


  
**Universität Rostock** Traditio et Innovatio

**Messtechnischer Nachweis  
radioaktiver Strahlung**

*Jens Kurth*  
 jens.kurth@med.uni-rostock.de



29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT

---

---

---


---

---

---

---

---


  
**Universität Rostock** Traditio et Innovatio

**Strahlungsmessung**

- Nachweis ionisierender Strahlung
- Detektorentypen
  - Filmdosimeter
  - Gasdetektoren
  - Szintillatoren
- Aktivimeter und Aktivitätsmessung
- Messung von Energiespektren
- Qualitätskontrolle von Aktivimetern
- Strahlenschutz im Labor

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 2

---

---

---

---

---

---

---

---


  
**Universität Rostock** Traditio et Innovatio

**Geschichtliche Entwicklung der Zählertechnik**

1907/08: **Geiger und Rutherford** bauen in Manchester das erste Zählrohr für Alpha-Teilchen

um 1920: Ionisationskammer zur Dosimetrie von Röntgenstrahlung wird entwickelt

1928: **Geiger und Müller** veröffentlichen das Prinzip des „Elektronen-Zählrohres“, später als Geiger-Müller-Zählrohr bekannt

danach: Weiterentwicklung im Detail, Verwendung neuer Materialien, elektronischer Zähler verbesserte Gasgemische zur Verringerung der Totzeit u. v. m.

**Parallel dazu entwickelt sich der Strahlenschutz**

1905: Gründung der Deutschen Röntgen-Gesellschaft

1927-34: Das *Röntgen* wird als internationale Strahlendosisseinheit eingeführt

1932: Müller erkennt die genetische schädigende Wirkung ionisierender Strahlung

1934: Die internationale Schutzkommission empfiehlt als Grenzwert *0,2 Röntgen/Tag*

1960: Erste Verordnung zum Schutz vor Schäden durch radioaktive Stoffe

1976: Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 3

---

---

---

---

---

---

---



---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Dosismessung – Aktivitätsbestimmung

Auswahl des Messgeräts bestimmt von der zu messenden Größe:

- Messung von **Dosis bzw. Dosisleistung** oder
- Bestimmung von **Aktivitäten bzw. Kontaminationen**.

Größe	Dosis	Aktivität
Einheit	mSv 	Bq 
physikalisches Phänomen	Strahlung	Radioaktivität
Zweck	Abschätzung der Gefährdung	Menge einer radioaktiven Substanz
Messgerät	Dosismessgerät	Aktivitätsmessgerät

**Achtung:**  
 Mit einem **Dosimeter** kann man für gewöhnlich **keine Aktivitäten** bestimmen!  
 Mit einem **Aktivitätsmessgerät** lässt sich **keine Dosis** messen!

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 4

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Dosis- und Dosisleistungsmessung

**Messprinzip:**

- Grundlage meist Geiger-Müller-Zähler, Natrium-Iodid-Detektoren oder Ionisationskammer
- Komplexe Anordnung von **Energieabsorptionsfiltern** gewährleisten radiobiologische Bewertung

**Beiträge zur Dosis:**

- **Gamma-Strahlung**
- **Röntgen-Strahlung**
- **Neutronen-Strahlung**
- hochenergetische Beta-Strahlung

**Dosisleistung** mSv/h 

**Dosis** Sv 

Messgeräte für die Ermittlung der Körperdosis **müssen geeicht sein.**

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 5

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Aktivitätsbestimmung

**Verwendete Messprinzipien** und typische Anwendungsbereiche:

- **Proportionalzähler**  
Alpha- und Beta-Aktivität (Kontamination)
- **Geiger-Müller-Zähler**  
Beta-Aktivität
- **Natrium-Iodid-Detektoren**  
Gamma-Aktivität
- **Halbleiterdetektoren**  
Gamma-Spektrometrie
- **Flüssigszintillatoren**  
niederenergetische Beta- und Gamma-Strahler

**Aktivität Bq**  
**Zerfälle pro Sekunde**

**Essenzielle gerätespezifische Kenngrößen: Nulleffekt und Wirkungsgrad.**

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 6

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

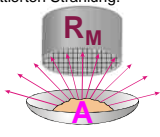
---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

**Wirkungsgrad**

Der Wirkungsgrad eines Strahlenmessplatzes ist das **Verhältnis der Anzahl der gemessenen Impulse zur tatsächlichen Anzahl von Zerfällen.**

Detektor erfasst nur einen Bruchteil der tatsächlich emittierten Strahlung.



$$\eta = \frac{R_M - R_0}{A}$$

Wirkungsgrad =  $\frac{\text{Impulsrate}}{\text{Aktivität}}$

Je höher der Wirkungsgrad, desto geringer ist der statistische Fehler.

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 7

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

**Messprinzipien**

- Filmschwärzung
  - Film
- elektr. Leitfähigkeit
  - Halbleiterdetektoren
  - Gasdetektoren
    - Ionisationskammer
    - Geiger-Müller-Zähler
- Lichterzeugung in Festkörpern
  - Szintillationsdetektoren
  - Thermolumineszenzdetektoren

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 8

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

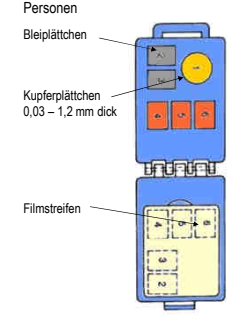
---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

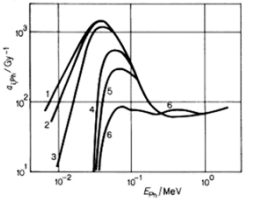
**Personendosimetrie / Filmdosimeter**

Zur Überwachung der aufgenommenen Dosis von in strahlengefährdeten Bereichen tätigen Personen



Filmschwärzung ist Funktion der Dosis bei bekannter Energie

Aussagen über **Strahlungsart und Energieverteilung** durch Filtermaterialien



29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 9

---

---

---

---

---

---

---

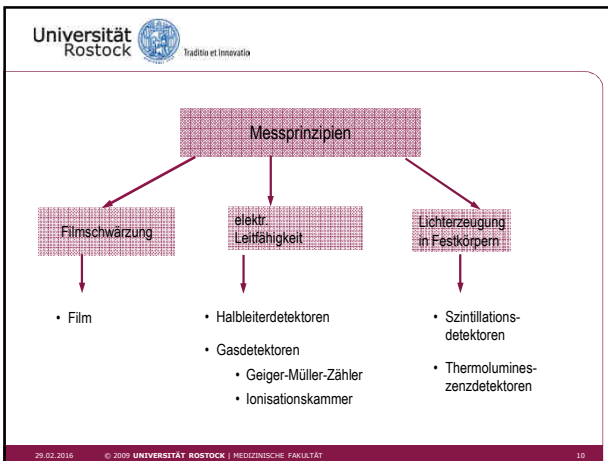
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

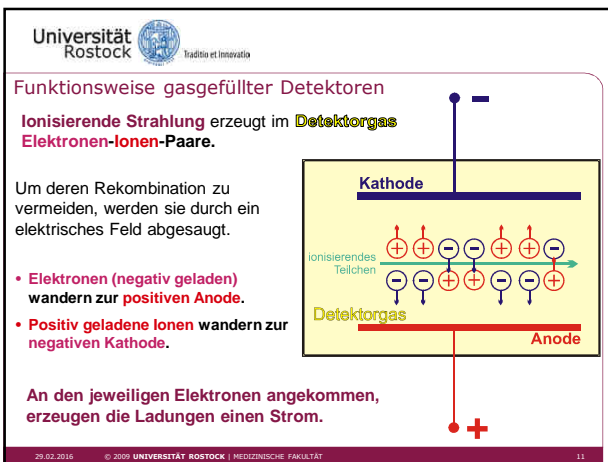
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

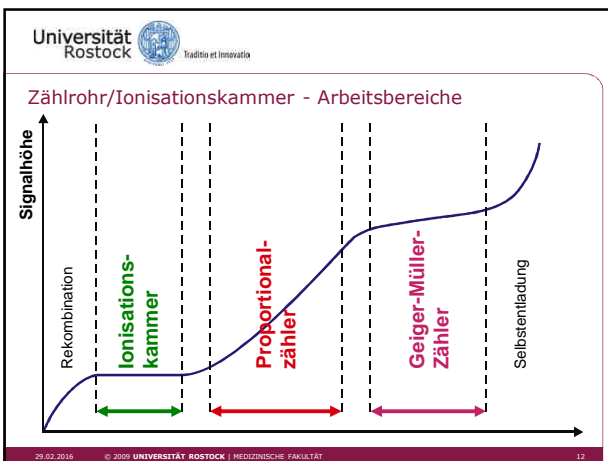
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock Traditio et Innovatio

### Eigenschaften gasgefüllter Detektoren

Detektortyp	Impulshöhe [V]	Nachweisgrenze [Ionenpaare]	Energiebestimmung	Zeitauflösung [sec]	Verwendung
<b>Ionisationskammer</b>	$< 10^3$	300–500	möglich	$< 10^{-6}$	Dosismessungen z.B. Stabdosimeter
<b>Proportionalzähler</b>	$\sim 1$	1	möglich	$< 10^{-6}$	Aktivitätsmessung z.B. Kontaminationsmonitor
<b>Geiger-Müller- bzw. Auslösezähler</b>	10–100	1	nicht möglich	$\sim 10^{-3}$	Aktivitätsmessung Dosisleistungsmessung

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 13

---

---

---

---

---

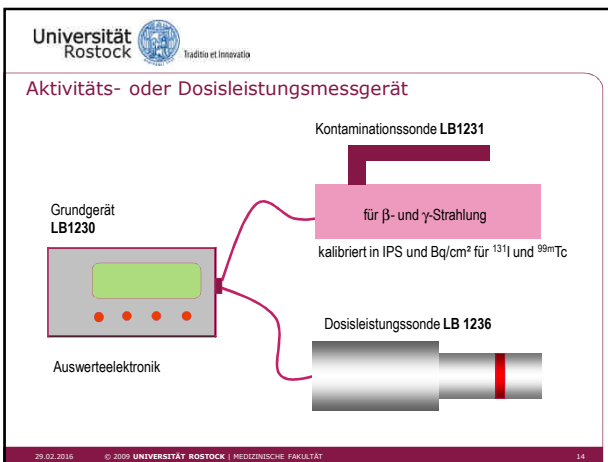
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

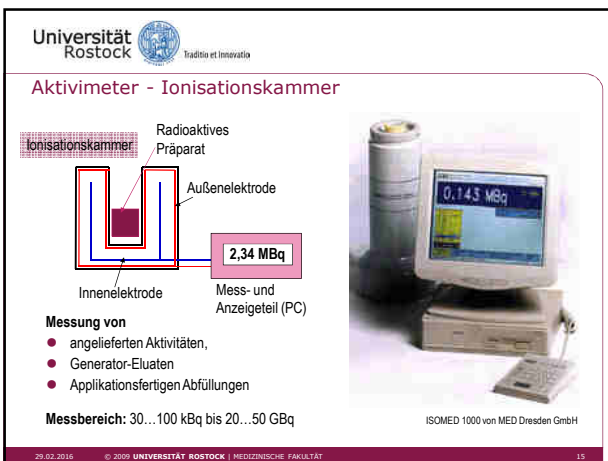
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

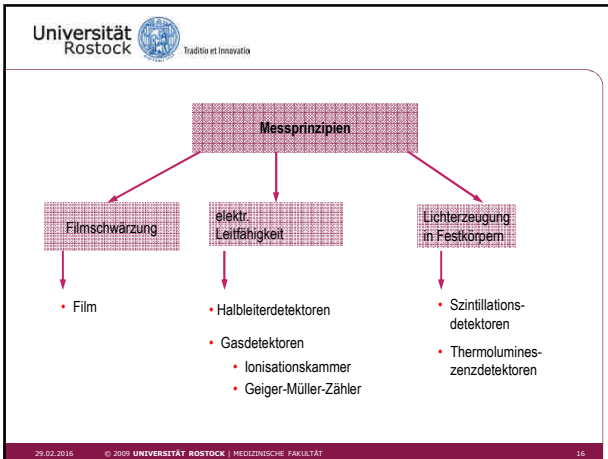
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

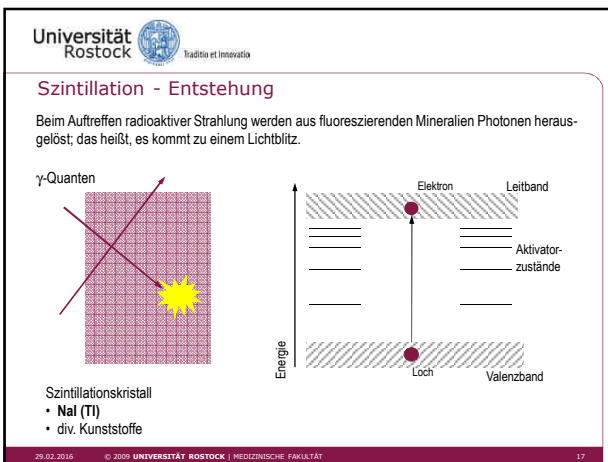
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

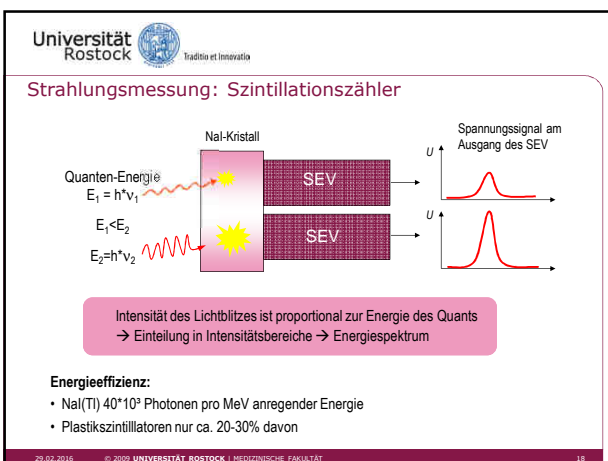
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock Traditio et Innovatio

### Strahlungsmessung: Szintillationszähler

An der Fotokathode werden durch Lichtquanten Elektronen herausgelöst

$\gamma$ -Quanten  
 Sekundär-Elektronen-Vervielfacher (SEV)  
 hohe Verstärkung: ca. 1 Mio.-fach  
 U  
 Auswerte-Elektronik  
 Szintillationskristall aus NaI mit Spuren von Thallium

- Intensität des Lichtblitzes ist proportional zur Energie des Quants
- Zahl der ausgelösten Fotoelektronen ist proportional zur Lichtintensität
- Höhe des Ausgangsimpulses am SEV ist energieproportional

→ Einteilung in Intensitätsbereiche → Energiespektrum

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock Traditio et Innovatio

### Aktivimeter - Bohrlochszintillationszähler

567Bq  
 SEV  
 Schwachradioaktive Probe im Bohrloch  
 NaJ-Kristall  
 SEV

Messung von

- Messproben (z.B. Blutserum)
- Gewebeproben

Messbereich: einige Bq bis einige kBq

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock Traditio et Innovatio

### Germanium-Halbleiter-Detektor

Im Halbleitermaterial werden durch die eindringenden Quanten bei Wechselwirkung mit dem Material Elektronen herausgelöst, die als Strom messbar sind. Die Stromstärke ist proportional zur Quantenenergie.

Kryo-Gefäß  
 Flüssiger Stickstoff (-190°C)  
 Kühlfinger  
 Sondenkopf  
 Detektor  
 Radioaktive Quelle  
 Detektor-Elektronik  
 Steuer- und Auswerte-PC

**Vorteile:**

- Empfindlichkeit ist höher
- Energieauflösung besser

**Nachteile:**

- Kühlung mit flüssigem Stickstoff und damit verbundenes kompliziertes Handling
- große Bauform (wegen Kühlung)
- Flächendetektoren problematisch

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 21

---

---

---

---

---

---

---


---

---


---

---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Germanium-Halbleiter-Detektor (Testscanner)



- Kryo-Gefäß mit flüssigem N<sub>2</sub>
- Detektorelektronik
- Kühlfinger
- Detektor

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 22

---

---

---

---

---

---


---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Personendosimetrie: Alarmsdosimeter

- Halbleiterdetektor als Detektorelement
- sofortige Anzeige der kumulierten Dosis und Dosisleistung
- Alarmschwelle einstellbar
- Datenübergabe an PC und Datenbankgleich
- geeignet für die in der Diagnostik und Therapie am häufigsten verwendeten Nuklide (Tc-99m, In-111, Ga-67, Tl-201, I-131, Ir-192, Co-60, Cs-137)



DoseGUARD S10  
Tragbares, direkt ablesbares Personendosimeter mit Si-PIN-Diode  
Messbereich: 10 µSv bis 10 Sv  
Energiebereich: 55 keV bis 6MeV

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 23

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Aktivitätsmessungen

- Was ist zu beachten
- Durchführung
- Einfluss der Totzeit

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 24

---

---

---

---


---

---

---

---



Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Nulleffekt bzw. Untergrundstrahlung

Verursacht durch natürliche Strahlungsquellen (kosmische Strahlung, im Gebäude und Personen enthaltene natürliche Radioaktivität) sowie durch künstliche Nuklide hervorgerufene messbare Aktivität

**Netto-Impulsrate = gemessene Impulsrate - Nulleffekt**

**Bei Nullpunktmessungen zu beachten:**

- keine störende Aktivitäten in der Nähe der Messung dulden
- stark erhöhte Werte deuten auf Kontamination oder Störquellen hin
- regelmäßig kontrollieren und in Berechnungen berücksichtigen
- ggf. müssen zusätzliche Abschirmungen verwendet werden oder Patienten mit Restaktivität an anderen Orten warten lassen
- bei Verdacht auf Störquellen Nullpunkt kontrollieren

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 25

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Aktivitätsmessung

Wichtig! Gerät muss einen Zusammenhang zwischen der Zahl der Zerfälle (Aktivität) und den registrierten Ereignissen (Impulsrate) herstellen

**Problem:**

- es gelangt immer nur ein Teil der von einem Volumen ausgehenden Strahlung in den Detektor (vorher absorbiert oder Detektor nicht getroffen)
- im Detektor wird nur ein Teil der Strahlung ein zählbares Ereignis auslösen (Totzeit, ohne Wechselwirkung hindurch fliegende Quanten)

**Verfahren:**  $\text{Aktivität (Probe)} = \text{Impulsrate (Probe)} \times \frac{\text{Aktivität (Eichpräparat)}}{\text{Impulsrate (Eichpräparat)}}$

**Dabei ist zu beachten:**

- Impulsraten von Probe und Eichpräparat müssen mit dem gleichen Gerät, unter vergleichbaren geometrischen Verhältnissen ermittelt werden
- Art und Energie der der Strahlung müssen vergleichbar sein

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 26

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

Universität Rostock  Traditio et Innovatio

### Spezifische Aktivitätsbestimmung

Genau 1 g entnehmen und in 1 l Wasser geben

Standardlösung  $A_{sp} = 540 \text{ Bq/g}$

1 l Wasser + 1 g Standardlösung

Zählgerät zur Messung der Impulsrate z.B. 217 cps

Zählrohr Bleiabschirmung

Probe z.B. 1 l Milch

Zählrate der Probe: z.B. 108 cps

= 270 Bq/s

$A_{sp}(\text{Standard})$	Zählrate (Standardlösung)
$A_{sp}(\text{Probe})$	Zählrate (Probe)

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 27

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---


**Universität Rostock**  
Traditio et Innovatio

### Was ist die Totzeit eines Detektors/ einer Sonde?

- je nach Detektortyp verhindern verschiedene physikalische Prozesse nach einer Ereignisregistrierung die sofortige Erfassung eines weiteren
- Die Zeit, die vergeht, bis der nächste neue Puls wieder registriert wird, nennt man **Totzeit**
- Ereignisse die während der Totzeit auftreten, können nicht gemessen werden
- typische Totzeiten bei Zählrohren liegen zwischen 10 und 100  $\mu$ s

**Beispiel: Zählrohr**

Nach Aufnahme der Elektronen am Anodendraht befindet sich ein Ionenschlauch um den Draht. Dieser schirmt das elektrische Feld des Zählrahtes ab. Diese Abschwächung der Feldstärke hat zur Folge, dass keine neuen Pulse an den Draht abgegeben werden. Da der Ionenschlauch sich langsam in Richtung der Kathode bewegt, nimmt die Abschirmung langsam ab, das nächste Quant/ Teilchen kann registriert werden.

Der Totzeitanteil nimmt mit steigender Aktivität und damit steigender Countrate zu. Dieser Anteil an der Gesamtmesszeit sollte aber einige Prozent nicht überschreiten.

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 28

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---


**Universität Rostock**  
Traditio et Innovatio

### Messung von Energiespektren

- Was sind Energiespektren?
- Wie entstehen Sie?
- Wie erfolgt deren Zuordnung?
- Wozu werden Sie benötigt?

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 29

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---


**Universität Rostock**  
Traditio et Innovatio

### Energie-Spektrum

**Was ist ein Spektrum?**

- Die von einem geeigneten Detektor registrierten Gamma-Quanten werden ihrer Energie nach in getrennte Energiebereiche (Kanäle) gezählt.
- Die Counts je Kanal werden über der Energie ( Kanälen) aufgetragen.

**Wofür braucht man Spektren?**

- Identifikation von Nukliden
- Aktivitätsmessung bestimmter Nuklide
- Berücksichtigung nur bestimmter Energiebereiche
- (Energiefenster, umfasst mehrere Kanäle), um Streuquanten auszublenden, die den Sondenmesswert oder das Bild verschlechtern/verfälschen

**Womit erhält man Spektren?**

- Szintillationszähler oder -kamera und eine gute Elektronik
- Halbleiterdetektoren

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock  
Traditio et Innovatio

### Zerfall von $^{131}\text{I}$

- $\beta^-$ -Zerfall: Zerfall eines Neutrons in ein Proton, dass im Kern verbleibt, und ein Elektron, dass emittiert wird
- für  $^{131}\text{I}$ , gibt es verschiedene „Wege“ des Zerfalls; jeder dieser Wege hat seine eigene Wahrscheinlichkeit

$E_\beta$	$E_{\text{max}}$	$J_\pi$	$J_\pi'$	Mult	$\delta$	$I_\beta$	$T_{1/2}$	$\alpha$
80.185	80.185	12+	32+	M1+E2	0.0165	3.21	4	0.48
160.909	160.910	11+	32+	M4			11.84	0.15
177.214	341.143	92-	112-	M3+E2	-4.3	0.330	4	0.240
284.305	364.490	52+	12+	E2		7.51	6	0.0500
364.489	364.490	52+	32+	M1+E2	-3.90	1.00	7	0.02285
324.691	404.814	32+	12+	M1+E2	-8.7	0.026	9	0.0331
404.814	404.814	32+	32+	M1+E2	+1.0	0.067	2	0.0178
232.18	636.991	72+	12+	[E2]		0.0039	5	0.0075
274.98	636.991	72+	52+	M1+E2	-38.17	0.070	13	0.0535
295.8	636.991	72+	92-	[E1]		0.0022	10	0.0102
636.989	636.991	72+	32+	E2		8.78	17	0.00474
302.4	666.936	72-	52+	[E1]		0.0056	7	0.01021
325.789	666.936	72-	92-	M1+E2	-23.4	0.33	26	0.03313
503.004	666.936	72-	112-	E2		0.441	4	0.00891
85.9	722.909	52+	72+			0.00011	6	0.53
318.088	722.909	52+	32+	M1+E2	-11.8	0.095	2	0.0350
358.4	722.909	52+	52+	[M1+E2]		0.020	7	0.025
642.719	722.909	52+	12+	[E2]		0.266	5	0.00464
722.911	722.909	52+	32+	M1+E2	+207.5	2.17	3	0.53

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock  
Traditio et Innovatio

### Energie-Spektrum

- Energieachse (x) wird in kleine Bereiche eingeteilt (Kanäle)
- jedes registrierte Quant wird seiner Energie nach in einen solchen Kanal eingeordnet (gezählt)

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Universität Rostock  
Traditio et Innovatio

### Energie-Spektrum - Zuordnung

Gamma-Quanten mit Energie E

Spannungssignal am Ausgang des SEV

Signalhöhe bestimmt den Kanal

Gezählte Impulse je Kanal

Jedem Kanal entspricht ein kleiner Energiebereich

Kanal n Kanal m Kanal Energie

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 33

---

---

---

---

---

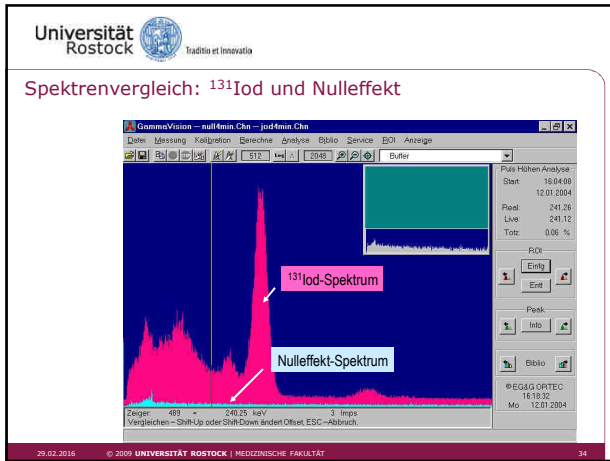
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

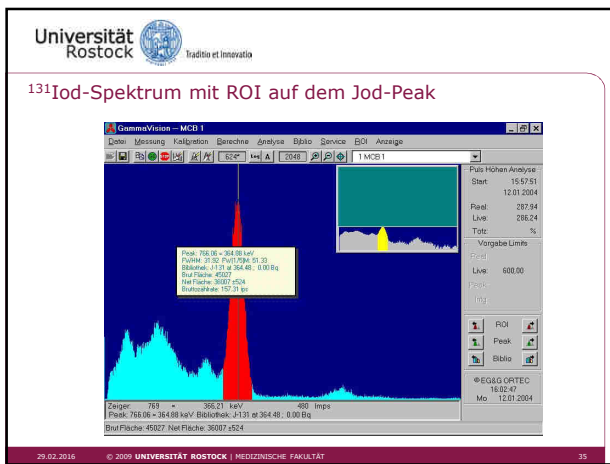
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

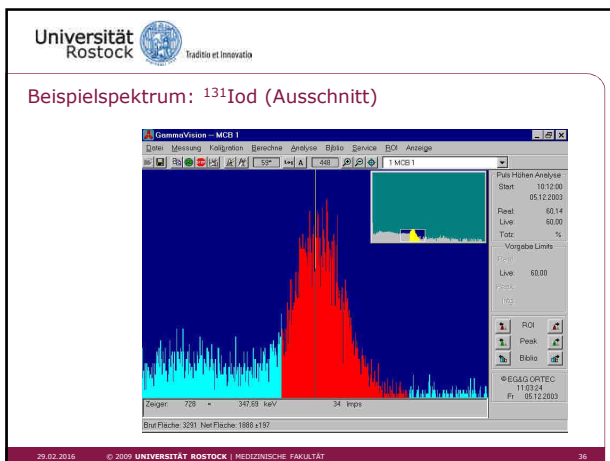
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

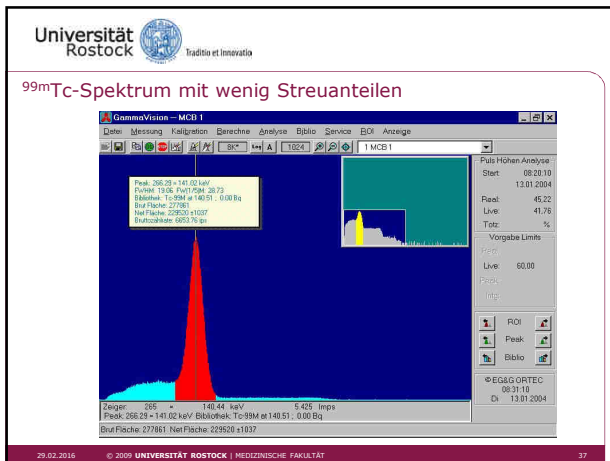
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

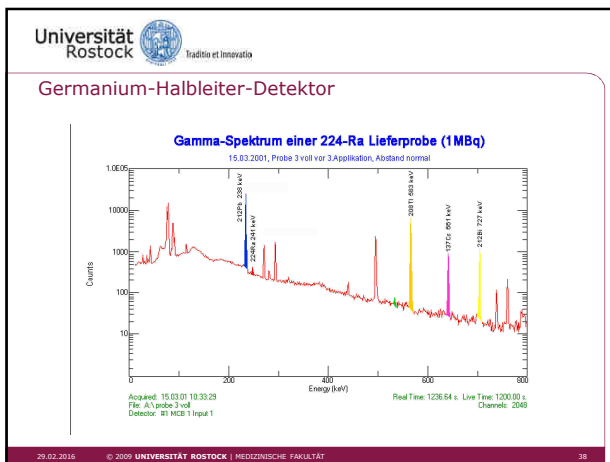
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

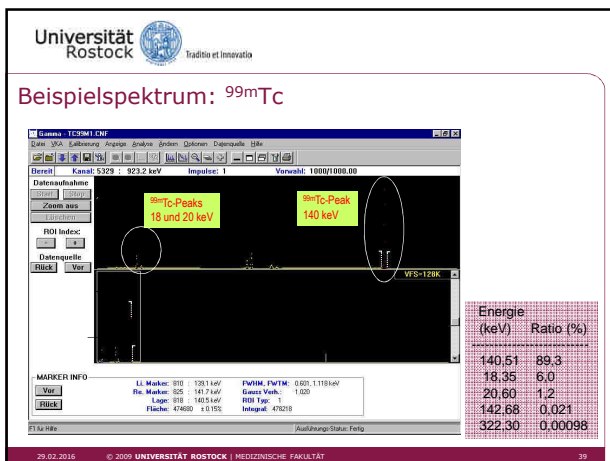
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---


**Universität Rostock**  
Traditio et Innovatio

### Qualitätssicherung der Messungen - DIN 6855

**Dazu gehören:**

- regelmäßige Wartung und Kontrolle der Geräte
- Überprüfung der Untergrundstrahlung (täglich) und Berücksichtigung in den Messungen
- Kontrolle der Effizienz der Geräte (täglich)
- Kalibrierung durch zugelassene Stelle, wenn nötig oder vorgeschrieben
- Buchführung über QS und Mängel, bzw. deren Behebung

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 40

---

---

---


---

---

---

---

---


**Universität Rostock**  
Traditio et Innovatio

### Kalibrierung / Sensitivitätskontrolle

- Kalibrierung heißt Rückführung der Messgröße mit einem Normal
- ist in regelmäßigen Abständen vorzunehmen – Fristen vom Hersteller und der DIN geregelt
- neben der regelmäßigen Kontrollmessung sind die Geräte von einer vom DKD zugelassenen Kalibrierlabor überprüfen zu lassen

**Kalibrierfaktor = Eich-Aktivität / Impulsrate der Eichaktivität**

Moderne Messgeräte haben internen Speicher für den Kalibrierfaktor, so dass nur noch die korrekte Funktion überprüft werden muss

**Bei Kalibriermessungen zu beachten:**

- Einfluss von Fremdaktivitäten ist auszuschließen
- Aktivitätsstandards sind auf ihre Verwendbarkeit zu prüfen (Verfallsdatum)
- Prüfkaktivität ist nach dem Zerfallsgesetz zu korrigieren
- Einhaltung der vorgeschriebenen Messanordnung

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 41

---

---

---


---

---

---

---

---


**Universität Rostock**  
Traditio et Innovatio

### Konstanzprüfung von Aktivimetern

**Für die Qualitätskontrolle/Konstanzprüfungen sind folgende Messungen durchzuführen:**

**täglich**

- Untergrundzählrate in einer Nuklideinstellung
- Messung der Prüfkaktivität und Vergleich mit dem vom Hersteller bestimmten und auf den Messtag korrigierten Sollwert der Prüfkaktivität. **Die Abweichung soll unter 5% liegen !**

**monatlich/ halbjährig**

- Überprüfung des Aktivimeters in allen Nuklideinstellungen mit dem Prüfstrahler

Grundlage für die Konstanzprüfungen bilden die **DIN 6855-11** und die **Richtlinien der DGN** (Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin)

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 42

---

---

---


---

---

---

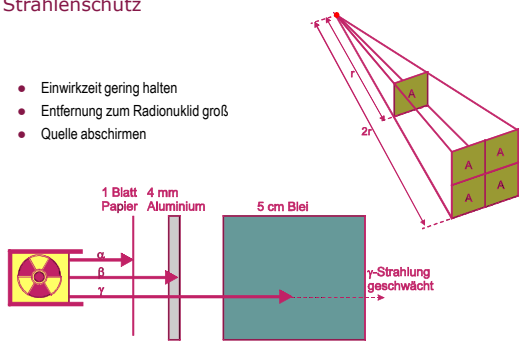
---

---

Universität Rostock  Tradition et Innovation

### Strahlenschutz

- Einwirkzeit gering halten
- Entfernung zum Radionuklid groß
- Quelle abschirmen



1 Blatt Papier 4 mm Aluminium 5 cm Blei

α β γ

γ-Strahlung geschwächt

29.02.2016 © 2009 UNIVERSITÄT ROSTOCK | MEDIZINISCHE FAKULTÄT 43

---

---

---

---

---

---

---

---