

		
		
	<h2>Miniaturisierte Digitale Gammaspektrometer zur Nuklididentifikation - Physik kontra Terrorgefahr</h2> <p>Guntram Pausch ICx Radiation GmbH, Solingen</p> <p>DESY Zeuthen, 20. März 2007</p> <p>SEE SENSE DETECT DENY</p>	

	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 1984 Gründung der target systemelectronic gmbh durch Jürgen Stein in Köln; später nach Solingen ■ Kerngeschäft <ul style="list-style-type: none"> ■ Gamma-Spektrometer: Nal, HPGe, CZT, ... ■ Anwendungen: Forschung, Umwelt, Medizin, Industrie, Homeland Security ■ Digitale Signalverarbeitung ■ 2003 Gründung der target instruments, inc. in Oak Ridge, TN ■ seit 2005 zu  ■ seit 2007 als ICx Radiation 	    
<small>© ICx Radiation GmbH, Solingen</small>	
<small>Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)</small>	
<small>page 2</small>	

ICx radiation products



© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

- MCA systems
 - for NaI- and HPGe-detectors
 - Portable Systems
 - PC-cards
- Handheld Systems
 - for measurements on field
 - Customs and Border Control
 - Homeland Security Applications
- Health Physics, Environment, Industry
 - Nuclear medicine
 - Earth and Water control systems
 - Radioactive Waste storage sites
 - Scrap (grabSPEC)



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 3

ICx radiation products



© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

- bagSPEC
 - System for radioactivity checking of hand luggage
- heliSPEC
 - Helicopter system for search and contamination monitoring
- mobileSPEC
 - Measuring vehicles for NPP and environmental control



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 4

ICx radiation product focus



© ICx Radiation GmbH, Solingen 1

- identiFINDER
 - Handheld Radionuclide Identifier
 - Users:
NYPD, Coastguard, First responders,
EOD, IAEA, DOE
- Interceptor
 - Spectroscopic Personal Radiation Detector
 - Users:
Border Patrol, IAEA
- dsciSPEC
 - Networked Spectrometer Electronics for
Advanced Spectroscopic Portals
 - Users:
DNDO in ASP portals



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 5

ICx radiation - what is unique ?



© ICx Radiation GmbH, Solingen 1



- Total focus on the most advanced nuclear signal processing electronics
- The "Heart" of ICx' HPRDS spiral-1 unit fits in a teaspoon
- ICx radiation possesses key know how in miniaturized spectrometer electronics

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 6

physik kontra terrorgefahr



am Beispiel des identiFINDER® ultra

- Strahlungsmesstechnik kontra Terrorgefahr
 - Aufgaben
 - Anforderungen
 - Herausforderungen
- Physik im identiFINDER
 - Digitale Signalverarbeitung
 - Spektrenanalyse
 - Detektorstabilisierung



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 7

physik kontra terrorgefahr



Feststellung

- Radioaktives Material kann für terroristische Zwecke missbraucht werden
 - **Kernwaffen**
Massenvernichtungswaffen
 - **„Schmutzige Bomben“**
psychologische / ökonomische Wirkung!

Aufgabe

- Illegale Transporte radioaktiven Materials erkennen und verhindern
 - Grenzübergangsstellen, Flughäfen
 - Sensible Bereiche (öffentliche Gebäude, Veranstaltungsorte, Verkehrsmittel)
 - Großveranstaltungen (Fußball-WM)



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 8

physik kontra terrorgefahr

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

Problem

- Radioaktivität ist ein **Phänomen des Alltags**
 - Natürliche radioaktive Substanzen
 - Radionuklide in industriellen Produkten
→ <http://www.orau.org>
 - Medizinische Diagnostik und Therapie
- Dosisleistung \neq Gefahrenpotenzial
 - $D_{\text{legal}} \geq D_{\text{threat}}$ möglich wenn
 D_{legal} „legale“ Quelle
 D_{threat} abgeschirmte illegale Quelle
 - Dosisleistungsmessung allein:
False Alarm Rate nicht beherrschbar



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 9

physik kontra terrorgefahr

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

Lösungsansatz

- Dosimetrie + **Nuklid-Identifizierung**
- γ -Energiespektrum als „Finger Print“

Strategie

- Quelle finden → Dosisleistung
- Quelle identifizieren und **kategorisieren**
- „Innocent Alarms“ schnell erkennen

Schlüssel

- **Spektroskopische** Messtechnik:
 - Portalmonitore
 - Handmessgeräte
 - Radiation Pager




Fotos: Rolf Arlt, IAEA

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 10

physik kontra terrorgefahr

Anforderungen

- **A. Beste Nuklid-ID → Energieauflösung**
 - HPGe
 - CZT
 - Szintillatoren
- **B. Feldtauglichkeit, Robustheit**
 - Bedienung durch „Nicht-Experten“ (Zollbeamte, Polizei, Feuerwehr, ...)
 - „Einschalten & Messen“
 - Raue Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Schock, ...)

Herausforderung

- **A&B @ lowest price (C)**

© Icx Radiation GmbH, Solingen

Fotos: Rolf Arlt, IAEA

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 11

der identiFINDER® ultra

Handheld Radionuclide Identification Device (RID)

- IAEA Technical / Functional Spec.s for Border Monitoring Equipment
- ANSI N42.34-2005

Aufgabe / Funktion

- **Suchen, Identifizieren, Kategorisieren** von Strahlungsquellen
- Unterscheiden zwischen
 - „**Innocent Alarm**“
 - Natürliche Radionuklide (NORM)
 - Medizinische Isotope
 - „**Threat**“
 - Illegale Quelle
 - Spaltbares Material

© Icx Radiation GmbH, Solingen

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 12

der identiFINDER® ultra

Aufbau

- NaI(Tl)-Detektor mit Photomultiplier
- Zusatzdetektoren
 - GM-Tube → Dosisleistung
 - ^3He -Tube → Neutronen
- Elektronik: ADC, DSP
- Bedienelemente u.a.
 - Display und Tastatur
 - LEDs, Sound, Vibrator
 - Akkupack

+ Software = Digitales NaI(Tl)-Spektrometer

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

© Icx Radiation GmbH, Solingen

page 13

physik im identiFINDER

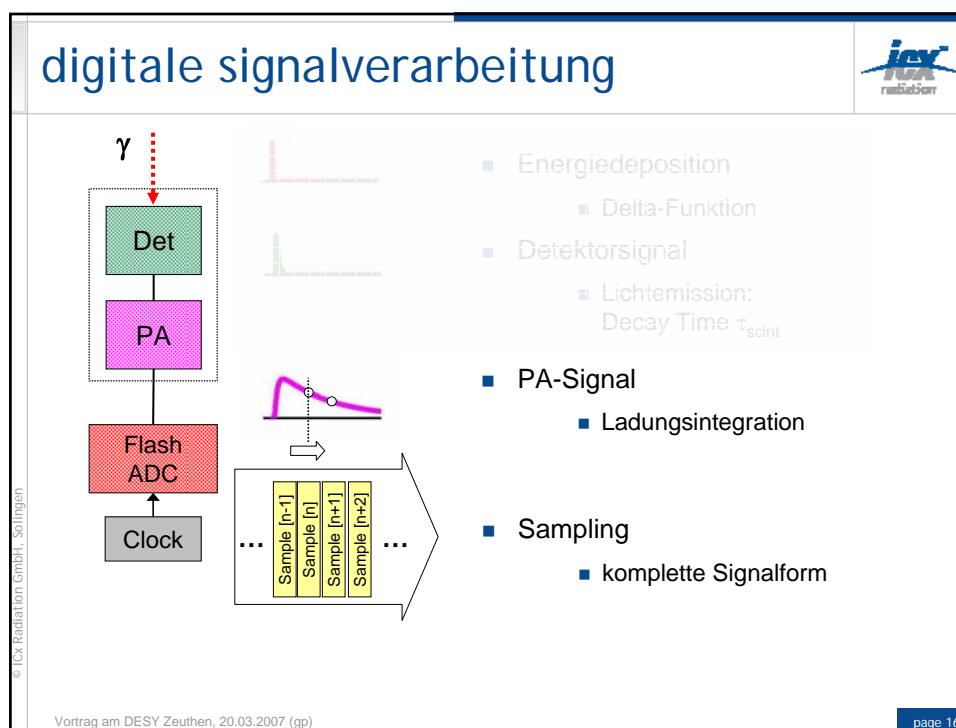
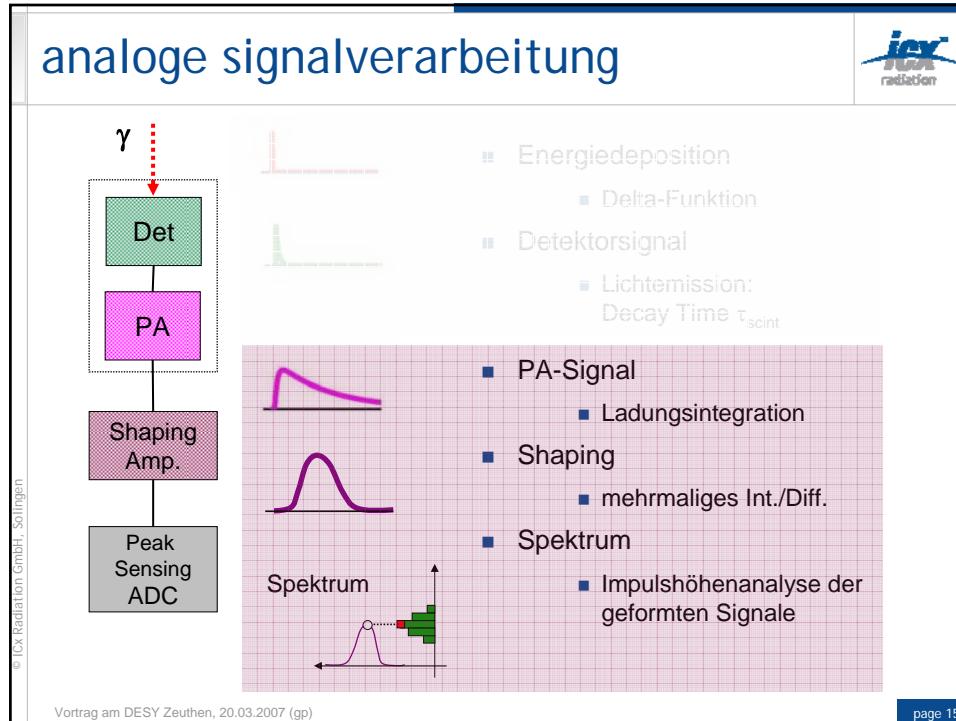
■ Digitale Signalverarbeitung

$$y_h = \sum_{v=0}^N c_v x_{h-v} + \sum_{v=1}^M d_v y_{h-v}$$

page 14

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

© Icx Radiation GmbH, Solingen

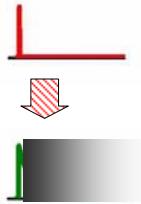


digitale Signalverarbeitung



Erläuterung am Beispiel:

- Exponentielle Antwort auf ein Delta-Signal
 - Szintillator-Response auf Energiedeposition $S = S_0 \cdot \delta(t - t_0)$
 - PA-Response auf Stromimpuls (τ_{scint})
 - (RC) (RC)



Analoges System

- erzeugt immer IIR
- "Tail" nicht vollständig eliminierbar
- Nulllinie \Leftrightarrow Last

- Infinite Impulse Response (IIR)

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

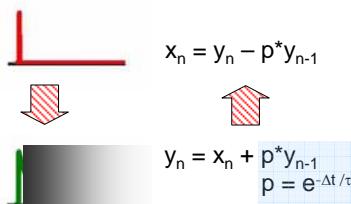
page 17

digitale Signalverarbeitung



Erläuterung am Beispiel:

- Exponentielle Antwort auf ein Delta-Signal
 - Szintillator-Response auf Energiedeposition $S = S_0 \cdot \delta(t - t_0)$
 - PA-Response auf Stromimpuls (τ_{scint})
 - (RC) (RC)



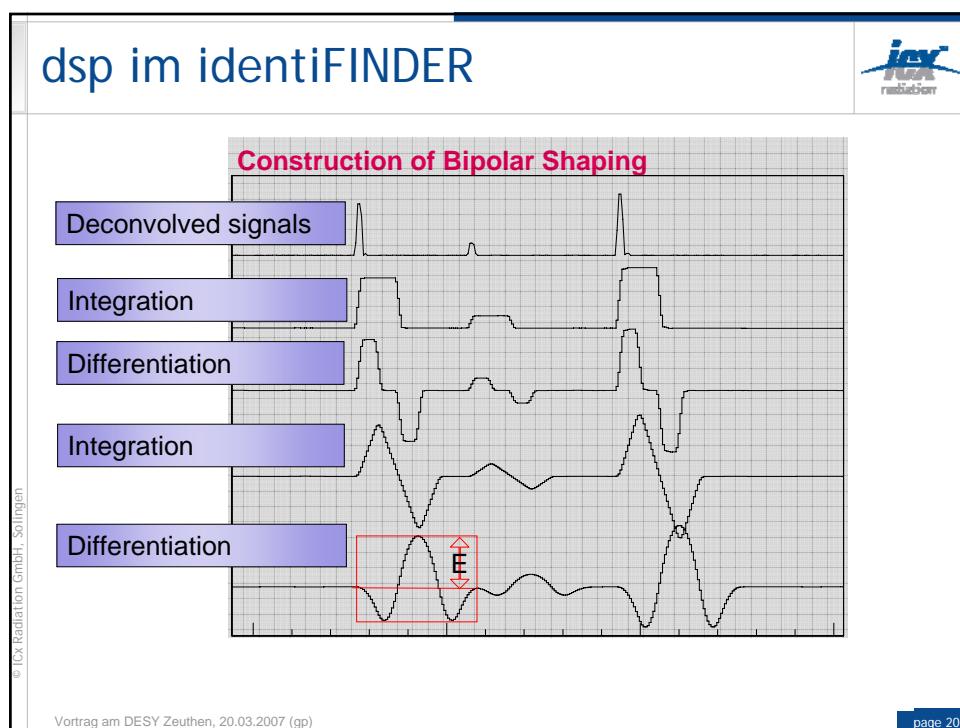
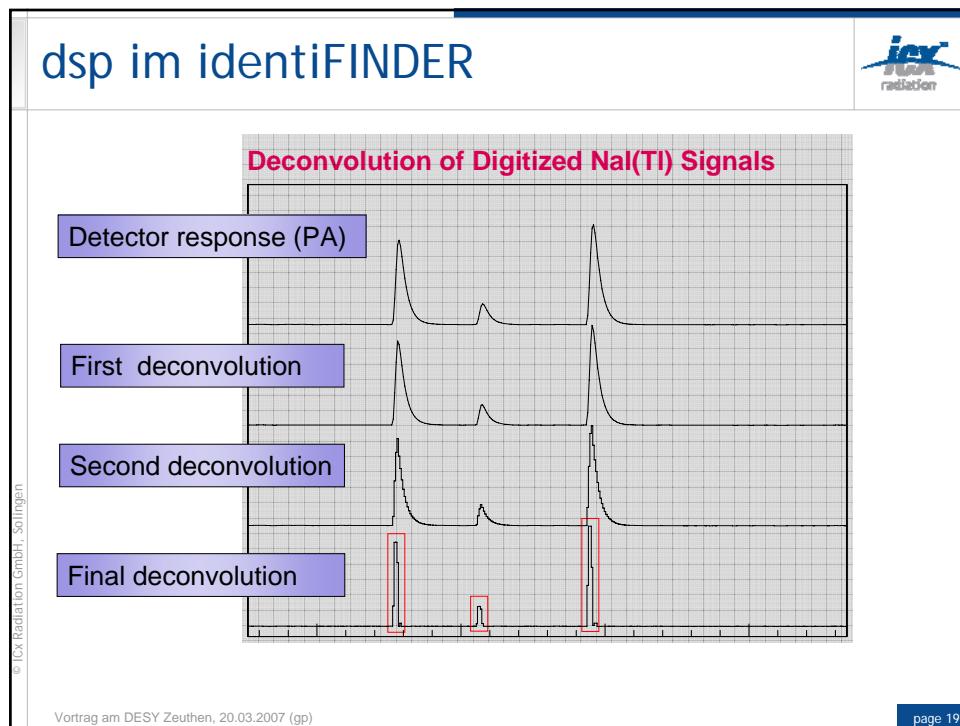
Digitales System

- IIR (Detektor, PA) eliminierbar
- Shaping \Rightarrow Finite Impulse Response (FIR)
- Nulllinie bleibt erhalten

- Infinite Impulse Response (IIR)

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 18



digitale Signalverarbeitung

© Icx Radiation GmbH, Sollingen

Vorteile

- Originelles **physikalisches** Signal rekonstruierbar:
→ Energiedeposition $E \cdot \delta(t - t_0)$
- Endliche Response nach Filterung/Integration
 - ideale Wiederherstellung der Nulllinie
 - **Exzellente Spektroskopie bei extrem hoher Last** (Zählrate)
- Komplette Impulsform wird gemessen
 - viel Information ohne zusätzliche Hardware
 - Pulse Shape Discrimination (**PSD**) per Software

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 21

physik im identiFINDER

© Icx Radiation GmbH, Sollingen

**■ Nuklididentifikation
(Spektrenanalyse)**

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 22

spektrenanalyse

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

- Beispiel – Messung:
 - Schlackestein und KCl (Becher)
 - Messzeit **1 min**
- Resultat:



Measured Counts

Nuclide listing:
8 NORM K-40
- NORM Ra-226

Energy (keV)

EXIT

- schlechte Statistik
- Linien kaum zu erkennen
- trotzdem gute (richtige) Identifikation!

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

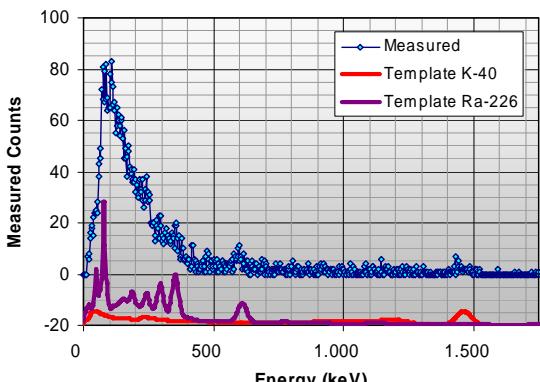
page 23

spektrenanalyse

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

- Schlüssel: **Template Matching**
statt Peaksuche und Linienkatalog
- Prinzip: $M = a^*T_A + b^*T_B + \dots$

M ... Messspektrum
 T_A, T_B, \dots Templates



Measured Counts

Measured

Template K-40

Template Ra-226

Energy (keV)

Nuclide listing:
8 NORM K-40
- NORM Ra-226

Template Counts

EXIT

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 24

spektrenanalyse - templates

© Icx Radiation GmbH, Sollingen 1

GEANT-Simulation von Templates

- Beispiel
 - Standard-Detektor im identiFINDER
 - Standard-Quelle (^{60}Co) in 5 cm Abstand
- Grafische Ausgabe
 - einige Zerfälle von ^{60}Co
 - Rot: Elektronen
 - Grün: Gammas
 - Balken: Detektor
Gehäuse
Quelle
(Grenzflächen)

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 25

spektrenanalyse - templates

© Icx Radiation GmbH, Sollingen

GEANT-Simulation

- Vergleich
 - simulierte Spektren
 - gemessene Spektren
- Strukturen der Spektren werden gut reproduziert
 - Photopeaks
 - Compton
 - Backscatter

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 26

spektrenanalyse



Vorteile des Template Matching gegenüber Peakanalyse

- Identifizieren bei **schlechter Statistik**
- Identifizieren bei **mäßiger Energieauflösung**
- **Templates** können berechnet (**simuliert**) oder **gemessen** werden
→ Anpassen an spezielle Probleme

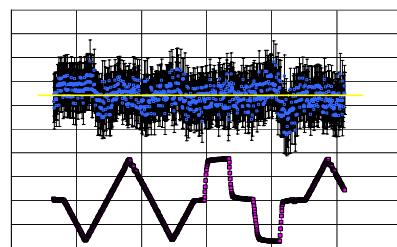
Voraussetzung

- exakte Energieskale
 - Linearisierung
 - Kalibrierung
 - **Stabilisierung**

physik im identiFINDER



■ Detektorstabilisierung



detektorstabilisierung - warum?

Situation

■ Signal

$$S = G_{\text{system}} * E_{\gamma}$$

■ Systemverstärkung

$$G_{\text{system}} \sim LO_{\text{scint}}(T) * G_{\text{PMT}}(T, \text{Load, History})$$

LO ... Lichtausbeute des Szintillators
 G_{PMT} ... Verstärkung des Photomultipliers

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 29

detektorstabilisierung - warum?

© ICX Radiation GmbH, Sollingen

■ Betriebsbedingungen von RID

- Temperatur $T \leq -15^{\circ}\text{C} \dots \geq +55^{\circ}\text{C}$
- Zählrate (Last) $10 \dots \geq 100.000 \text{ cps}$
- **Verstärkungsvariation** **ca. 30 ... 50%**

■ Spektrum

© ICX Radiation GmbH, Sollingen

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 30

detektorstabilisierung - warum?

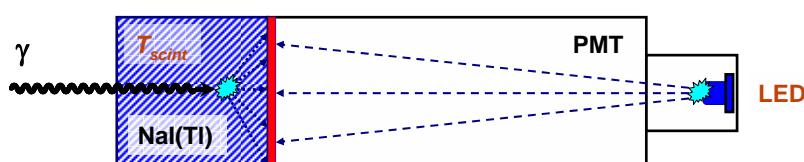


- Betriebsbedingungen von RID
 - Temperatur $T \leq -15^\circ\text{C} \dots \geq +55^\circ\text{C}$
 - Zählrate (Last) $10 \dots \geq 100.000 \text{ cps}$
 - Verstärkungsvariation ca. 30 ... 50%
- völlig unvereinbar mit einer zuverlässigen Nuklid-Identifizierung nach dem Template-Verfahren.**

detektorstabilisierung - wie?



Situation



$$G_{\text{system}} \approx G_{\text{PMT}}(T) * G_{\text{PMT}}(T, \text{Load, History})$$

Idee

- PMT-Stabilisierung mit einer gepulsten Lichtquelle (LED)
- Numerische Korrektur für Temperatureffekte im Szintillator (T_{scint})

detektorstabilisierung - wie?

Signale

- LED-Signale
 - Regulär (feste Frequenz)
 - Rechteckform
- Gamma-Signale
 - Irregulär (statistisch)
 - Exponentiell (Decay Time τ)

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 33

detektorstabilisierung - wie?

Probleme

- Wie kann das Spektrometer die LED- von den Gamma-Signalen trennen? (ohne aufwändige zusätzliche Hardware)
- Wie kann man die „wirkliche“ (effektive) Szintillatortemperatur messen? (schlechte Wärmeleitung → kein Temperaturgleichgewicht!)

Lösung

- nutzt Vorteile digitaler Signalverarbeitung

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 34

detektorstabilisierung - wie?

© ICX Radiation GmbH, Sollingen 1

- Gamma-Signale (Szintillator) → Decay Time τ (T)
- LED-Signale → Rechteckform

→ Impulsform kann genutzt werden zur

- LED/Gamma-Diskriminierung
- Messung der Szintillatortemperatur

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 35

detektorstabilisierung

© ICX Radiation GmbH, Sollingen 1

Signalverarbeitung im identiFINDER: Digital (DSP).

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 36

detektorstabilisierung

Signalanalyse im identiFINDER

- Durchsuche Buffer nach gültigen Signalen:
Trigger Level **TL** überschritten?
- Bestimme Amplitude **a** und Signalbreite **w** für jedes gültige Signal
- Klassifiziere die Signale anhand der Signalbreite

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 37

detektorstabilisierung

Signalanalyse im identiFINDER

- Durchsuche Buffer nach gültigen Signalen:
Trigger Level **TL** überschritten?
- Bestimme Amplitude **a** und Signalbreite **w** für jedes gültige Signal
- Klassifiziere die Signale anhand der Signalbreite

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 38

detektorstabilisierung

Signalanalyse im identiFINDER

- LED-Signale

Pulse Width Spectrum

Counts

Pulse Width [channels]

LED

● 1 kcps
■ 50 kcps

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 39

detektorstabilisierung

Signalanalyse im identiFINDER

- LED-Signale:

- Impulshöhenspektrum

Impulshöhenspektrum

Counts

Pulse Height

LED

Pulse Height Spectrum

PMT-Stabilisierung:
Halte LED-Peak
auf Sollposition

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 40

detektorstabilisierung

Signalanalyse im identiFINDER

- Gamma-Signale:
 - Peakposition
 - effektive Szint.-Temp.
 - Korrektur für LO(T)

Pulse Width Spectrum

Counts

Pulse Width [channels]

1 kcps
50 kcps

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 41

detektorstabilisierung

Signalanalyse im identiFINDER

- Gamma-Signale:
 - Impulshöhen-spektrum = Messspektrum
 - Beispiel: Reaktor-Pu **4s** (!) Messzeit

Gamma Pulse Height Spectrum

Counts

Energy [keV]

RGPU (with Am-241)
Throughput 150.000 cps

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 42

detektorstabilisierung



Vorteile

- exzellente **Stabilität** in allen Last- und Temperaturbereichen
 - typisch: 1%
- keine zusätzliche Hardware (außer LED-Pulser)
- exzellente Unterdrückung von Noise und Pileup
 - durch Signalform-Auswahl
- niedrige **Triggerschwelle**
 - 15 ... 20 keV Gammaenergie
- hohe **Last**
 - Durchsatz bis 150.000 cps
- exakte **Totzeitmessung** durch LED-Pulser

weitere anwendungsbeispiele



- **Aufspüren und Identifizieren von Strahlungsquellen in der Umwelt**



Fotos: Sächsische Schweiz bei Königstein

umweltradioaktivität

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

Aufspüren und Identifizieren von Strahlungsquellen

- Gerät anschalten
- Betriebsbereitschaft abwarten
 - Automatische Kalibrierung (LED)
- FINDER-Mode einstellen
 - Untergrundmessung
- Quelle suchen
 - akustische Signale
 - Display-Anzeige



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 45

umweltradioaktivität

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

Aufspüren und Identifizieren von Strahlungsquellen

- Gerät anschalten
- Betriebsbereitschaft abwarten
 - Automatische Kalibrierung (LED)
- FINDER-Mode einstellen
 - Untergrundmessung
- Quelle suchen
 - akustische Signale
 - Display-Anzeige



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 46

umweltradioaktivität



Aufspüren und Identifizieren von Strahlungsquellen

- Gerät anschalten
- Betriebsbereitschaft abwarten
 - Automatische Kalibrierung (LED)
- FINDER-Mode einstellen
 - Untergrundmessung
- Quelle suchen
 - akustische Signale
 - Display-Anzeige



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 47

umweltradioaktivität



Aufspüren und Identifizieren von Strahlungsquellen

- Gerät anschalten
- Betriebsbereitschaft abwarten
 - Automatische Kalibrierung (LED)
- FINDER-Mode einstellen
 - Untergrundmessung
- Quelle suchen
 - akustische Signale
 - Display-Anzeige
- IDENT-Mode einstellen
 - Quelle identifizieren
 - Spektrum speichern



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 48

umweltradioaktivität

Aufspüren und Identifizieren von Strahlungsquellen

... auch unter Wasser!

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 49

project team

identiFINDER® ultra f&e *)

■ Jürgen Stein	(Konzept, Physik, Elektronik, Algorithmen, Software)
■ Achim Kreuels Martin Kreuels Ralf Lentering Frank Lück Guntram Pausch Frank Platte Katja Römer Karen Saucke Falko Scherwinski Nikolai Teofilov	(Physik, Software) (Design) (Hard- und Software) (Hard- und Software) (Physik, Software) (Physik, Software) (Physik, Software) (Physik, Software) (Physik, Software) (Physik, Software)

*) gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 50

dsciSPEC



© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

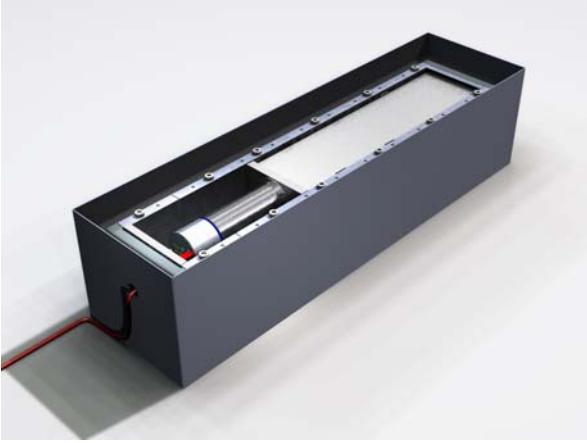
dsciSPEC – digital scintillation spectrometer
Power over Ethernet for one standard cable operation
Digital Signal Processing spectroscopy with stabilization
Secure web server provides local and global access

Ultimate scalability
Remote operation of any scintillation detector NaI, LaBr
In-field re-programmable and upgradeable
“Brain” of Thermo’s ASP

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 51

dsciSPEC ASP assembly

dsciSPEC mounted to 2"x4"x16" NaI(Tl) detector



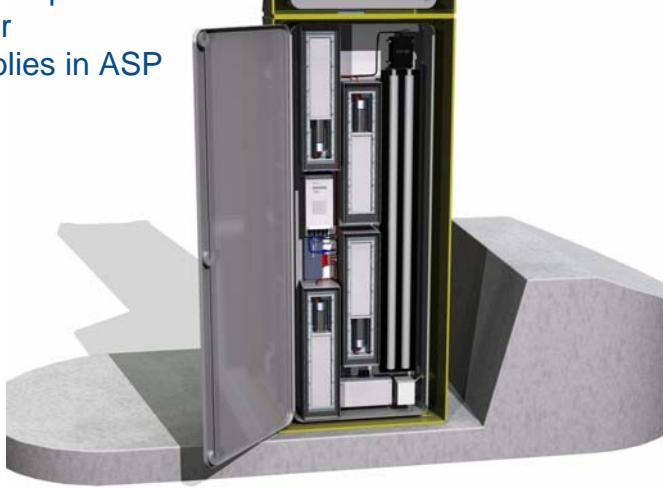
© ICx Radiation GmbH, Sollingen 1

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 52

dsciSPEC ASP assembly

© ICx Radiation GmbH, Sollingen

dsciSPEC powered detector assemblies in ASP panel



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 53

dsciSPEC ASP portal assembly

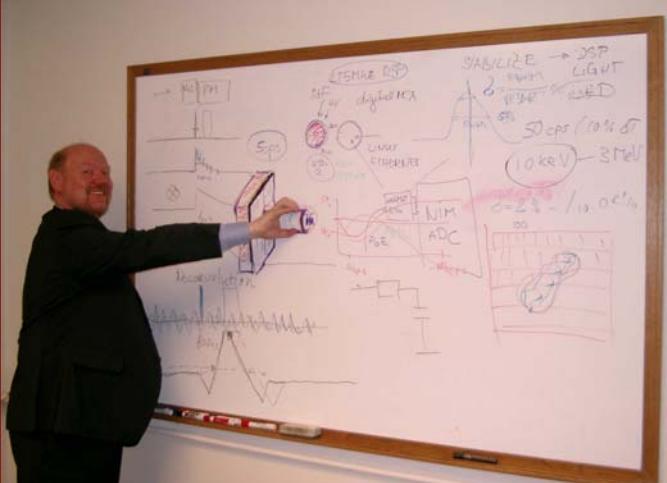
© ICx Radiation GmbH, Sollingen



Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 54

dsciSPEC design



© ICx Radiation GmbH, Sollingen

dsciSPEC concept presentation to Thermo in Santa Fe for the ASP project

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 55

Next generation radiation tracking



© ICx Radiation GmbH, Sollingen

stanchionSPEC

- The dsciSPEC is a building block for field detector assemblies
- The dsciSPEC has been designed for scaled networked radiation spectrometers
- Sensitivity and spectral resolution can be configured according to demand
- Several scintillation crystal sizes and technologies are supported

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp)

page 56

Advanced Gamma Detectors - Scintillators

© Icx Radiation GmbH, Sollingen 1

- Scintillators of interest for application in hand-held radionuclide identification devices

Nal(Tl)	6.5% @ 662keV (PMT)	⊕ Cheap
CsI(Tl)	<5% @ 662keV (APD)	⊕ Resolution ⊖ Temperature instability
(APD)		
CWO	6.6% @ 662keV (PMT)	⊕ Absorption ⊖ Decay time, pulse shape
LaCl ₃ (Ce)	3.5% @ 662keV (PMT)	⊕ Resolution ⊖ Decay time, pulse shape
LaBr ₃ (Ce)	2.6% @ 662keV (PMT)	⊕ Resolution ⊕ Temperature stability ⊕ Absorption ⊖ Expensive

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 57

Advanced Gamma Detectors - Scintillators

© Icx Radiation GmbH, Sollingen 1

- Energy resolution as a function of temperature measured @target

- LaCl₃(Ce)
 - Produced in 2005
 - Better detectors are available
- LaBr₃(Ce)
 - Ø1.5" x 1.5"
 - 2" PMT
 - Best detector ever tested @target

→ LaBr₃(Ce) is the material of choice!

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 58

Advanced Gamma Detectors - LaBr₃(Ce)

icx radiation

- Comparison of **Nal(Tl)** and **LaBr₃(Ce)** scintillators with R3998 PMT
 - **Eu-152** source
 - **Off-the-shelf** detectors in identiFINDER standard
 - Real time preset of 300s
 - a) Ø 35mm x 51mm Nal(Tl)
 - b) Ø30mm x 30mm LaBr₃(Ce)

→ Much more “information” with the (smaller) LaBr₃(Ce)

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 59

Advanced Gamma Detectors - LaBr₃(Ce)

icx radiation

- Spectra measured with **off-the-shelf LaBr₃(Ce)** detectors @target
 - **Th-232** source (with daughters)

Vortrag am DESY Zeuthen, 20.03.2007 (gp) page 60

