

# Einführung in den Strahlenschutz im Umgang mit radioaktiven Stoffen

WiSe 2013  
18. Oktober 2013



Prof. Dr. Klaus Schäfers  
Dr. Stefan Wagner

Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
European Institute for Molecular Imaging  
Klinik für Nuklearmedizin

- Sie sollten am Ende dieses Kurses ...
  - **Strahlenarten ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) und Begriffe** kennen und unterscheiden können
  - **Anwendungsgebiete** von Strahlung in der Nuklearmedizin kennen
  - Grundlegende **Gesetzmäßigkeiten** kennen (Halbwertszeitgesetz, Abstandsgesetz,...)
  - Möglichkeiten des **Strahlenschutzes** kennen (Maßnahmen, Gesetze)

# Aktuelle Ereignisse

## Fukushima (Wirtschaftsblatt, 11.03.2011)

- Japan erlebt das **schwerste Erdbeben** seiner Geschichte. Experten geben die Stärke mit 9,0 an.
- Eine **extrem hohe Flutwelle** trifft die Ostküste ...
- In einem Reaktor des **AKW Fukushima Eins** (Daiichi) fällt die Kühlung aus, ...
- Die Regierung ruft den **atomaren Notfall** aus und bezeichnet dies als **Vorsichtsmaßnahme**.

$^{131}\text{I}$   
 $^{137}\text{Cs}$



30.03.2011

Tokyo (250 km): 0.03-0.28  $\mu\text{Sv/h}$   
Fukushima (23 -39 km): 0.5-4.9  $\mu\text{Sv/h}$

24.03.2011

Drei Mitarbeiter von  
Tepco erhalten erhöhte  
Strahlendosen: 170-180 mSv  
Akute lokale Strahlen-  
Schädigung (Beine): 2-6 Sv

# Der Fall Litwinenko

## Tatort Pine Bar (Zeit, 8.12.2006)

Der russische Ex-Spion Alexander Litwinenko ist offenbar in der Bar des Millenium Hotels in London vergiftet worden. Das haben Ermittlungen ergeben.

$^{210}\text{Po}$



## Fakten:

- Ehemaliger russischer KGB-Agent
- Kritiker des russischen Machtapparats
- 1. November 2006: Einlieferung in ein Londoner Krankenhaus
- Verdacht auf Thallium-Vergiftung
- Entdeckung von Polonium-210 im Urin
- 23. November 2006 verstorben

# Der Fall „Rasenwalze“

Rentner stößt auf strahlenden Schrott (WDR, 15.08.2007)

## Radioaktive Gartenpflege

Ein Rentner aus Gelsenkirchen demonitierte ein altes Gartengerät - und entdeckte dabei radioaktives Material. Die Feuerwehr musste daraufhin zu einem Großeinsatz anrücken.

$^{238}\text{U}$



"Ich war schon durch den **Bleimantel** durch, als dieses **seltsame Metallstück** zum Vorschein kam."

"Als ich dann mit der Feile dran bin, gab es sofort einen **Lichterbogen**. Da war ich doch etwas beunruhigt."



# Der Fall „Urenco“

Uranfabrik Gronau (Spiegel, 22.01.2010)

## Mitarbeiter nach Strahlenunfall wohlauf

In einer Urananlage in Gronau ist es zu einem Zwischenfall gekommen. Ein Mitarbeiter war erhöhter Strahlung ausgesetzt. Sein Gesundheitszustand sei jedoch "sehr gut", sagten die Ärzte.

$^{238}\text{U}$



„In einem Spezialraum sollte ein als >leer und gewaschen< angelieferter Uranbehälter von einem Mitarbeiter für eine Druckprüfung vorbereitet werden.

Dieser Behälter enthielt aber noch Reste von Uranhexafluorid. Dabei kam es am 21.01.2010 zu einer Freisetzung dieses Stoffes in unbekannter Menge.“

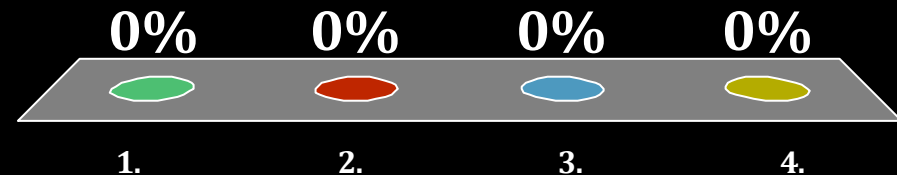
- **Fukushima: Cäsium-137 / Iod-131**
  - Radioaktiv
  - Halbwertszeiten: 30.2 Jahre / 8 Tage
  - Reiner Beta-Strahler (Zerfallsprodukt: Ba-137m) / Beta-/Gamma-Strahler (Xe-131)
  - Speicherung im Muskelgewebe / Schilddrüse
- **Litwinenko: Polonium-210**
  - Radioaktiv
  - Halbwertszeit: 138 Tage
  - Reiner Alpha-Strahler
  - Schädigung des Knochenmarks (Immunsystem)
- **Rentner/Mitarbeiter Urenco: Uran-238**
  - Radioaktiv
  - Halbwertszeit: 4 Milliarden Jahre
  - Alpha-Strahler, weitere Zerfallsprodukte
  - Schädigung der Niere (Trinkwasser)

**Frage:**  
**Wie schädlich ist Strahlung eigentlich?**



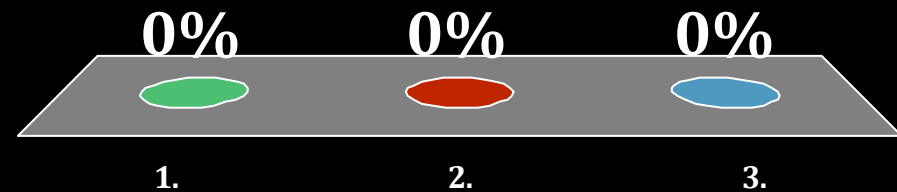
# Welcher Gefahr hat sich der Mörder im Fall Litwinenko ausgesetzt ?

1. Alpha-Strahler sind generell **ungefährlich**
2. Eine **Kontamination** mit Po-210 ist extrem **gefährlich**
3. Eine **Inkorporation** mit Po-210 ist extrem **gefährlich**
4. Po-210 wurde erst in der Pine-Bar **aktiviert**

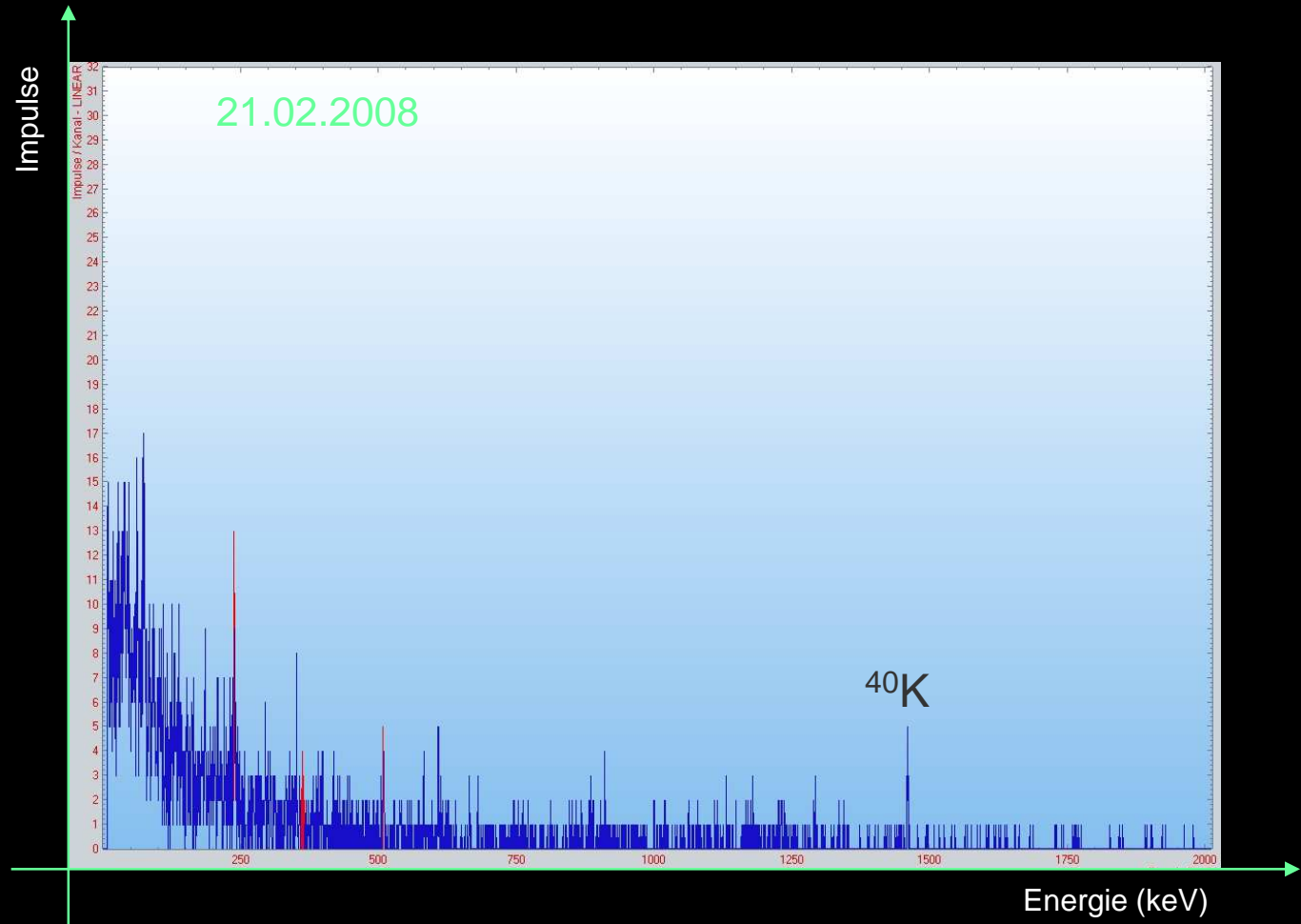


# Welche Gefahren gehen von den genannten Isotopen aus?

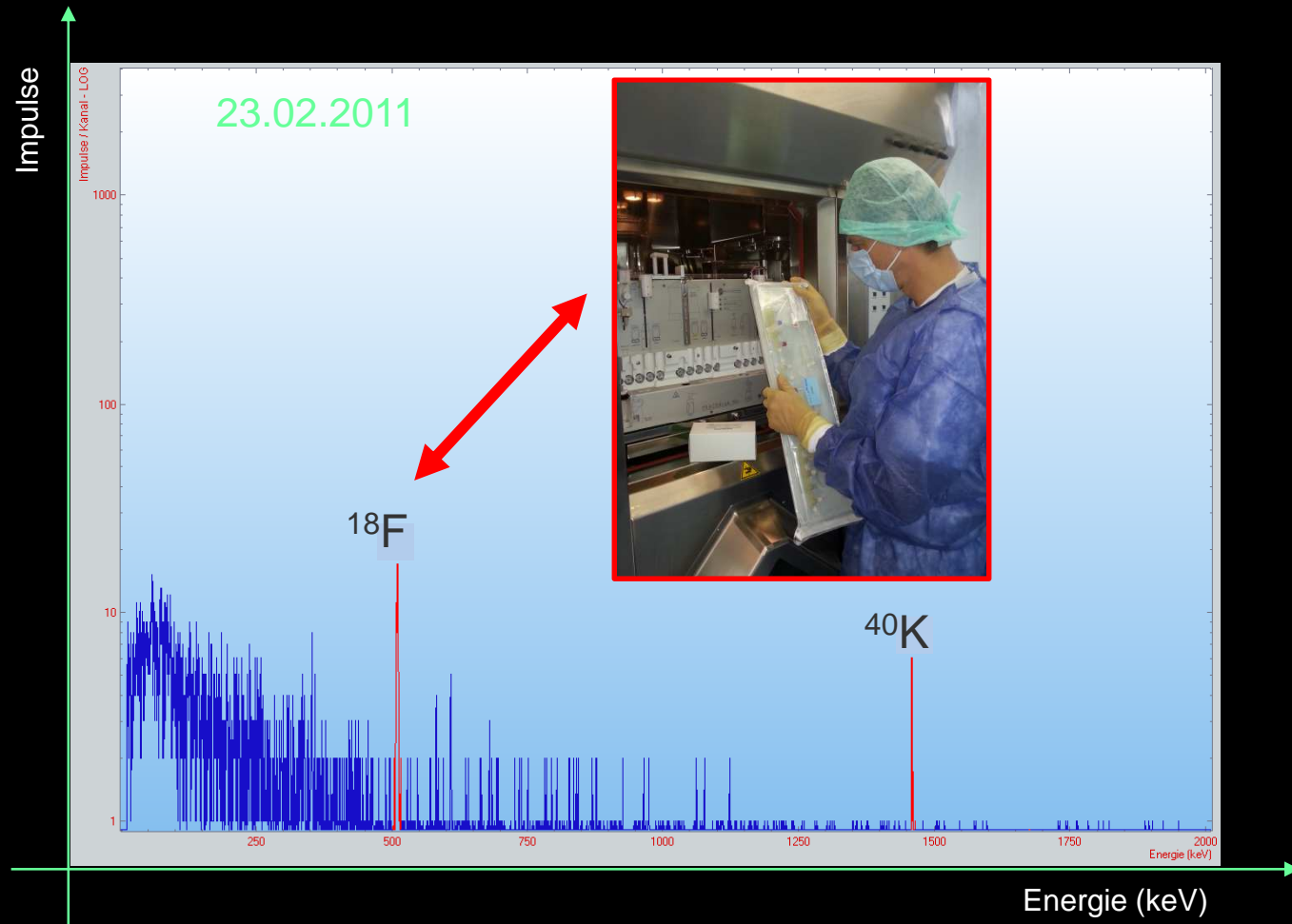
1. **U-238** ist durch seine **lange Halbwertszeit** nahezu stabil und daher **ungefährlich**
2. **I-131** wird selektiv von der **Schilddrüse** aufgenommen und ist deshalb **gefährlich**
3. **Cs-137** ist ein reiner Beta-Strahler und deshalb von "außen" **ungefährlich**



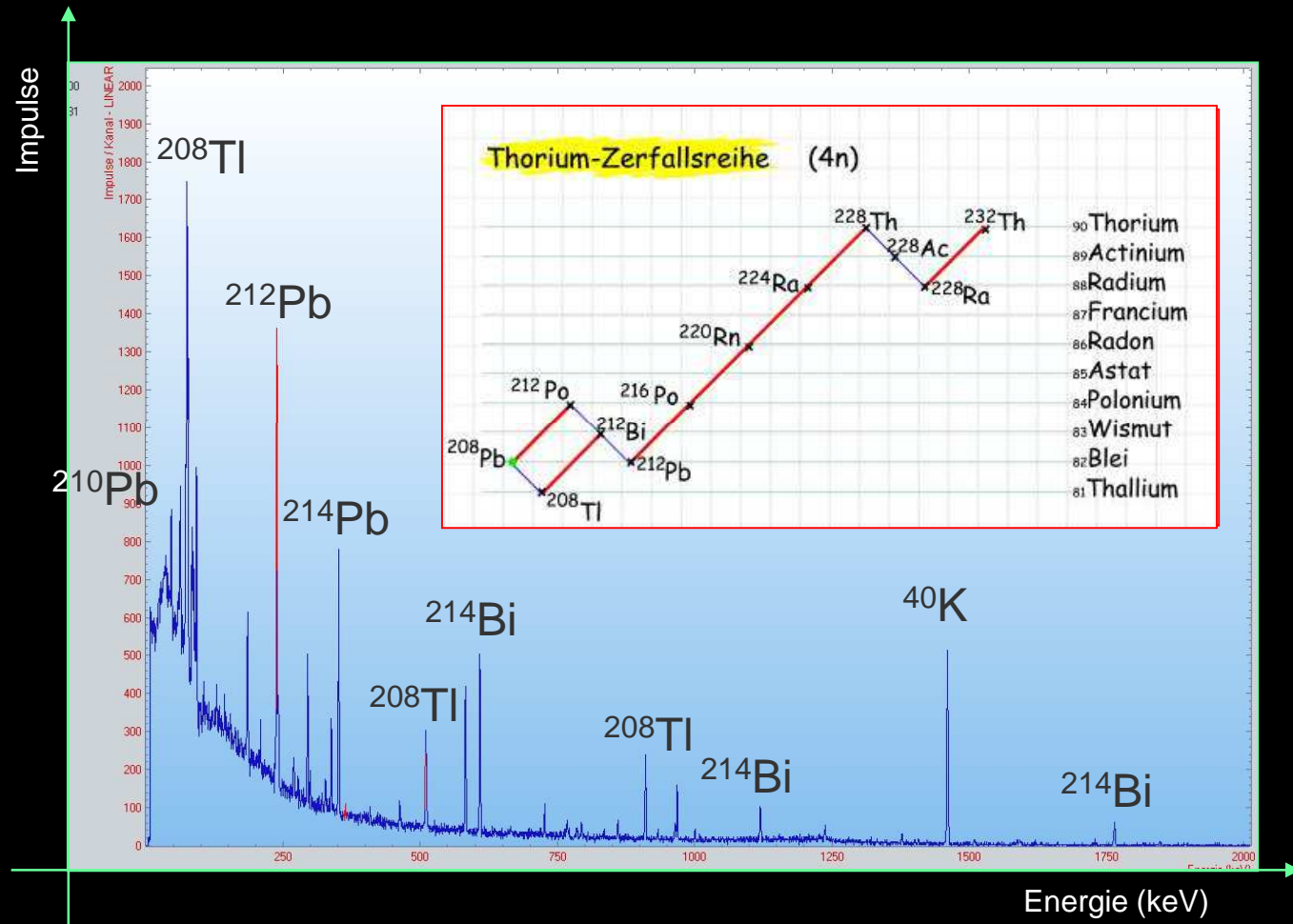
# Ein „Experiment“



# Ein „Experiment“



# Ein „Experiment“

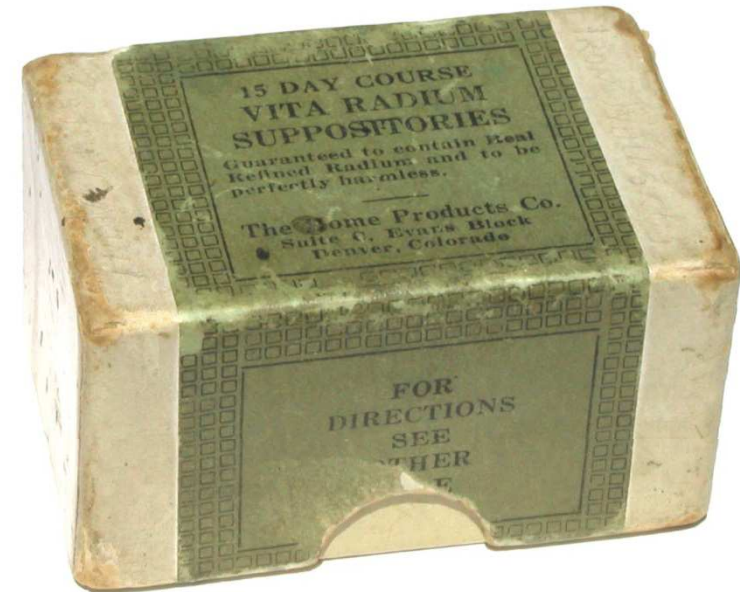
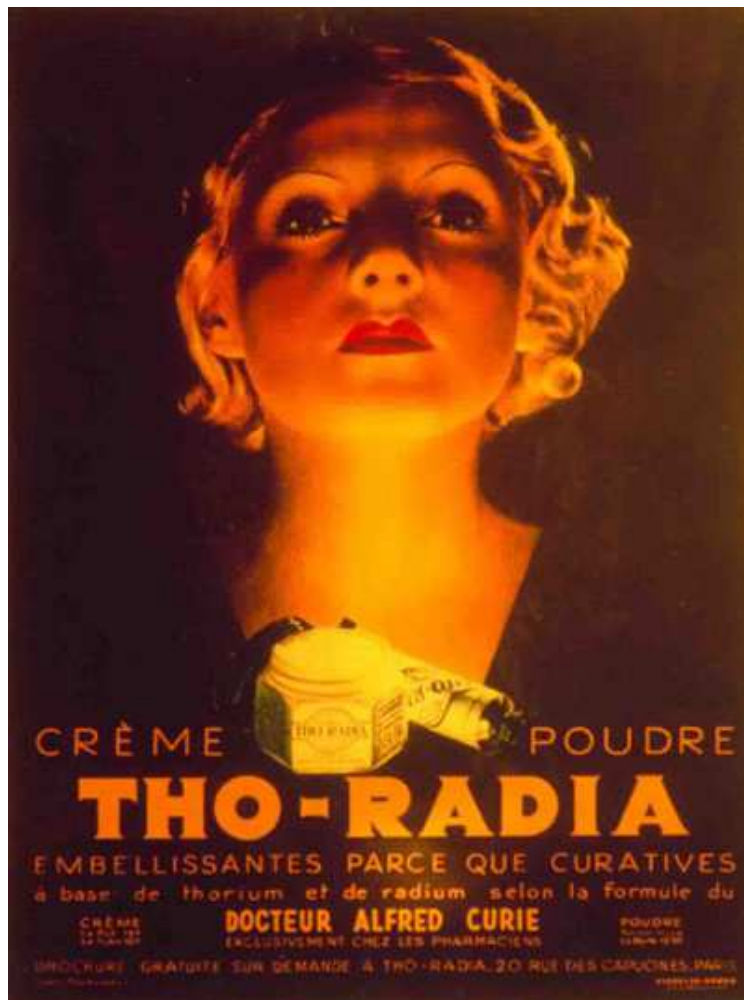


# “Radiumanwendungen” bis 1932





# “Radiumanwendungen” bis 1932



**VITA RADIUM SUPPOSITORIES**  
FOR RESTORING SEX POWER



Actual Size  
of Vita Radium

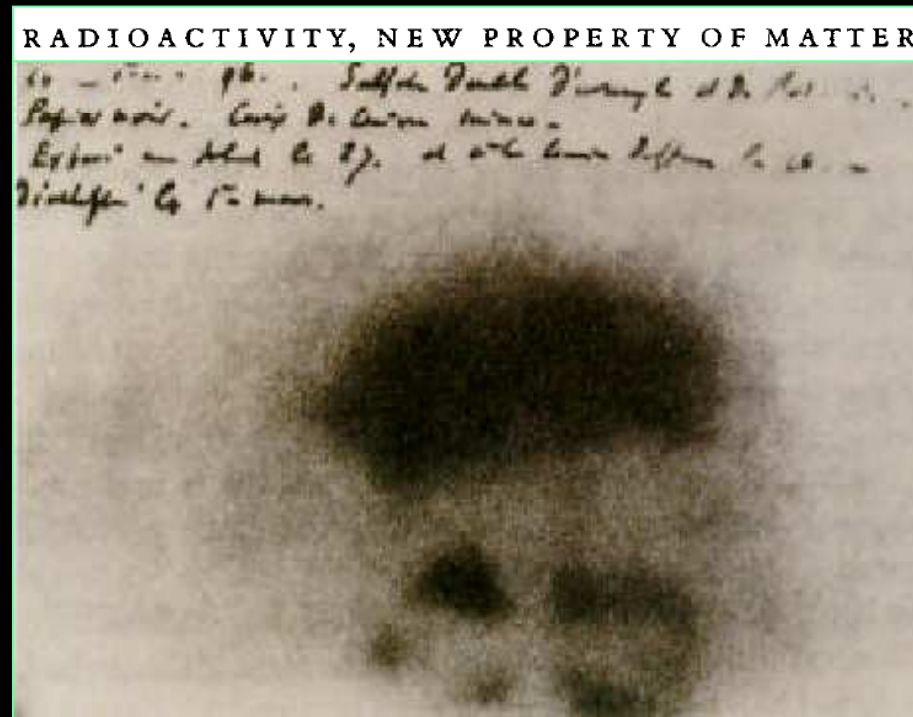
VITA RADIUM SUPPOSITORIES, for rectal use by men, are tone restorers of sex and energizers for the entire nervous, glandular and circulatory systems. These Suppositories contain a result-producing amount of highly refined soluble RADIUM, carried in a cocoa butter base. The radium is absorbed thru the walls of the lower colon, enters the blood stream and is carried to all parts of the body—to the weakened organs that need its vitalizing aid. After leaving its durably HEALTHY RESULTS, the radium is gradually eliminated in about three days. Vita Radium Suppositories are guaranteed entirely harmless. Recommended for sexually weak men who, however, should use the NU-MAN Tablets in connection for best results. Also splendid for piles and rectal sores. Try them and see what good results you get!



## 1896 – A.-Henri Becquerel entdeckt Radioaktivität

## Entdeckung der Radioaktivität in Uranerz

Spätere Aktivitätseinheit: Bq  
Nobelpreis der Physik 1903



# Grundidee der Radioindikatoren

1923 – Georg Karl von Hevesy: Verteilung von  
radioaktivem Blei  $^{212}\text{Pb}$  in der Ackerbohne

Radiotracer-Prinzip

Nobelpreis der Chemie 1943

## LIII. THE ABSORPTION AND TRANSLOCATION OF LEAD BY PLANTS.

A CONTRIBUTION TO THE APPLICATION OF THE  
METHOD OF RADIOACTIVE INDICATORS IN THE  
INVESTIGATION OF THE CHANGE OF SUBSTANCE  
IN PLANTS.

BY GEORGE HEVESY.

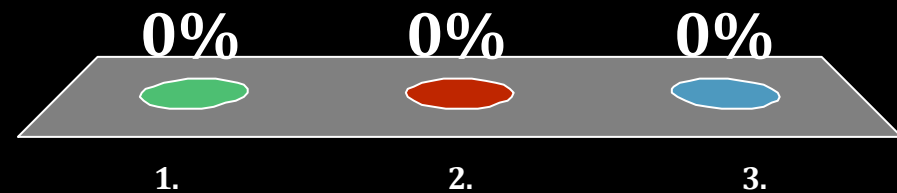
*From the Institute of Plant Physiology of the Agricultural High School,  
and Institute of Theoretical Physics of the University, Copenhagen.*

*(Received May 4th, 1923.)*

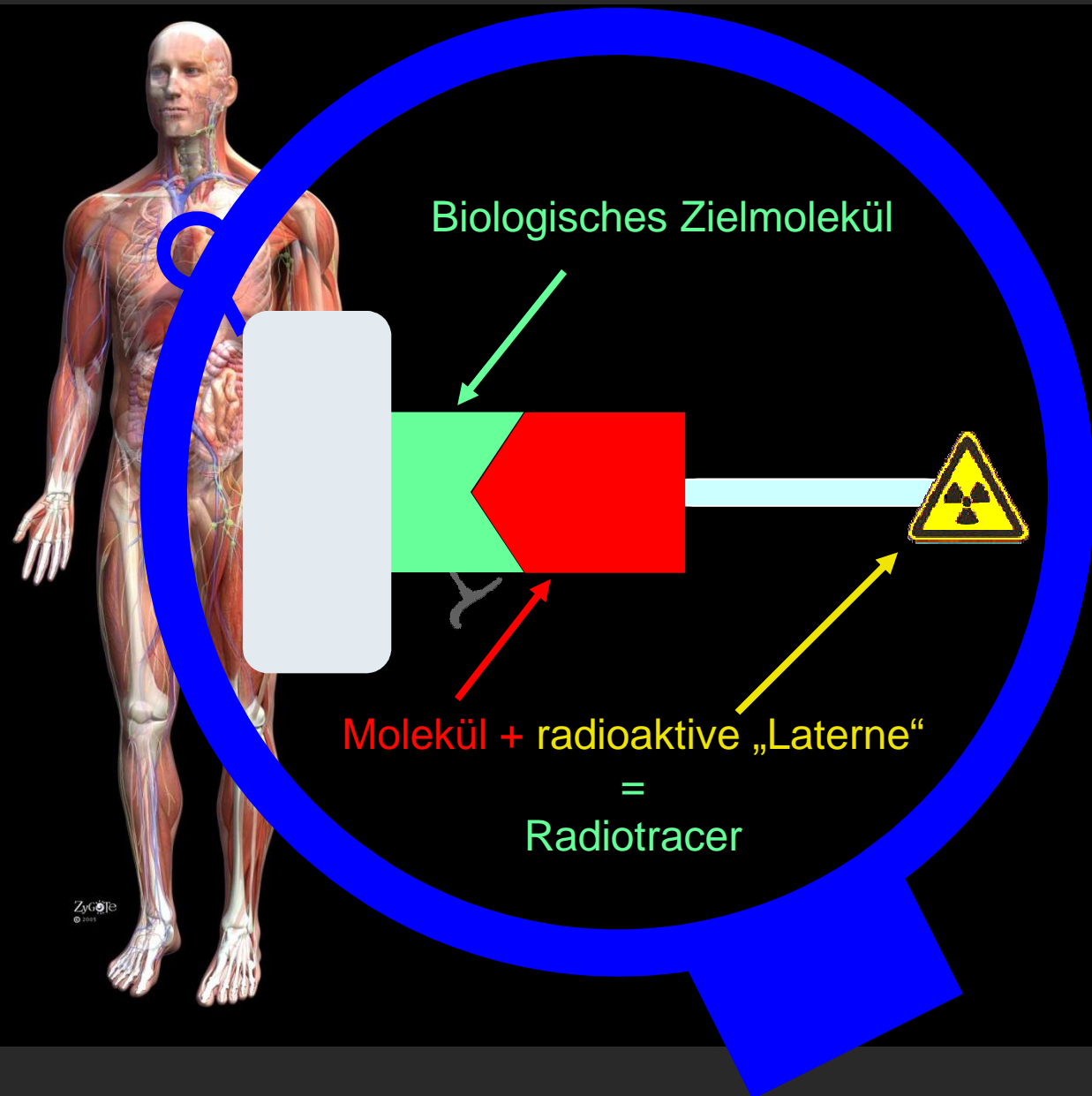


# Wie kann man radioaktive Stoffe in der Nuklearmedizin einsetzen?

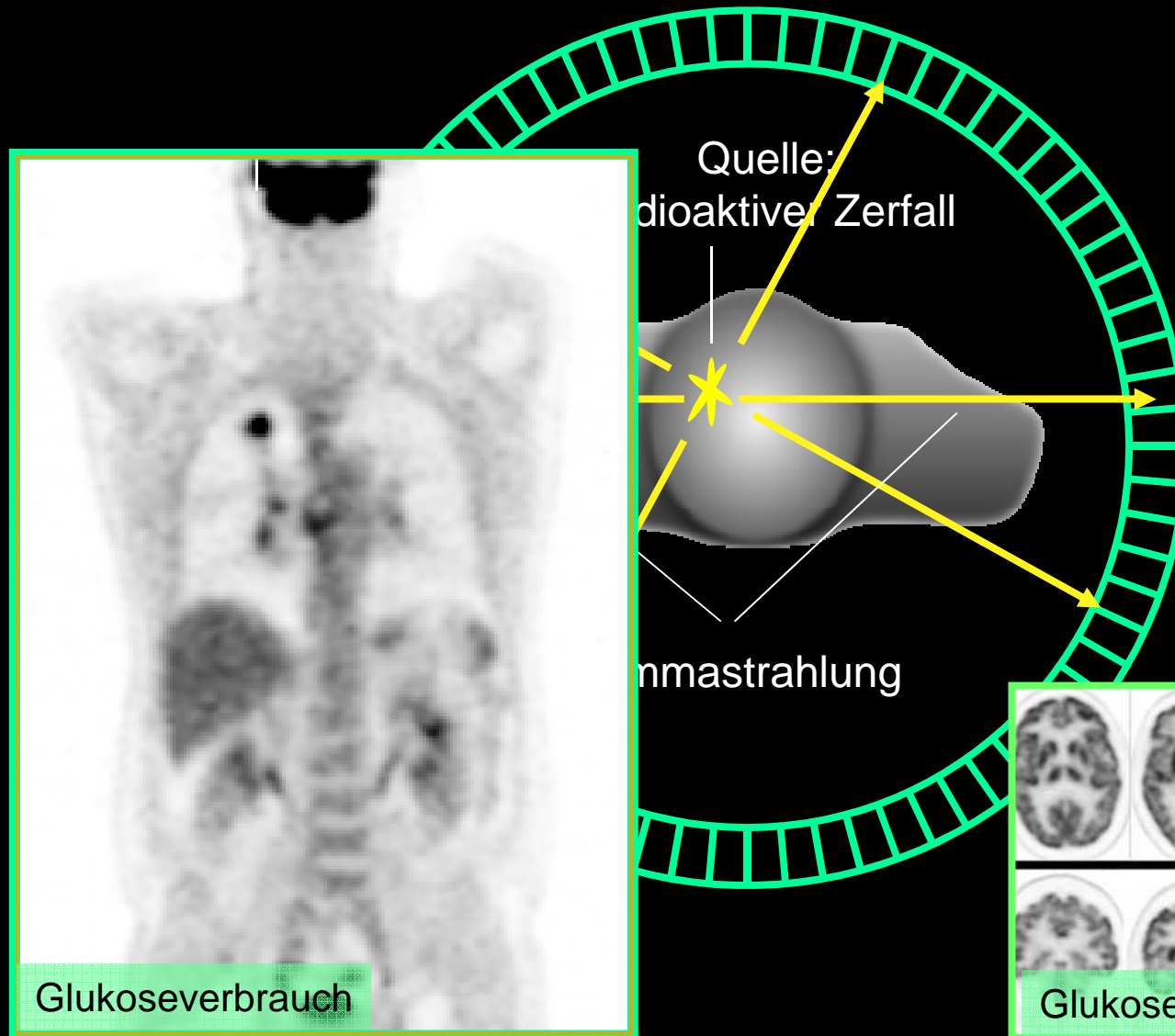
1. **Gamma-Strahler** eignen sich gut für die **Diagnostik**, da Gamma-Strahlung wenig vom Gewebe absorbiert wird
2. **Beta-Strahler** eignen sich gut für die **Therapie**, da sie lokal Tumor-Gewebe zerstören können
3. **Positronenstrahler** werden als Partikelstrahler für die **Therapie** eingesetzt



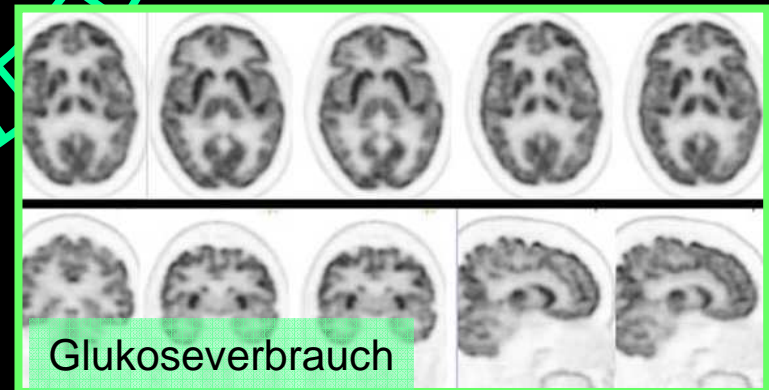
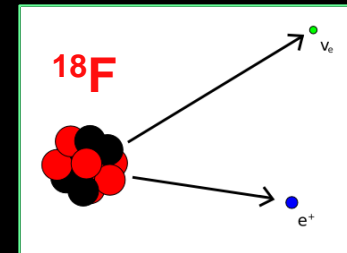
# Prinzip der Tracer-Bildgebung



# Prinzip der PET

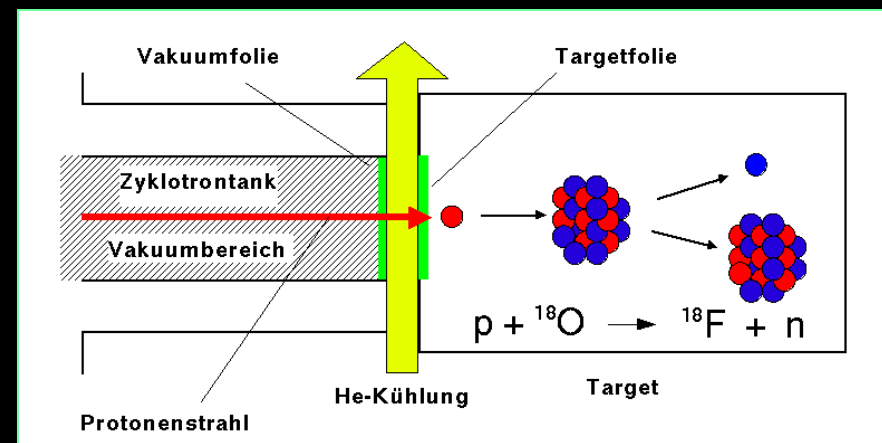
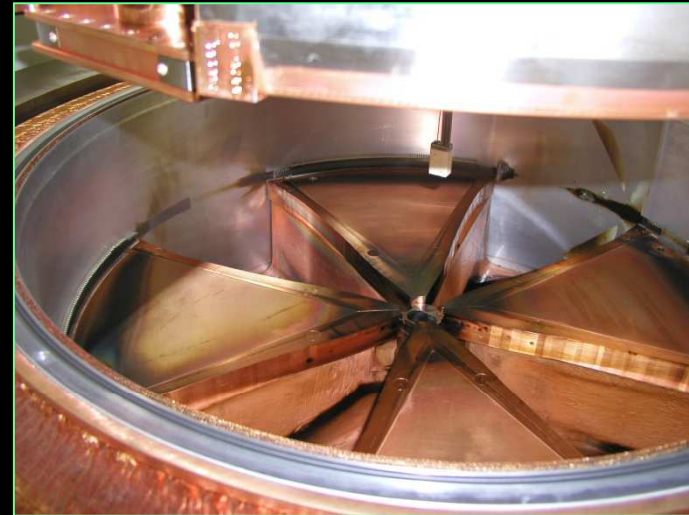
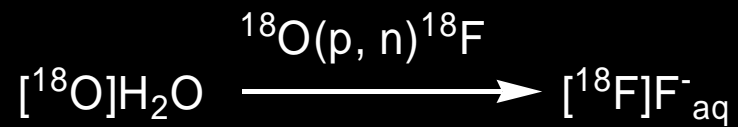


Radioaktives Isotop



# Produktion des Radionuklids

Rezeptur für die Radionuklidproduktion

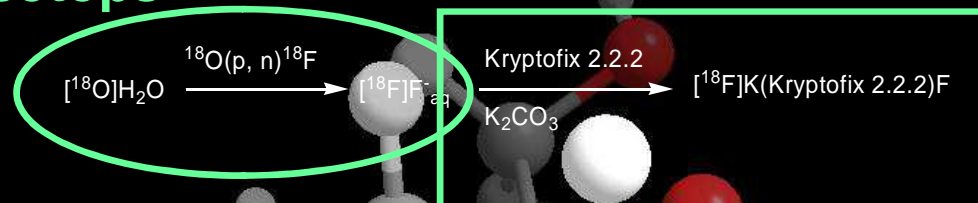


# Radiopharmazeutische Chemie

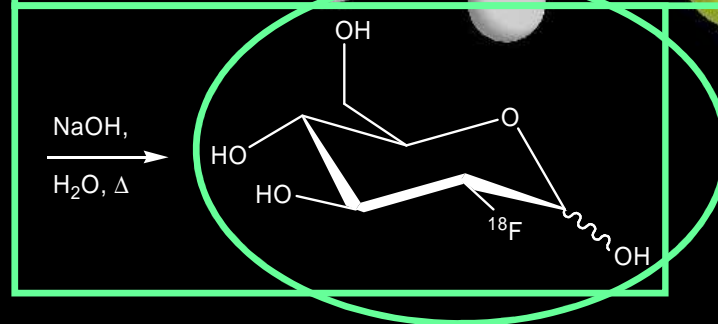
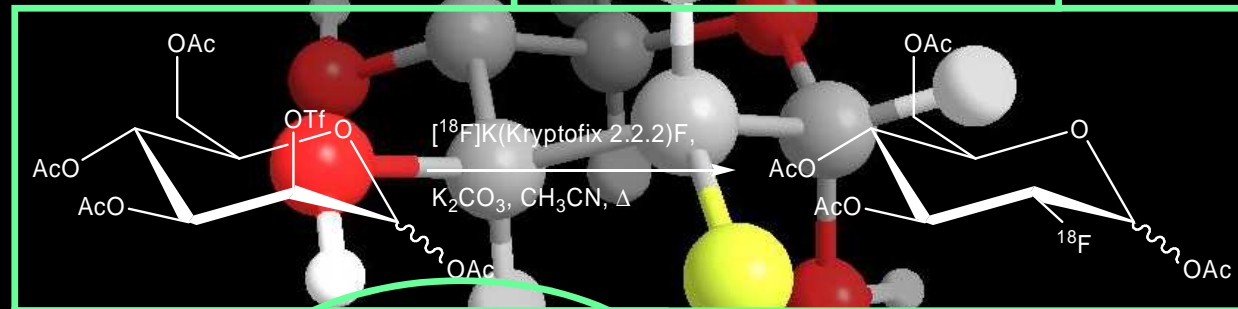
## „Markierter Traubenzucker“

### $^{18}\text{F}$ -FDG

#### Produktion des radioaktiven Isotops



#### Radiosynthese



#### Qualitätskontrolle

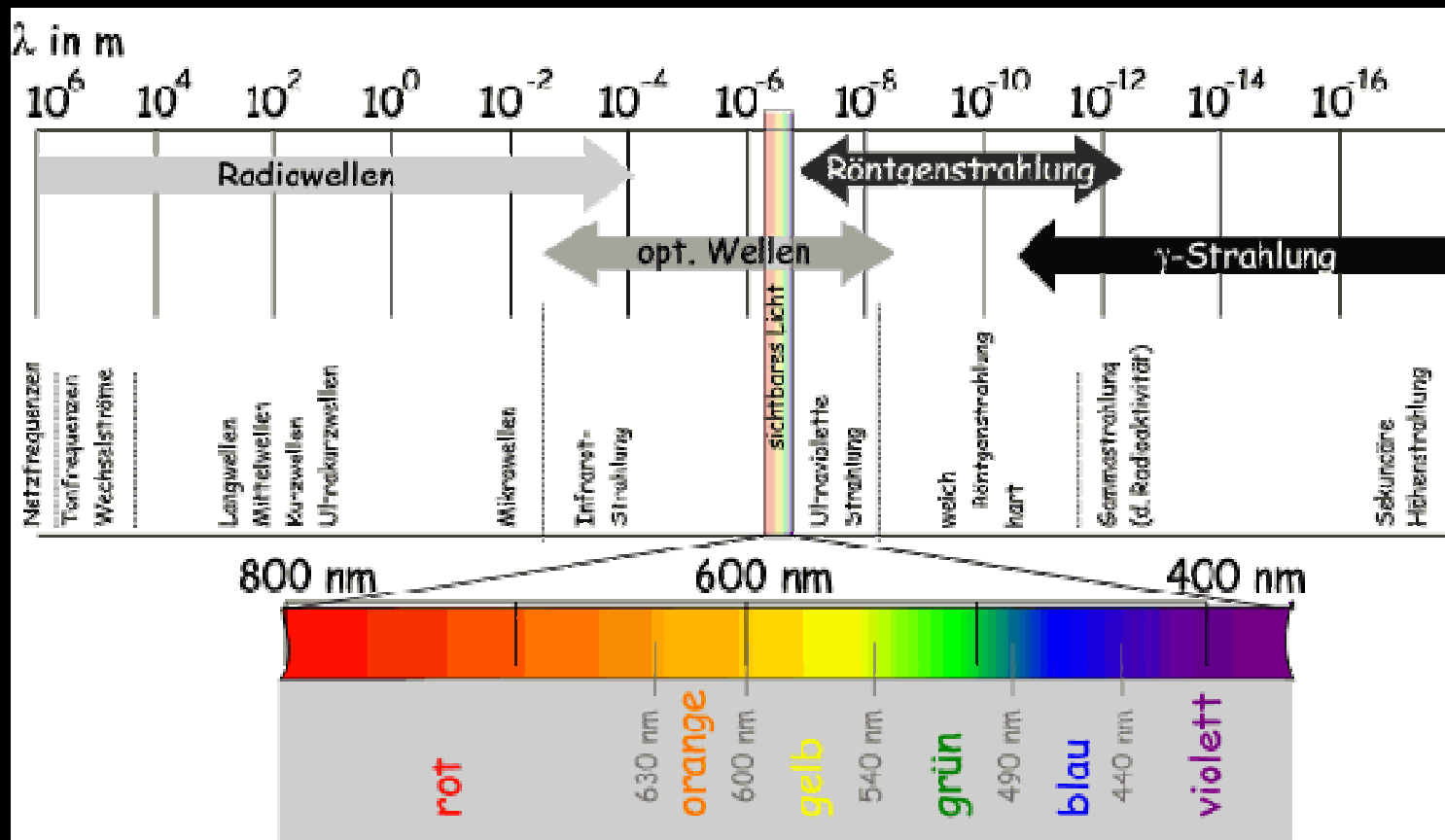


Energie kann von verschiedenen Strahlenarten auf das Gewebe übertragen werden:

- Elektromagnetische Strahlung
  - Röntgenstrahlung
  - Gammastrahlung
- Teilchenstrahlung
  - Alpha, Beta

# Elektromagnetische Strahlung

- **Spektrum**



# Beispiel: Teilchen- vs. Gammastrahlung

$^{131}\text{I}$   $T_{1/2} = 8 \text{ Tage}$

$\beta^-$  Teilchenstrahlung



Therapie

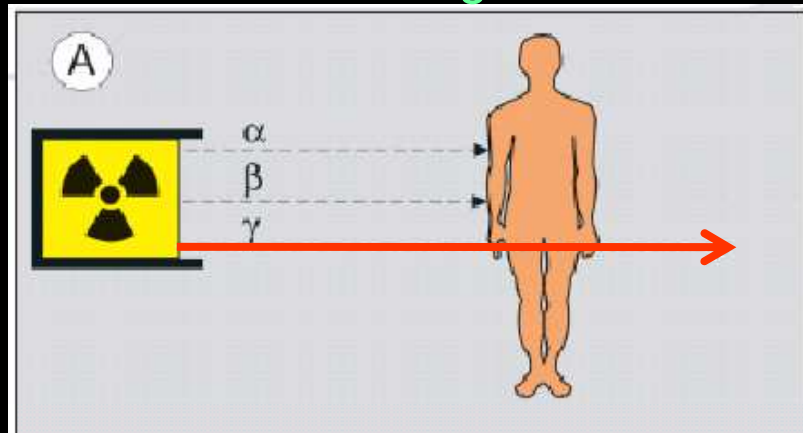
$\gamma$  Gammastrahlung

Bildgebung

$^{131}\text{Xe}$

# Äußere vs. innere Bestrahlung

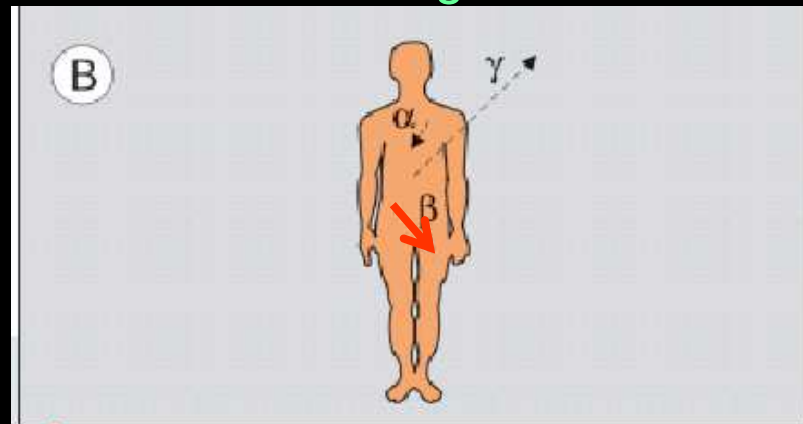
## Äußere Bestrahlung



## Fukushima (Bevölkerung)

- Beta-/Gamma-Strahler:  $^{137}\text{Cs}$  /  $^{131}\text{I}$
- Effektive Dosis durch Gamma-Anteile

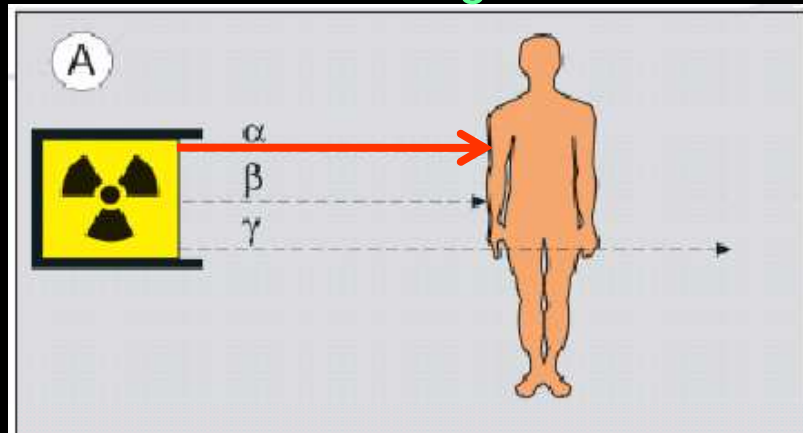
## Innere Bestrahlung



- Beta-/Gamma-Strahler:  $^{137}\text{Cs}$  /  $^{131}\text{I}$
- Effektive Dosis durch Beta- und Gammastrahlung

# Äußere vs. innere Bestrahlung

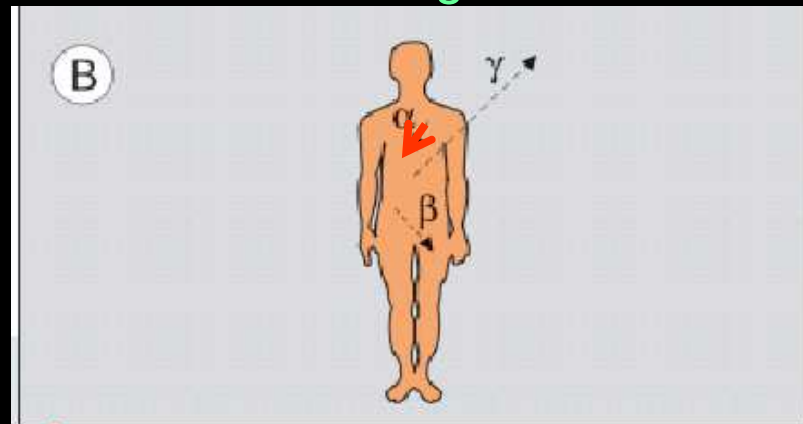
## Äußere Bestrahlung



### Arzt, Täter

- Alpha-Strahler:  $^{210}\text{Po}$
- Abschirmung durch äußere Hautschichten
- Nahezu keine effektive Dosis

## Innere Bestrahlung

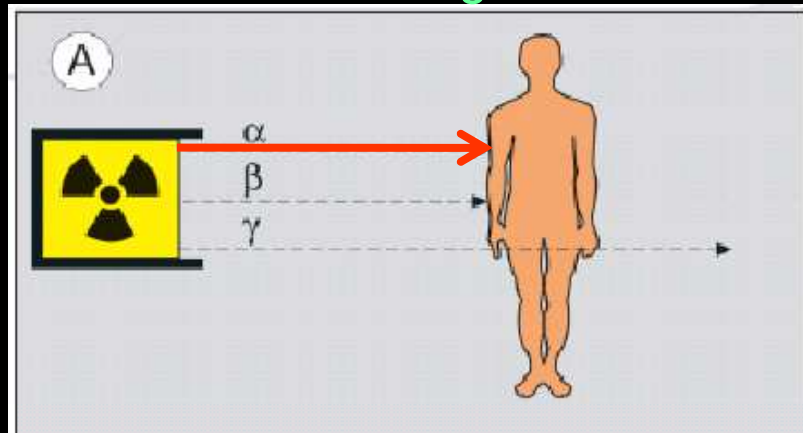


### Alexander Litwinenko

- Alpha-Strahler:  $^{210}\text{Po}$ , 15 MBq, 0.1  $\mu\text{g}$
- Leberversagen, 40 Sv
- Knochenmark, 15 Sv, Todesursache nach 25 Tagen

# Äußere vs. innere Bestrahlung

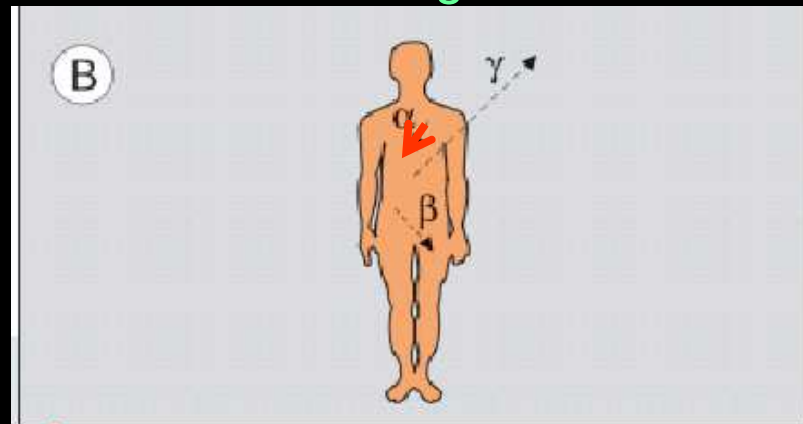
## Äußere Bestrahlung



## Mitarbeiter Urenco

- Alpha-Strahler:  $^{238}\text{U}$
- Abschirmung durch äußere Hautschichten
- Nahezu keine effektive Dosis

## Innere Bestrahlung



- Alpha-Strahler:  $^{238}\text{U}$
- Effektive Dosis ca. 1 mSv
- Keine Schädigung nachweisbar
- Akute Schädigung durch Uranhexafluorid möglich (Lungenödem)

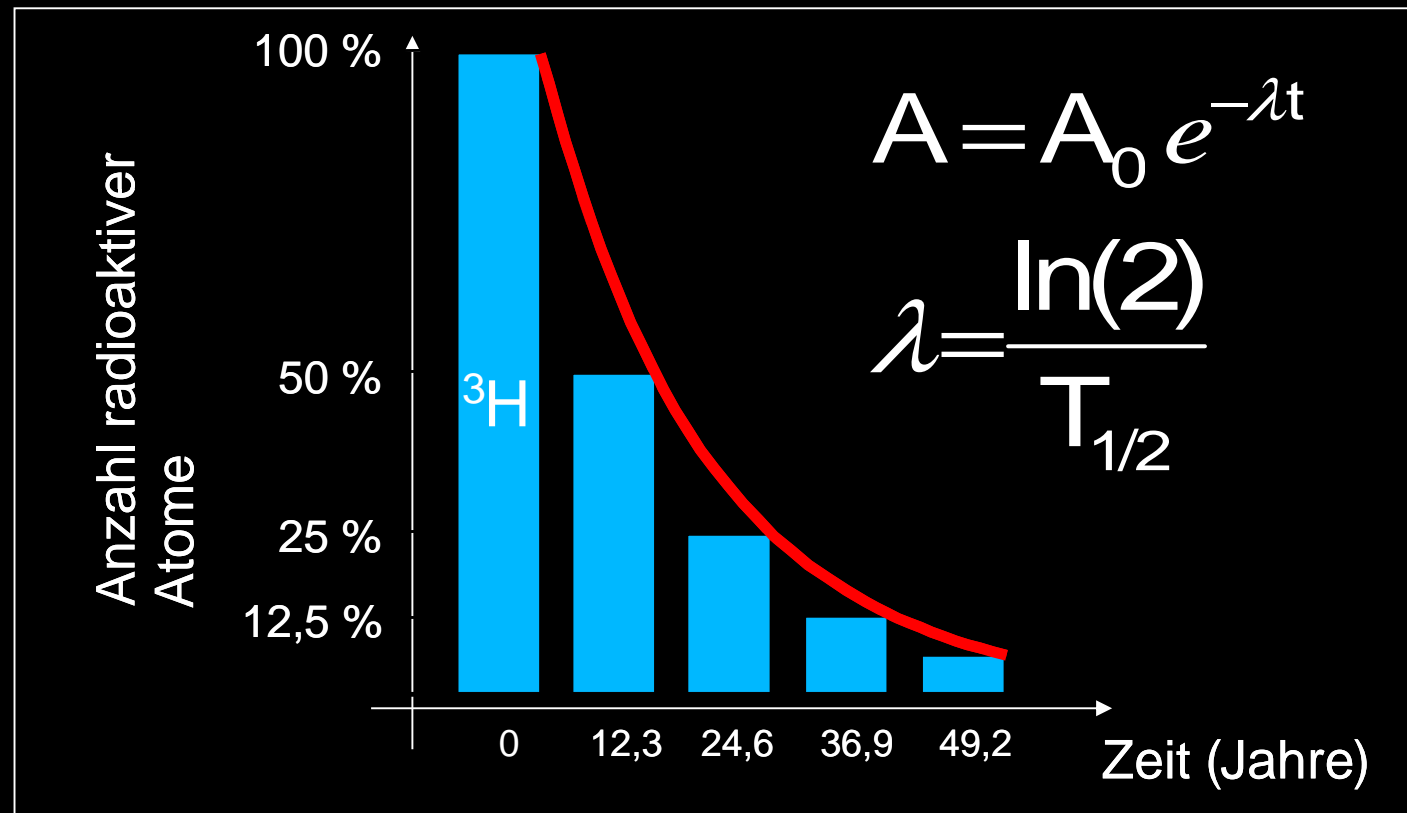
**Frage:**  
**Wie schädlich ist Strahlung eigentlich?**



# Zerfallsgesetz

- Beispiel: Tritium ( $^3\text{H}$ )
- Physikalische Halbwertzeit:
- $T_{1/2} = 12,3$  Jahre

Einsatz in der  
Grundlagenforschung



# Halbwertszeiten

- physikalische Halbwertszeit
- biologische Halbwertszeit
  - Ausscheiden der Substanzen
- effektive Halbwertszeit
  - phys. und biol. Halbwertszeit

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{phys}} + \frac{1}{T_{biol}}$$

Polonium-210:

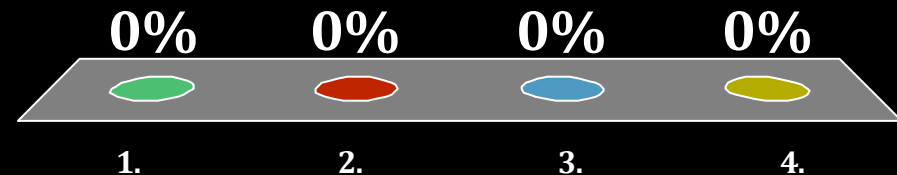
$$\begin{aligned} T_{eff} &= \frac{138 \cdot 50}{138 + 50} \text{ Tage} \\ &= 37 \text{ Tage} \end{aligned}$$

# Beispiel: Halbwertszeiten

• O-15	2 Minuten	}	<b>PET</b>
• F-18	2 Stunden		
• Tc-99m	6 Stunden	}	<b>SPECT</b>
• I-131	8 Tage		
• Co-60	5,4 Jahre		
• Cs-137	30 Jahre	}	<b>Strahlentherapie</b>
• Ra-226	1600 Jahre		
• U-238	4,5 Mrd. Jahre		

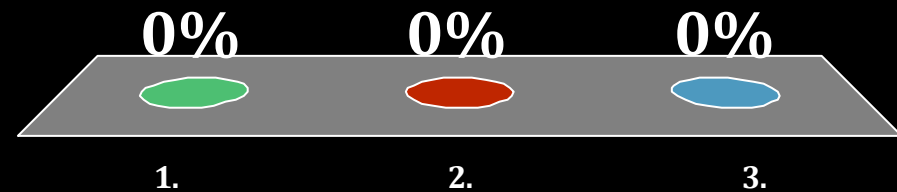
# Welcher Gefahr hat sich der Mörder im Fall Litwinenko ausgesetzt ?

1. Alpha-Strahler sind generell **ungefährlich**
2. Eine **Kontamination** mit Po-210 ist extrem **gefährlich**
3. Eine **Inkorporation** mit Po-210 ist extrem **gefährlich**
4. Po-210 wurde erst in der Pine-Bar **aktiviert**



# Welche Gefahren gehen von den genannten Isotopen aus?

1. **U-238** ist durch seine **lange Halbwertszeit** nahezu stabil und daher **ungefährlich**
2. **I-131** wird selektiv von der **Schilddrüse** aufgenommen und ist deshalb **gefährlich**
3. **Cs-137** ist ein reiner Beta-Strahler und deshalb von "außen" **ungefährlich**



## Wie schädlich ist Strahlung eigentlich?

**Es kommt darauf an ...**

- Dosis (Energie, Art, Abstand, Zeit, ...)

**Minimierungsgebot (ALARA)**

- Internationale und nationale Gesetze

...Ende



... Homepage der Nuklearmedizin  
[www.nuklearmedizin.uni-muenster.de](http://www.nuklearmedizin.uni-muenster.de)  
Reiter „Lehre“