6] Siemens: Handbuch der Elektrotechnik, Berlin 1971, page 120ff