

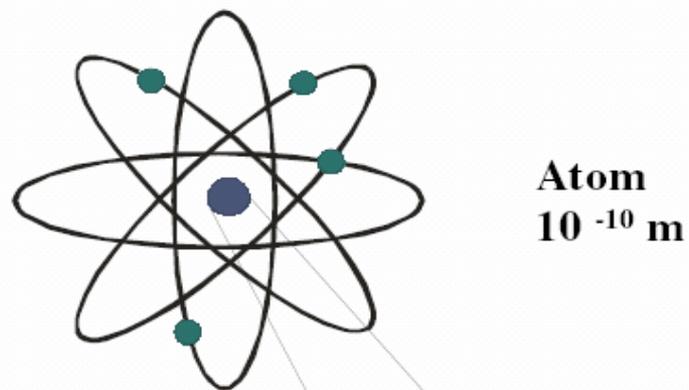
Physikalische Grundlagen ionisierender Strahlung



Bernd Kopka, Labor für Radioisotope an der Universität Göttingen

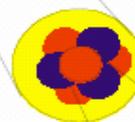
www.radioisotope.de

Größenverhältnisse im Atom



Atom
 10^{-10} m

Atomkern
 10^{-14} m



Proton
 10^{-15} m



Quark



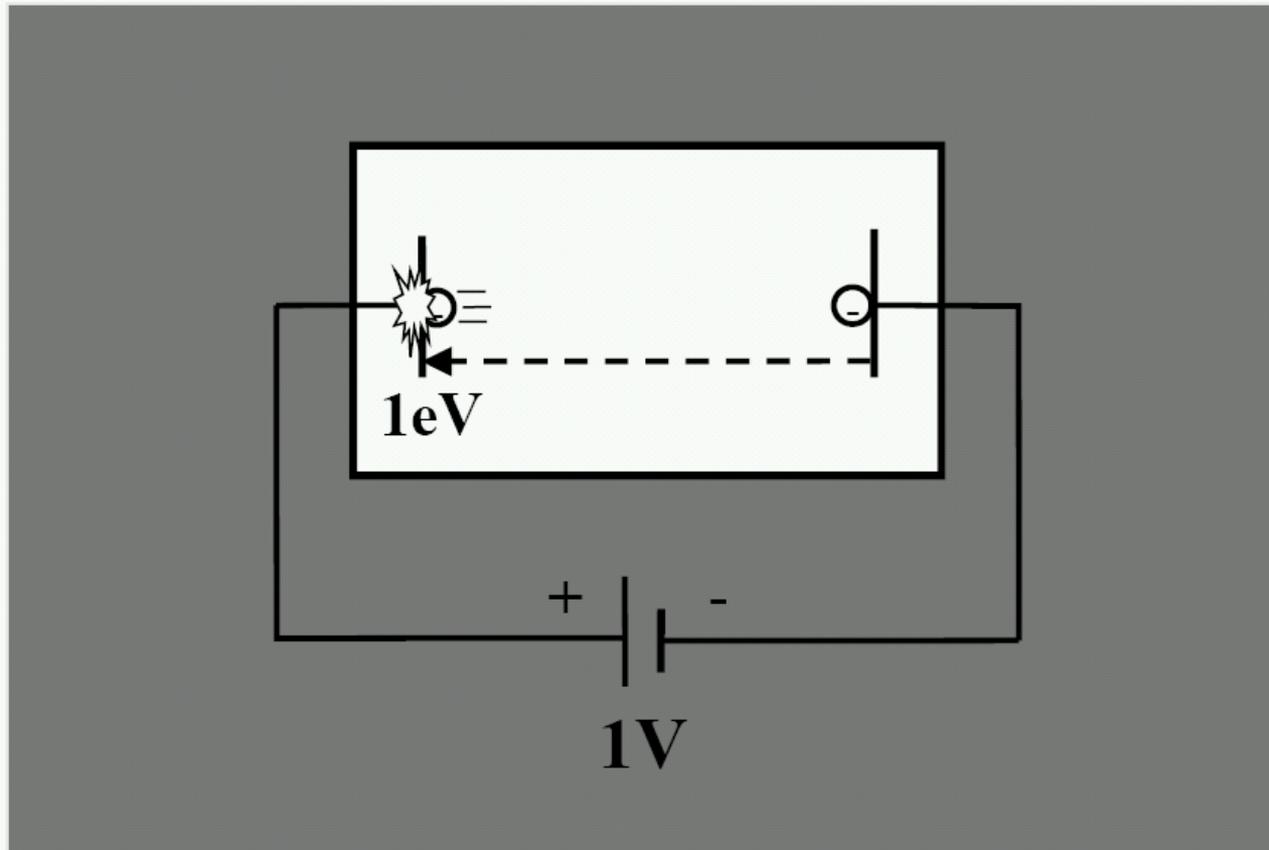
Kräfte, die auf den Atomkern wirken

Grundkraft	Austauschteilchen	relative Stärke	Reichweite (m)
Gravitation	Graviton? (postuliert)	10^{-41}	∞
Elektromagnetische Kraft	Photon	10^{-2}	∞
Schwache Kernkraft	W^+	10^{-15}	$< 10^{-15}$
	W^-		
	Z^0		
Starke Kernkraft	Gluon	1	$\approx 10^{-15}$

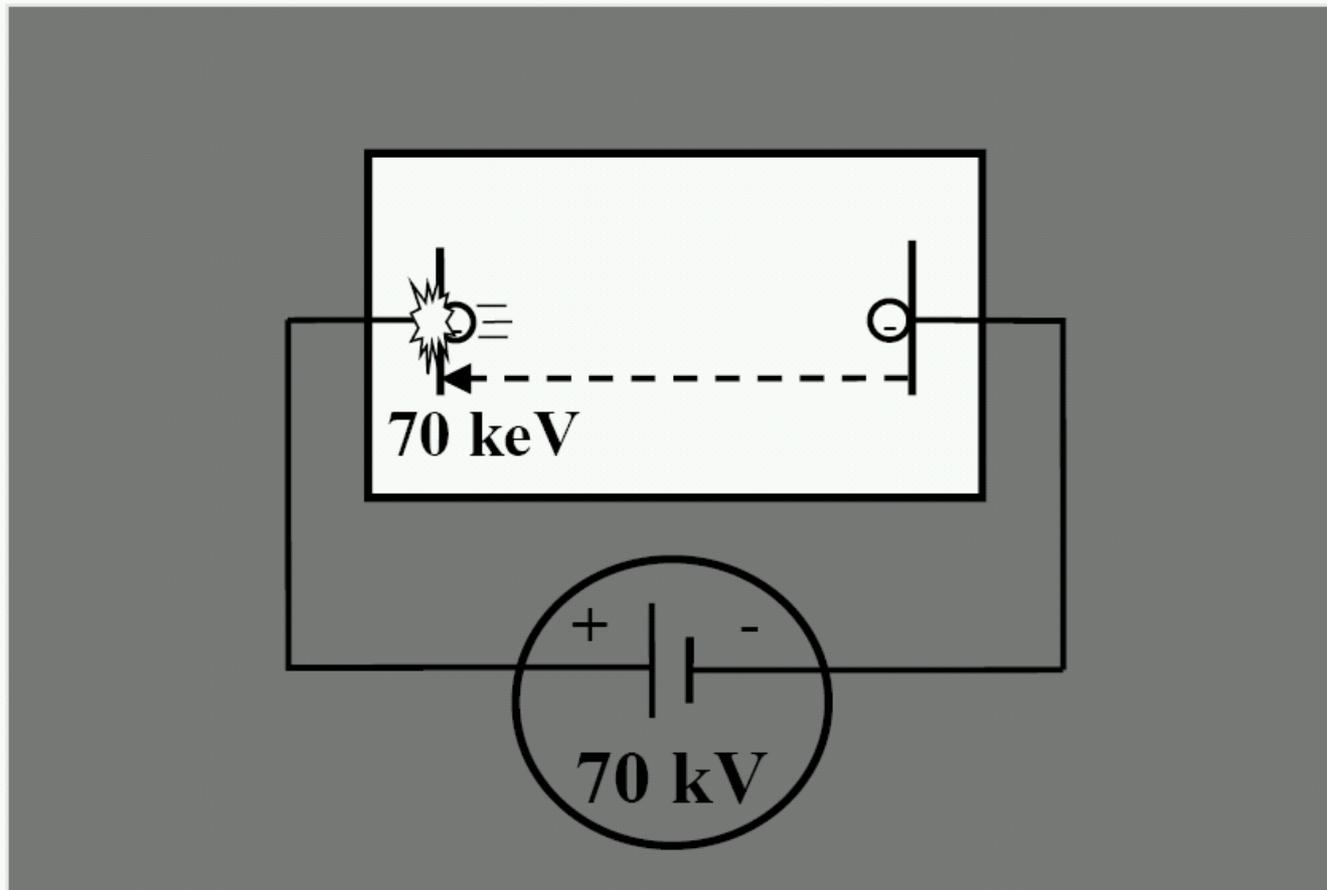
Nomenklatur



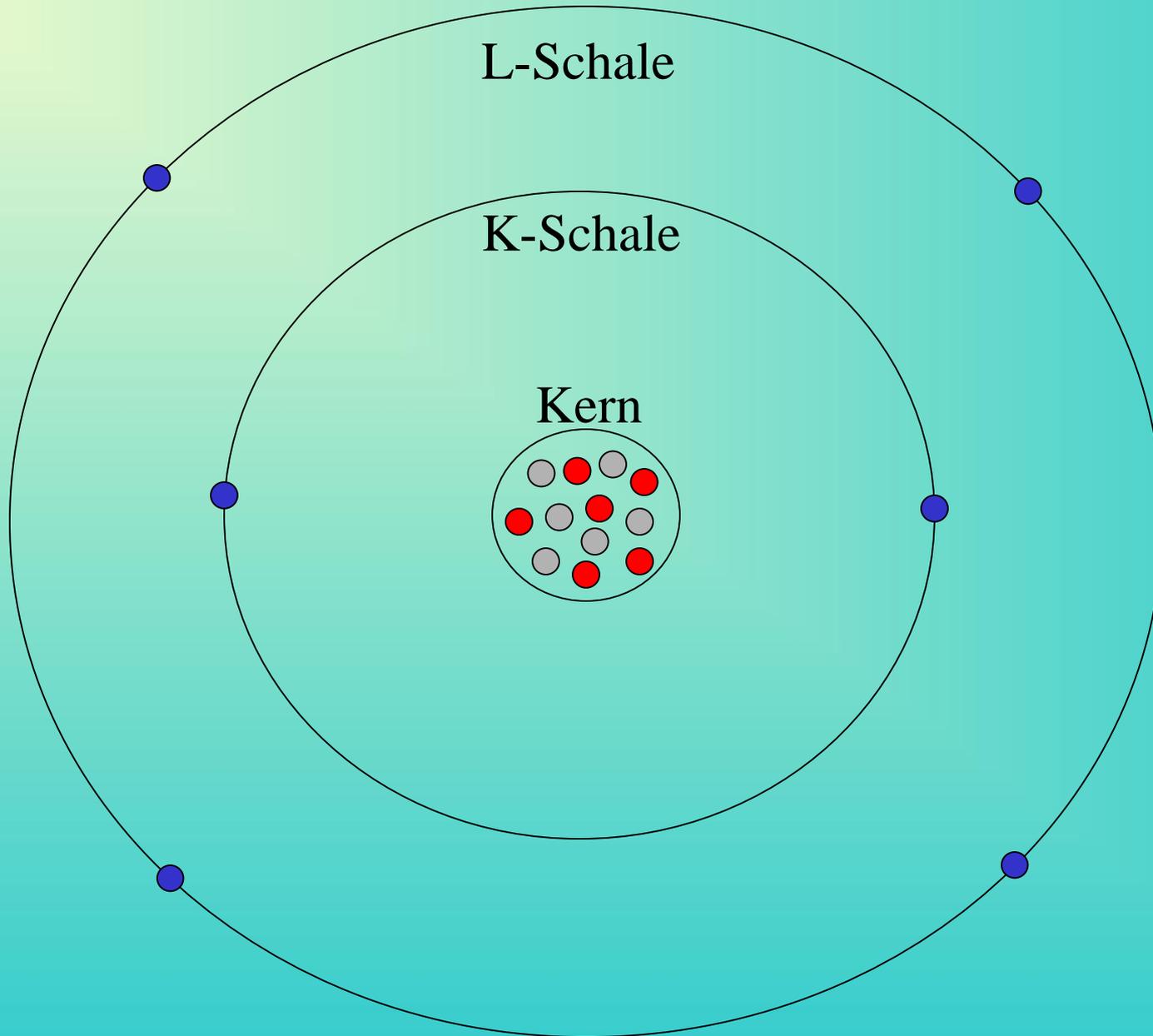
Die Energieeinheit Elektronvolt (eV)



Die Energieeinheit Elektronvolt (eV)

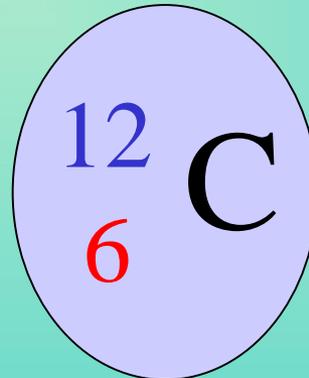


Einfaches Atommodell



Korrekte Schreibweise für ein Isotop

Massenzahl



Elementsymbol

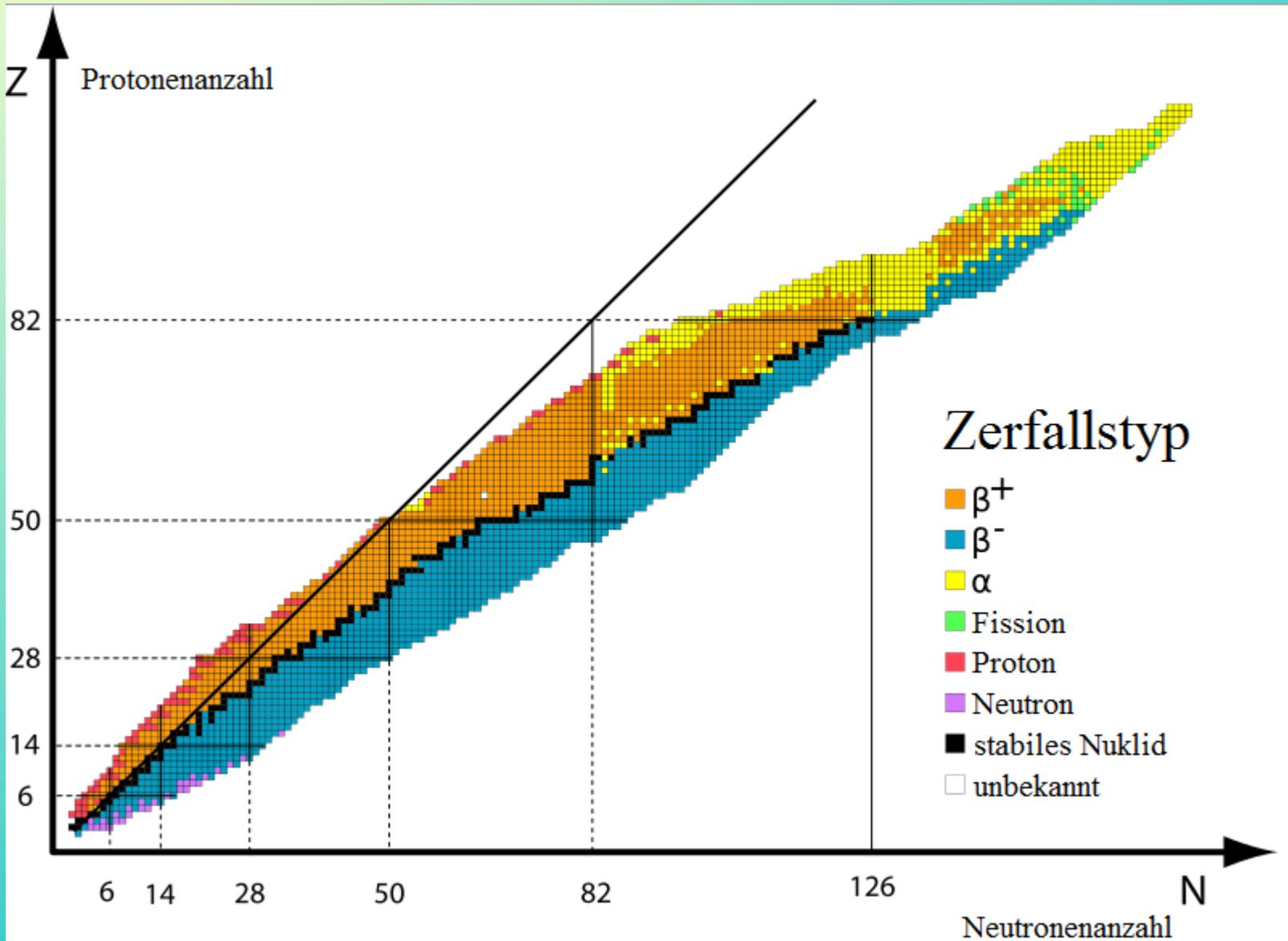
Ladungs- oder
Ordnungszahl

Aktivitätseinheiten

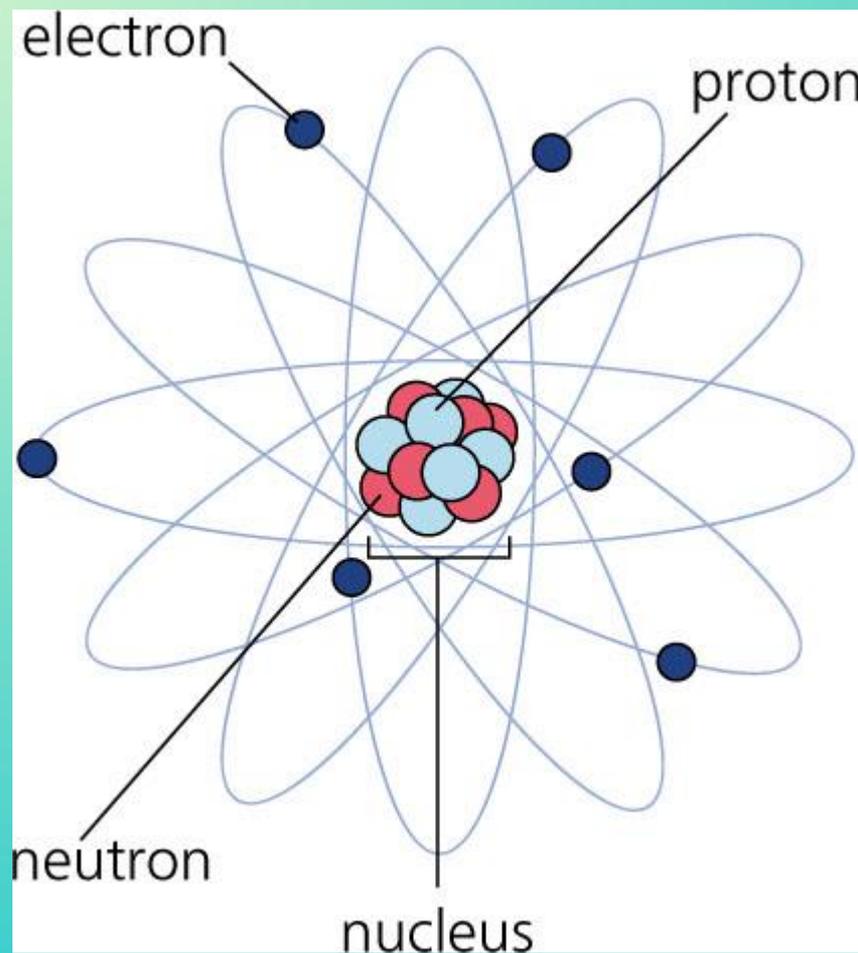
- Beginn der meisten Messungen ist die Zählung von Impulsen. In der Regel werden die Impulse pro Sekunde gezählt
- **(ips = Impulse pro Sekunde).**
- Bei der Flüssigszintillationszählung werden die Impulse pro Minute gezählt
- **(cpm = Impulse pro Minute).**
-
- Gezählte Impulse sagen aber wenig über die vorhandene Aktivität aus. Um diese zu bestimmen, muss der Wirkungsgrad der Messanordnung eingerechnet werden.
- Das Ergebnis ist beim Bezug auf Sekunden das Becquerel
- **(Bq = 1 Zerfall pro Sekunde),** beim Bezug auf Minuten dpm
- **(1 dpm = 1 Zerfall pro Minute)**
-
- Die Umrechnung kann in jede Richtung durch umstellen der Formeln erreicht werden.

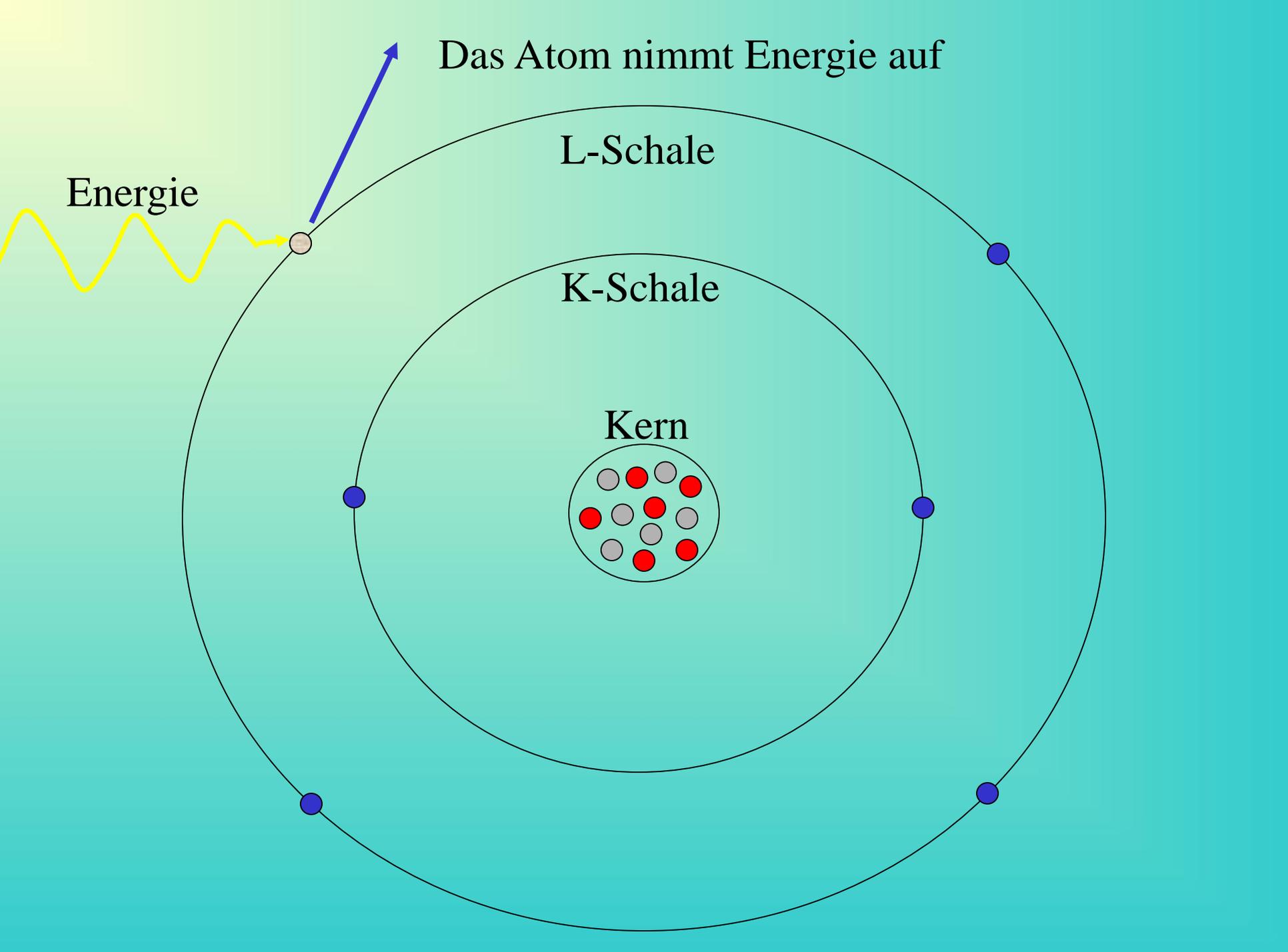
$$\frac{ips}{\eta} = Bq \quad \frac{cpm}{\eta} = dpm$$

N-Z-Diagramm der bekannten Atomkerne (Nuklide). Schwarz sind stabile Atomkerne dargestellt. Oberhalb von $Z = 92$ existieren nur künstlich erzeugte Kerne.



Prozesse in Atomhülle und Atomkern





Das Atom nimmt Energie auf

L-Schale

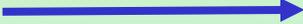
K-Schale

Kern

Energie

Das Atom gibt Energie ab

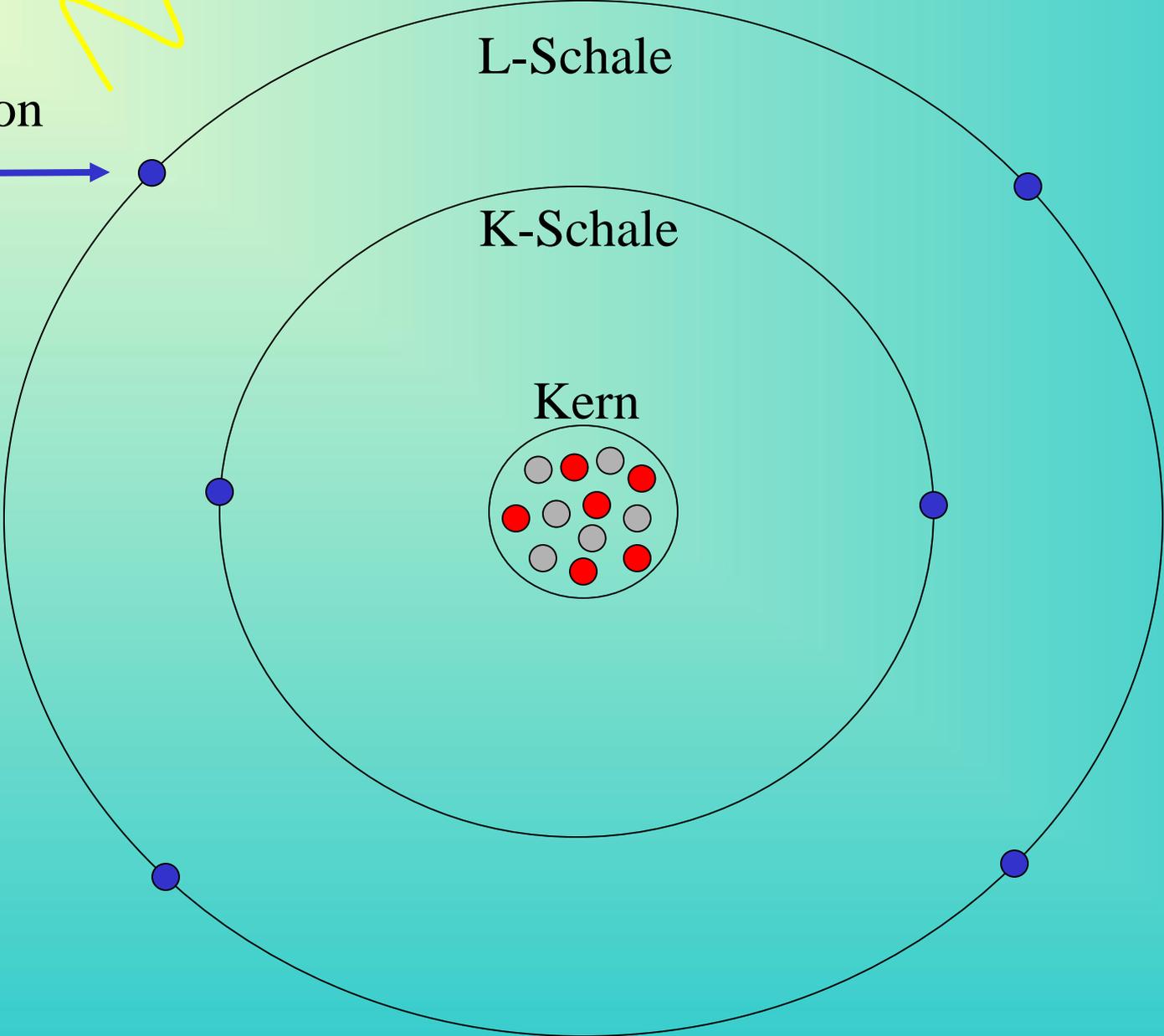
Elektron

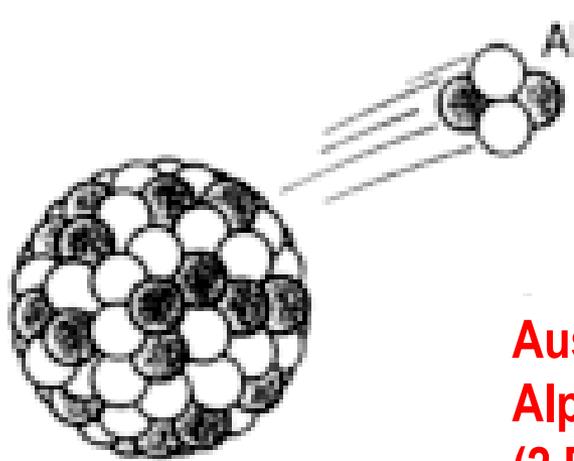


L-Schale

K-Schale

Kern





Alphateilchen

α

Energie
5 – 10 MeV

Alphastrahlung

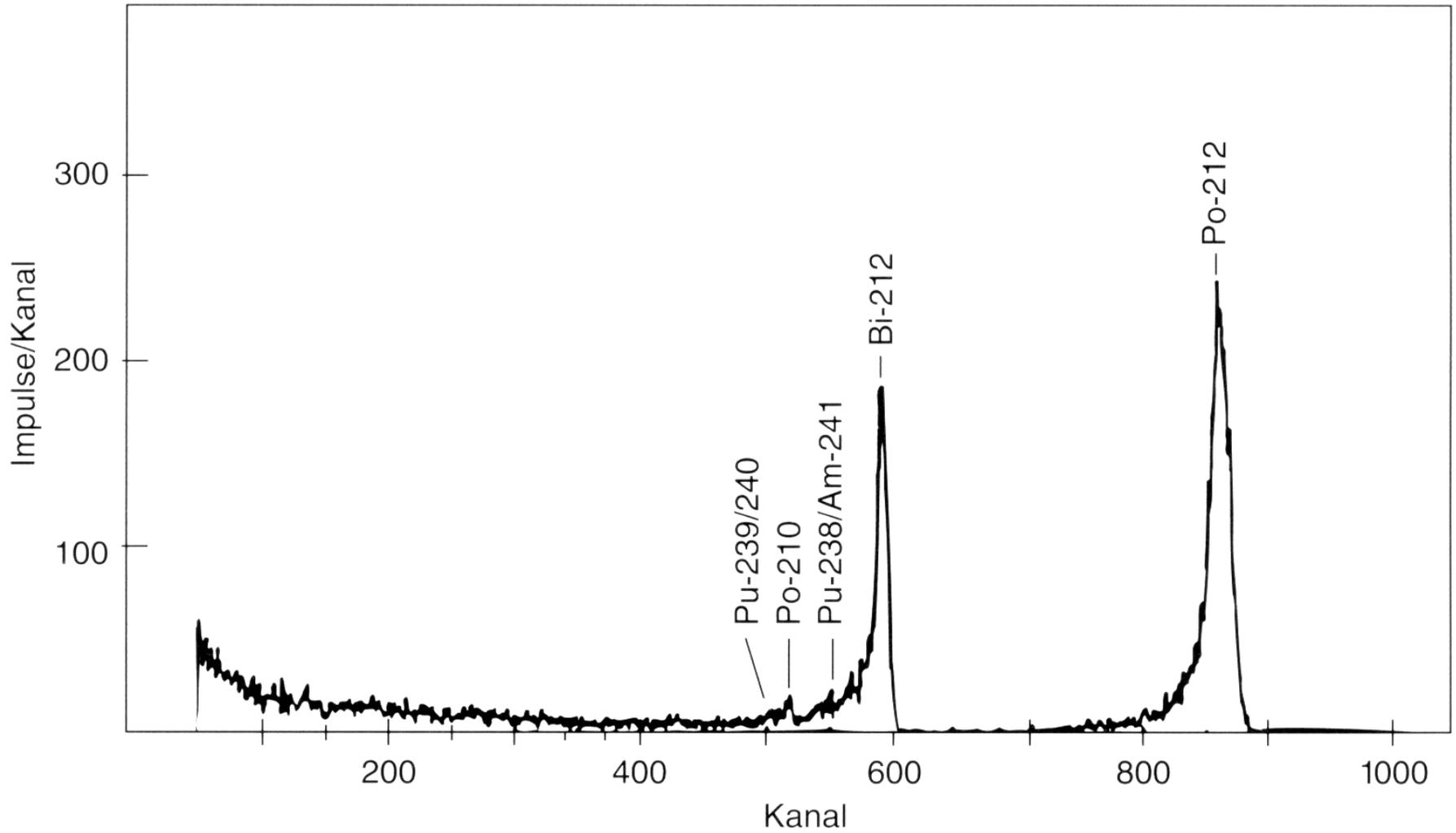
Aussenden von
Alphateilchen (Heliumkernen)
(2 Protonen und 2 Neutronen)

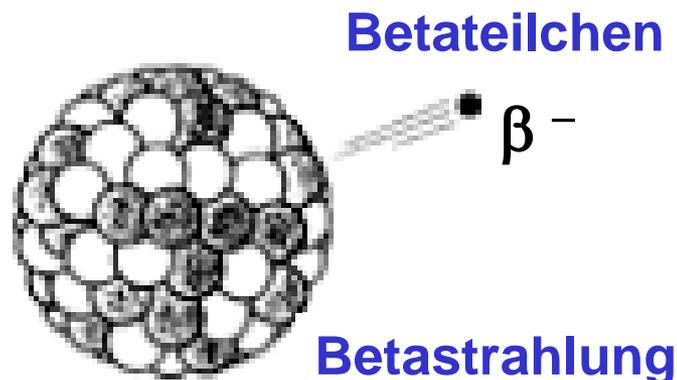
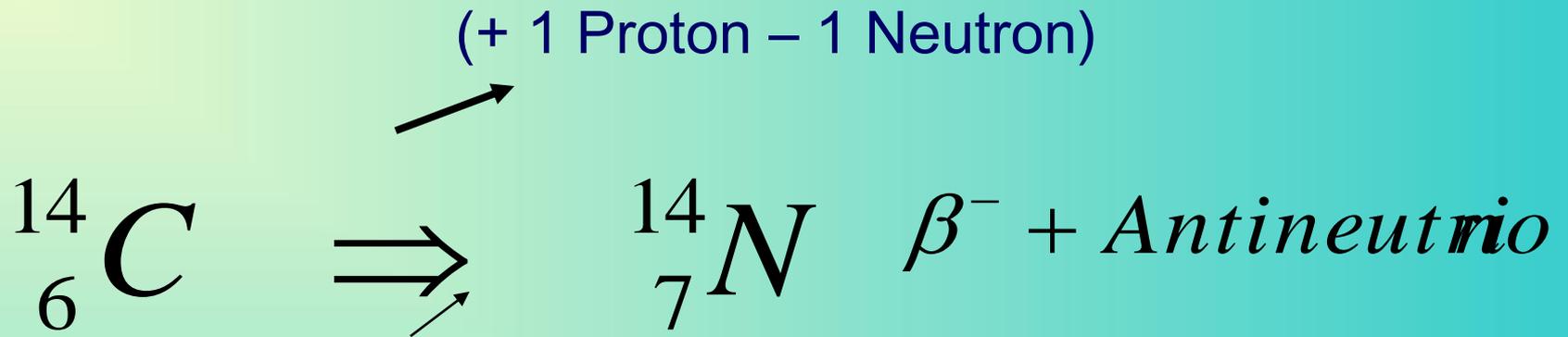
α – Teilchen



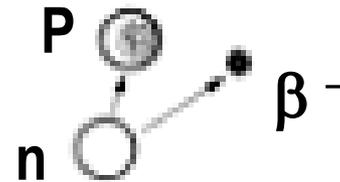
-2 Protonen – 2 Neutronen

Alpha-Spektrum





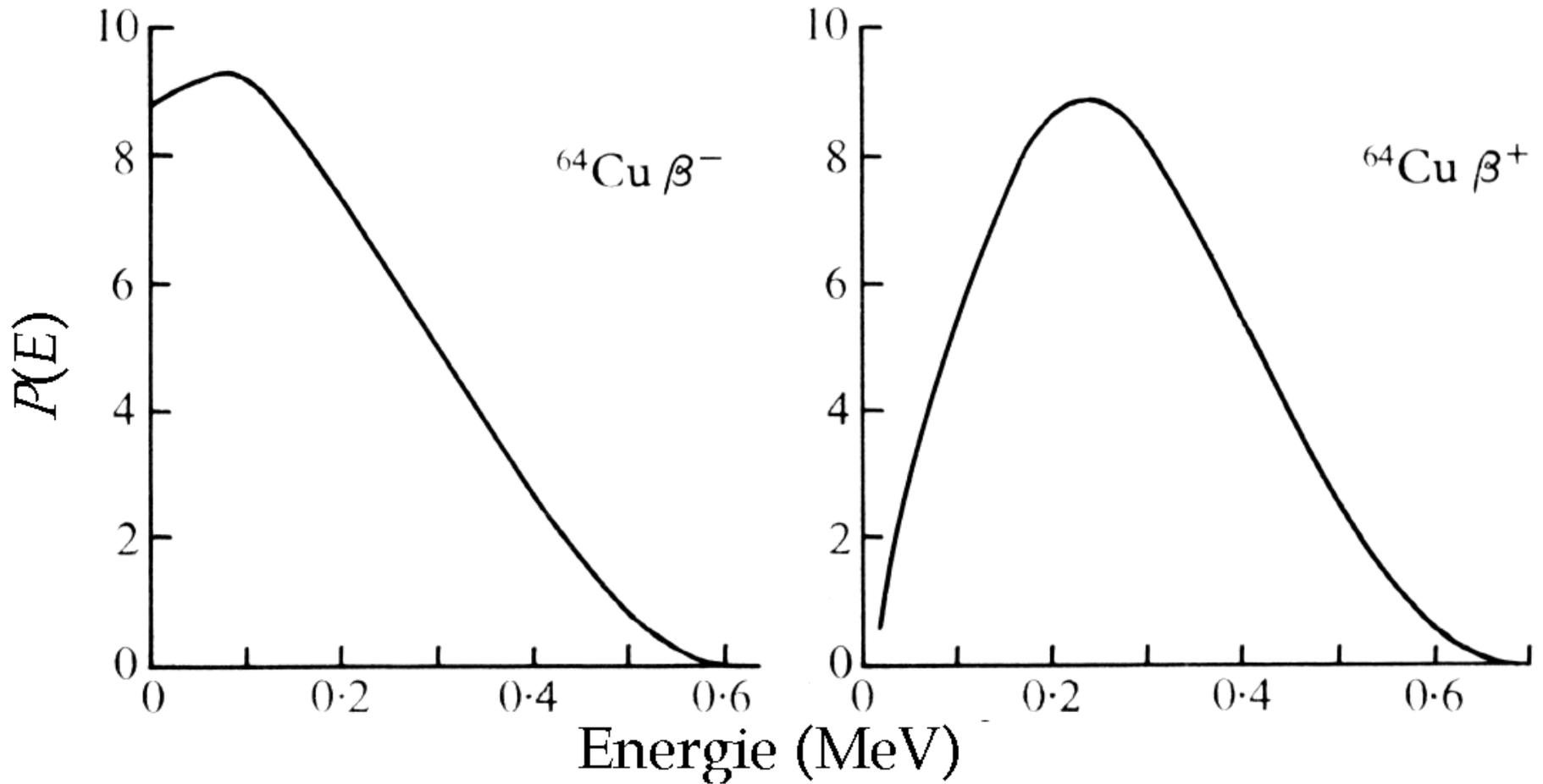
Aussenden von Betateilchen
(Elektronen)

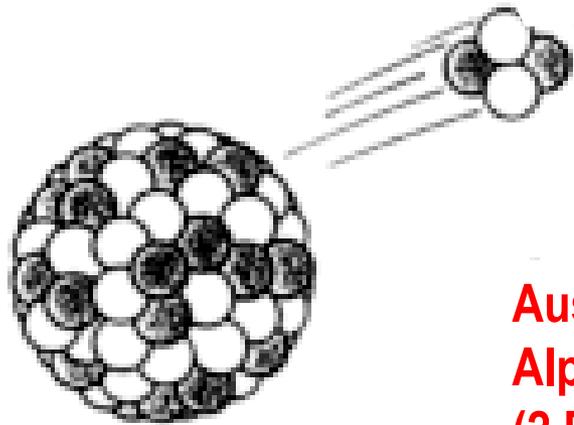


Ein Neutron
wandelt sich in
ein Proton und
ein Elektron um

Energie
0 - 2 MeV

Beta-Spektren





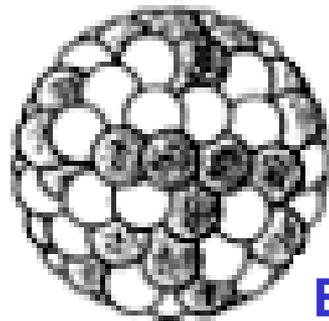
Alphateilchen

α

Energie
5 – 10 MeV

Alphastrahlung

Aussenden von
Alphateilchen (Heliumkernen)
(2 Protonen und 2 Neutronen)



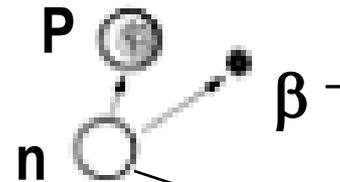
Betateilchen

β^-

Energie
0 - 2 MeV

Betastrahlung

Aussenden von Betateilchen
(Elektronen)



Ein Neutron
wandelt sich in
ein Proton und
ein Elektron um

• Antineutrino

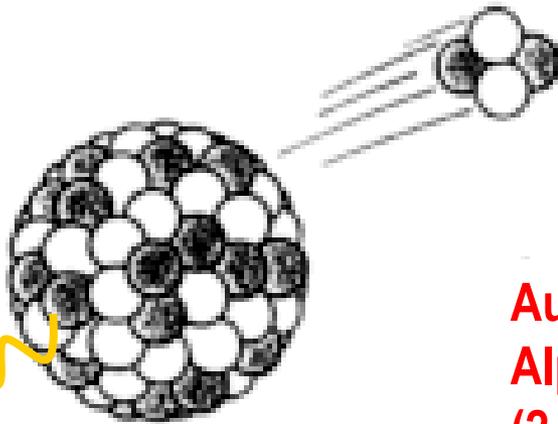
Alphateilchen

α

Energie
5 – 10 MeV

Alphastrahlung

Aussenden von
Alphateilchen (Heliumkernen)
(2 Protonen und 2 Neutronen)



γ - Strahlung

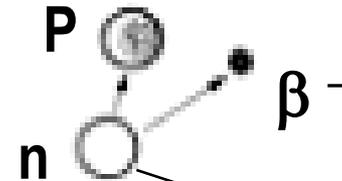
Betateilchen

β^-

Energie
0 - 2 MeV

Betastrahlung

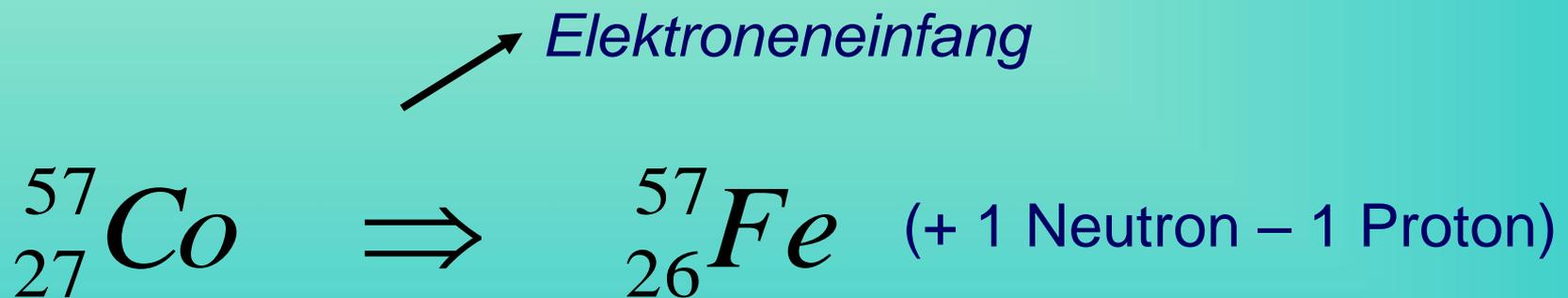
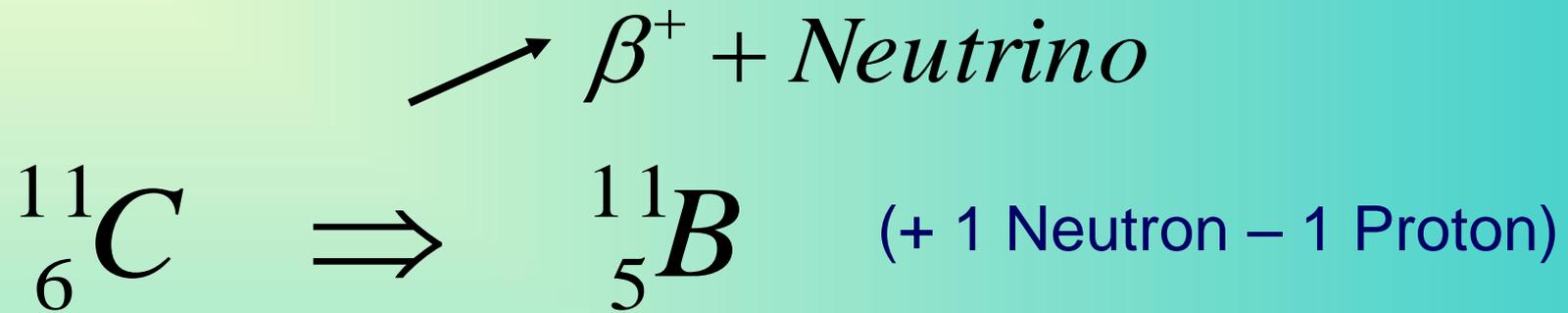
Aussenden von Betateilchen
(Elektronen)



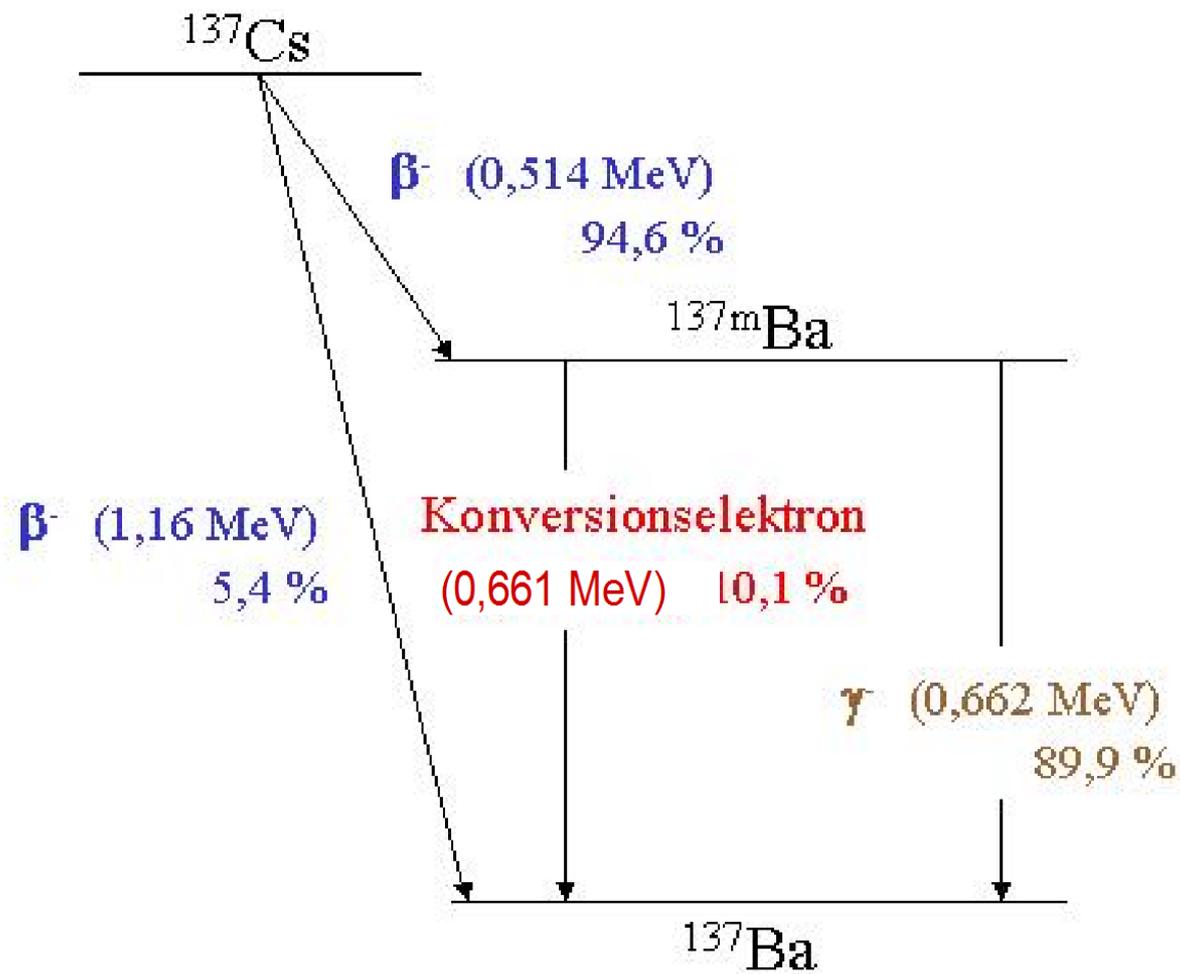
Ein Neutron
wandelt sich in
ein Proton und
ein Elektron um

• Antineutrino





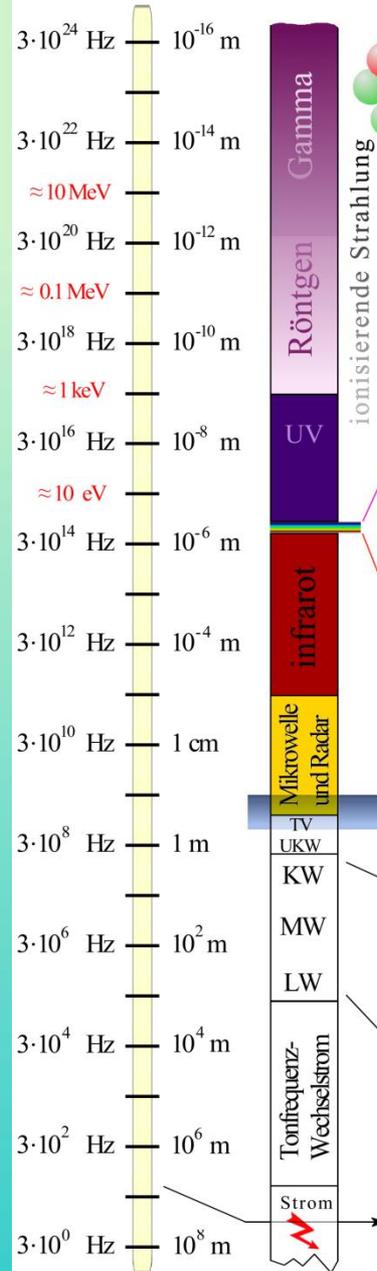




Elektromagnetische Wellen

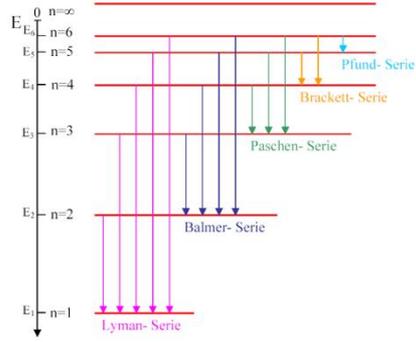
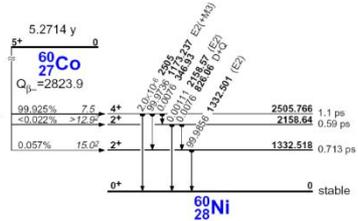
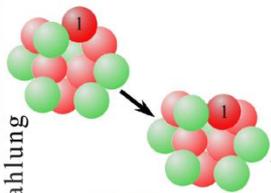
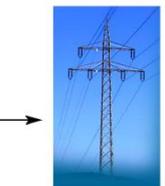
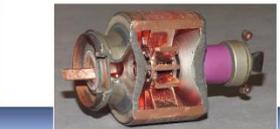
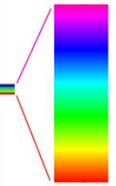
$$\nu \cdot \lambda = c$$

Frequenz · Wellenlänge = c

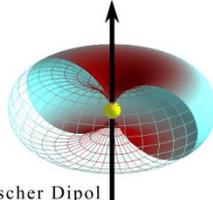
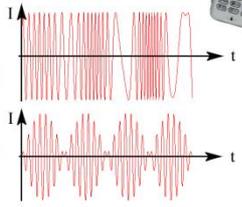


Gamma
Röntgen
UV
infrarot
Mikrowelle und Radar
TV
UKW
KW
MW
LW
Tonfrequenz-Wechselstrom
Strom

ionisierende Strahlung

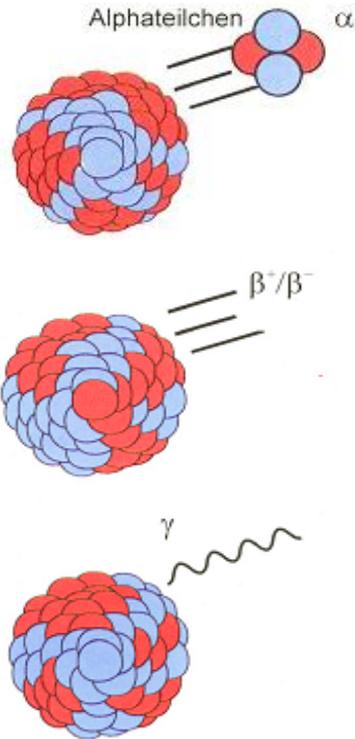


E, UMTS, DECT
D-Netz



Hertz'scher Dipol

Reichweite von Strahlung



Strahlungsart

Alphastrahlung

Reichweite in Luft:
wenige cm

Betastrahlung

Reichweite in Luft:
mehrere Meter

Gammastrahlung

Reichweite in Luft:
 ∞

in Materialien



durchdringt
Papier nicht



wird im
Material
absorbiert



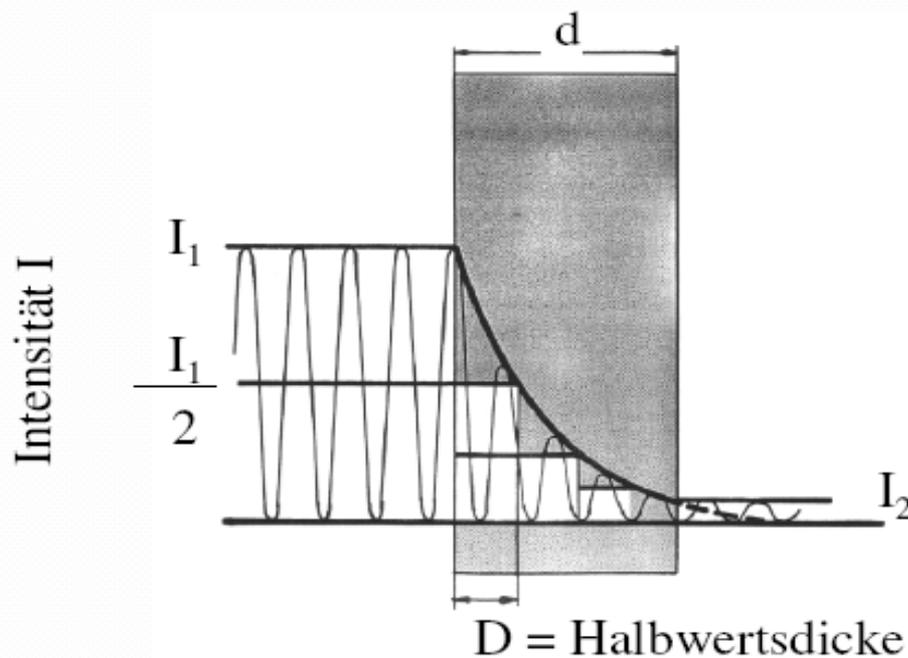
wird im
Material
abgeschwächt

in Gewebe



Halbwertsdicke

Die Intensität der γ -Strahlung wird durch eine bestimmte Materialdicke um die Hälfte verringert (exponentielle Abnahme).



Beispiele einiger Halbwertsdicken
(bezogen auf 2MeV γ -Strahlung):

Blei:	1,4 cm
Eisen:	2,1 cm
Aluminium:	5,9 cm
Beton:	9,0 cm
Wasser:	14 cm
	(entspricht etwa lebendem Gewebe)
Luft:	12.000 cm

Information Kohlenstoff-14:

Zerfallsart: β -
Halbwertszeit: 5730 Jahre
Zerfallsenergie: E_{\max} 0,156 MeV
 E_{mittel} 0,049 MeV

maximale Reichweite: Luft 25 cm,
Wasser 0,28 mm,
Borsilikatglas 0,13 mm

Abschirmung: **nicht erforderlich, wenn in Glas-
oder Kunststoffbehältnis**

Freigrenze: 10^7 Bq

Information Phosphor - 32:

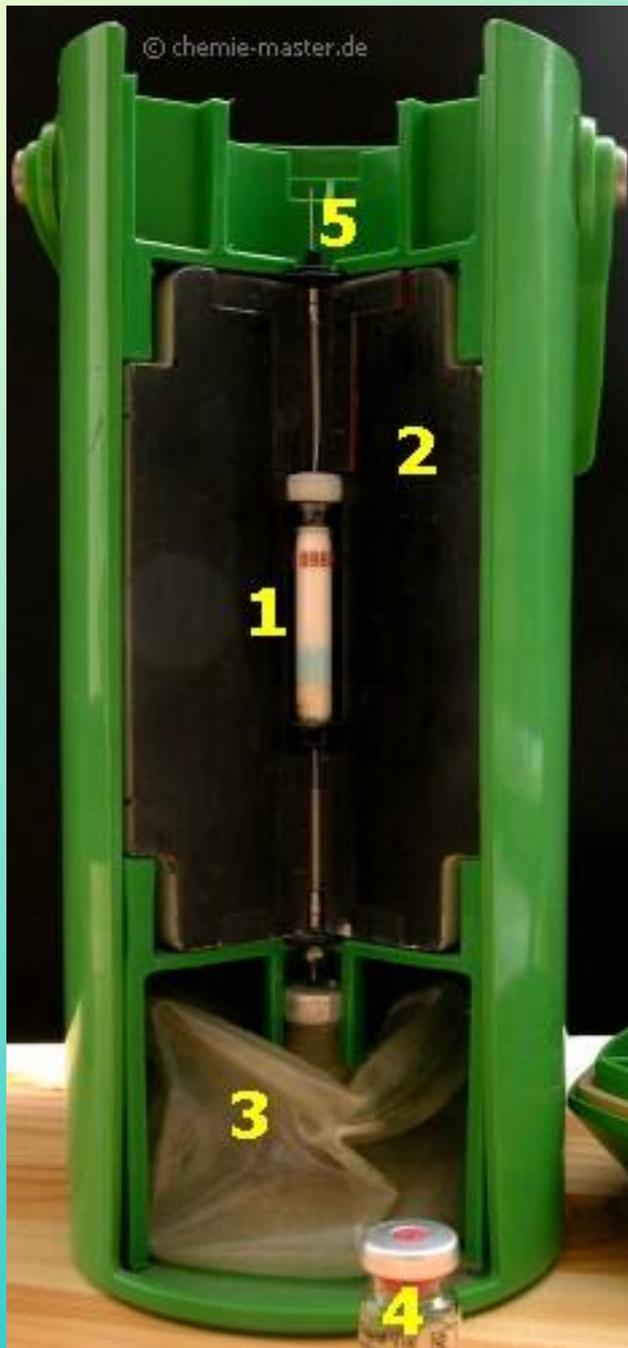
Zerfallsart:	β^-
Halbwertszeit:	14,3 Tage
Zerfallsenergie:	E_{\max} 1,709 MeV E_{mittel} 0,539 MeV
maximale Reichweite:	Luft 7,90 m, Wasser 0,76 cm
Abschirmung:	innen 1 cm Plexiglas, dann 1 mm Blei
Freigrenze:	10^5 Bq

Information Phosphor - 33:

Zerfallsart:	β^-
Halbwertszeit:	25,4 Tage
Zerfallsenergie:	E_{\max} 0,249 MeV E_{mittel} 0,078 MeV
maximale Reichweite:	Luft 49 cm, Wasser 0,6 mm
Abschirmung:	3 mm Plexiglas
Freigrenze:	10^8 Bq

Information Technetium-99m:

Zerfallsart:	$\gamma + \beta^-$
Halbwertszeit:	6,01 Stunden
Zerfallsenergie:	0,145 MeV
maximale Reichweite:	unendlich
Abschirmung:	5 mm Blei
Freigrenze:	10^7 Bq



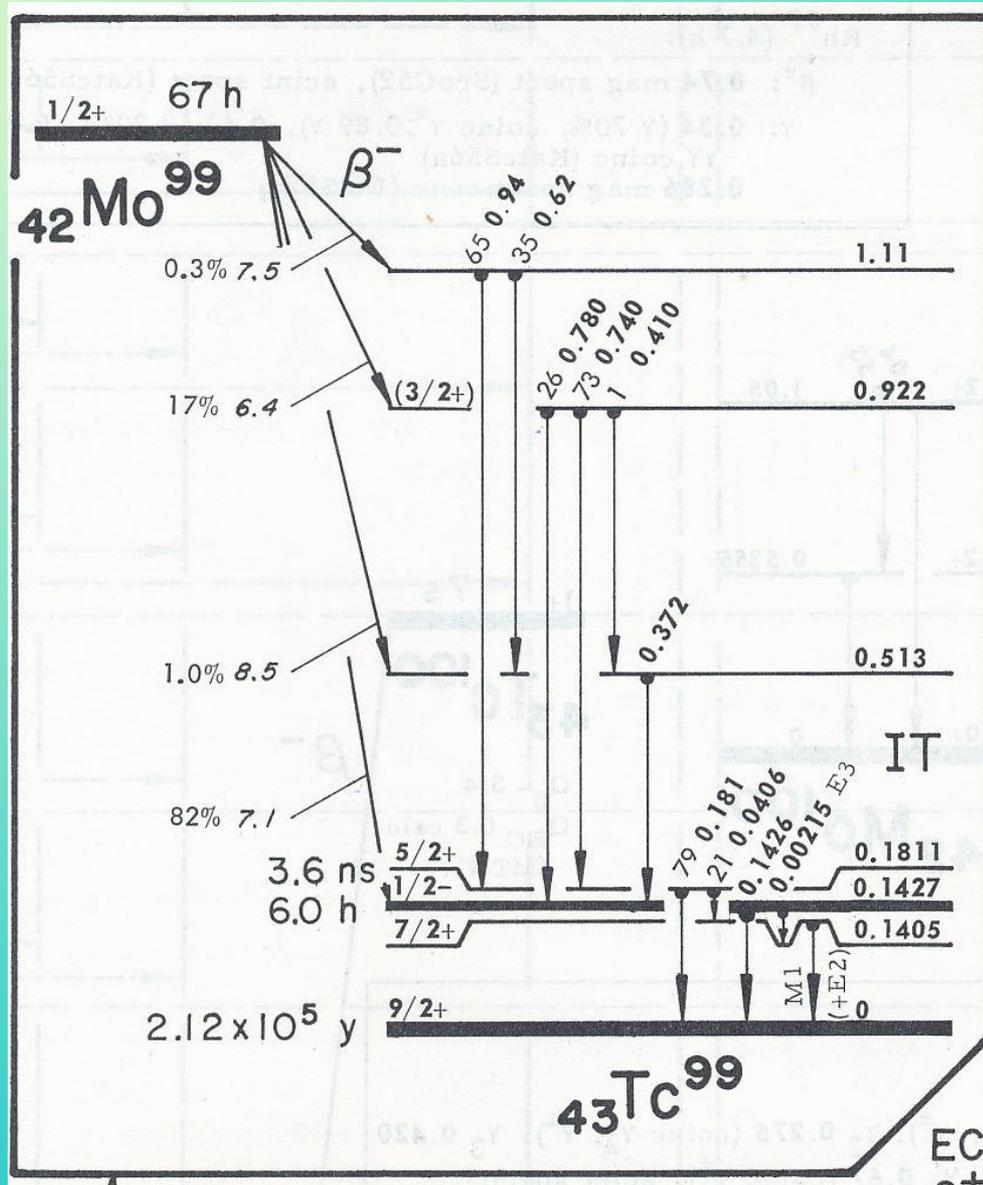
Tc-99m Generator

Das Prinzip des Molybdän-99/Technetium-99m-Generators wurde um 1960 am Brookhaven National Laboratory (USA) entwickelt.

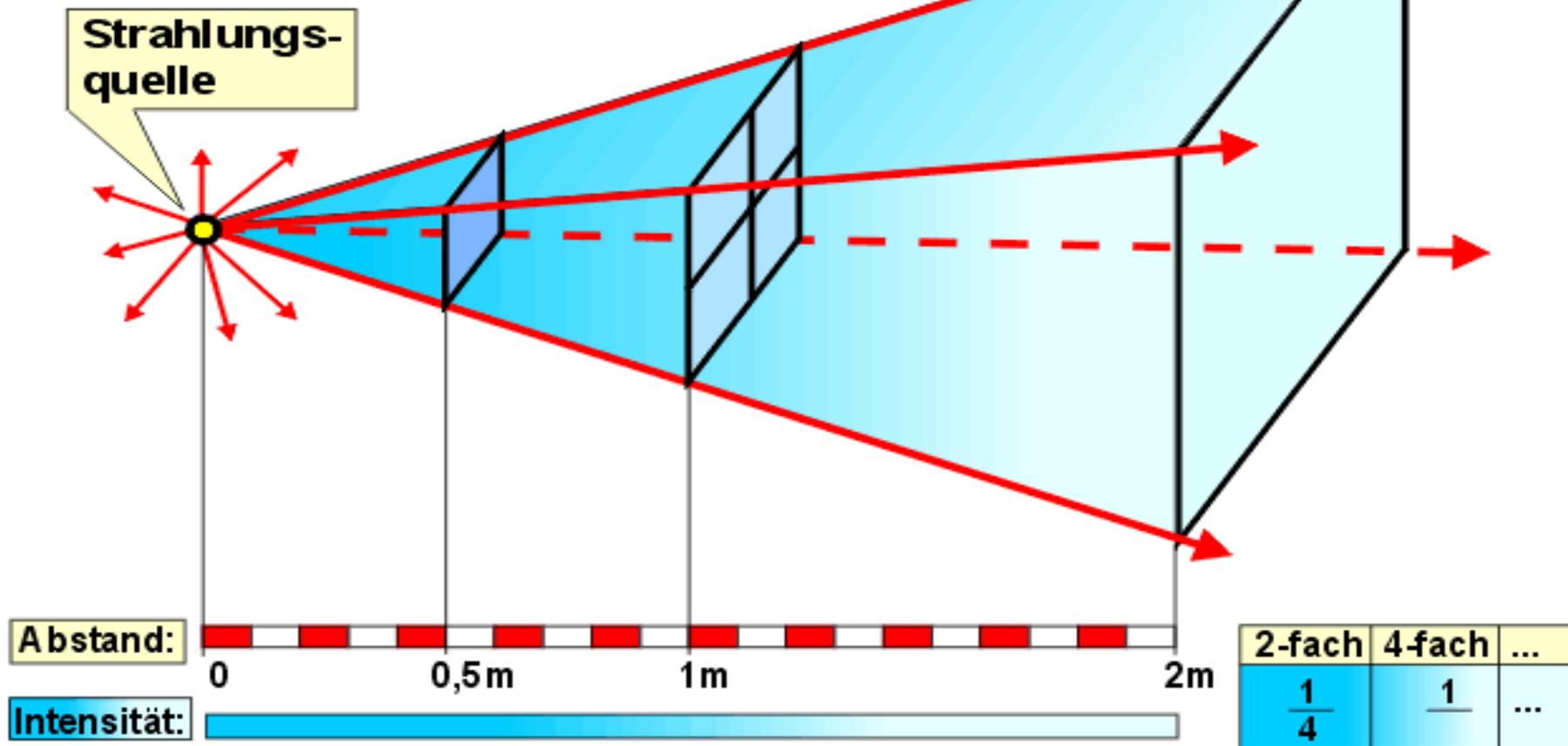
Der Generator besteht aus einer chromatografischen Säule [1], die mit Aluminiumoxid gefüllt ist. Am Aluminiumoxid haftet das aus Kernreaktoren gewonnene Uran-Spaltprodukt ^{99}Mo . Um die Strahlenbelastung für Transport und Bedienung möglichst gering zu halten, ist die Säule mit dicken Bleiwänden [2] gekapselt. Während das Mutternuklid ^{99}Mo als Molybdat (MoO_4^{2-}) fest am Aluminiumoxid-Trägermaterial der Säule haftet, kann das entstehende Per Technetat (TcO_4^-) leicht herausgelöst werden. Die Säule [1] ist unten mit einem Vorratsbehälter [3] verbunden, der physiologische Kochsalzlösung enthält. Um das gebildete ^{99m}Tc herauszulösen, wird auf die obere Kanüle [5] das Elutionsgefäß [4], ein Glasfläschchen mit durchstechbaren Propfen, aufgesetzt. Im Glasfläschchen herrscht ein Vakuum. In Folge des Unterdrucks im Elutionsgefäß wird physiologische Kochsalzlösung aus dem Behälter unten [3] über die chromatografische Säule [1] angesaugt. Beim Durchströmen der Säule wird das aus Molybdän entstandene ^{99m}Tc als Natriumpertechnetat aufgenommen.

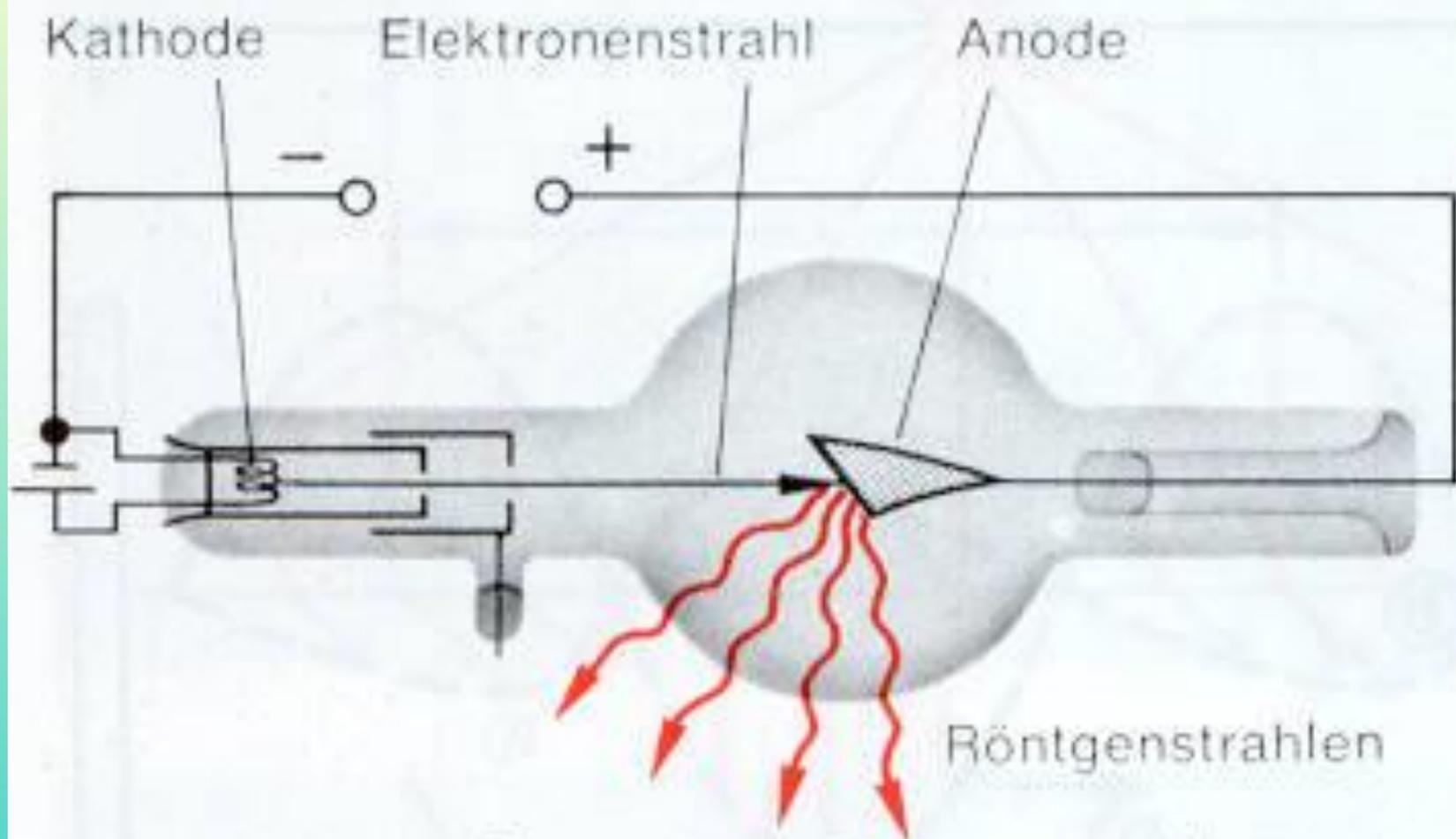
Die Natriumpertechnetatlösung steht nun zur Injektion am Patienten, z.B. bei Schilddrüsenuntersuchungen, zur Verfügung. Zur Aufnahme von Szintigrammen anderer Organe werden spezielle Substanzen, die vom Körper in die entsprechenden Organe transportiert werden, mit dem Per Technetat radioaktiv markiert.

Zerfallsschema Mo-99

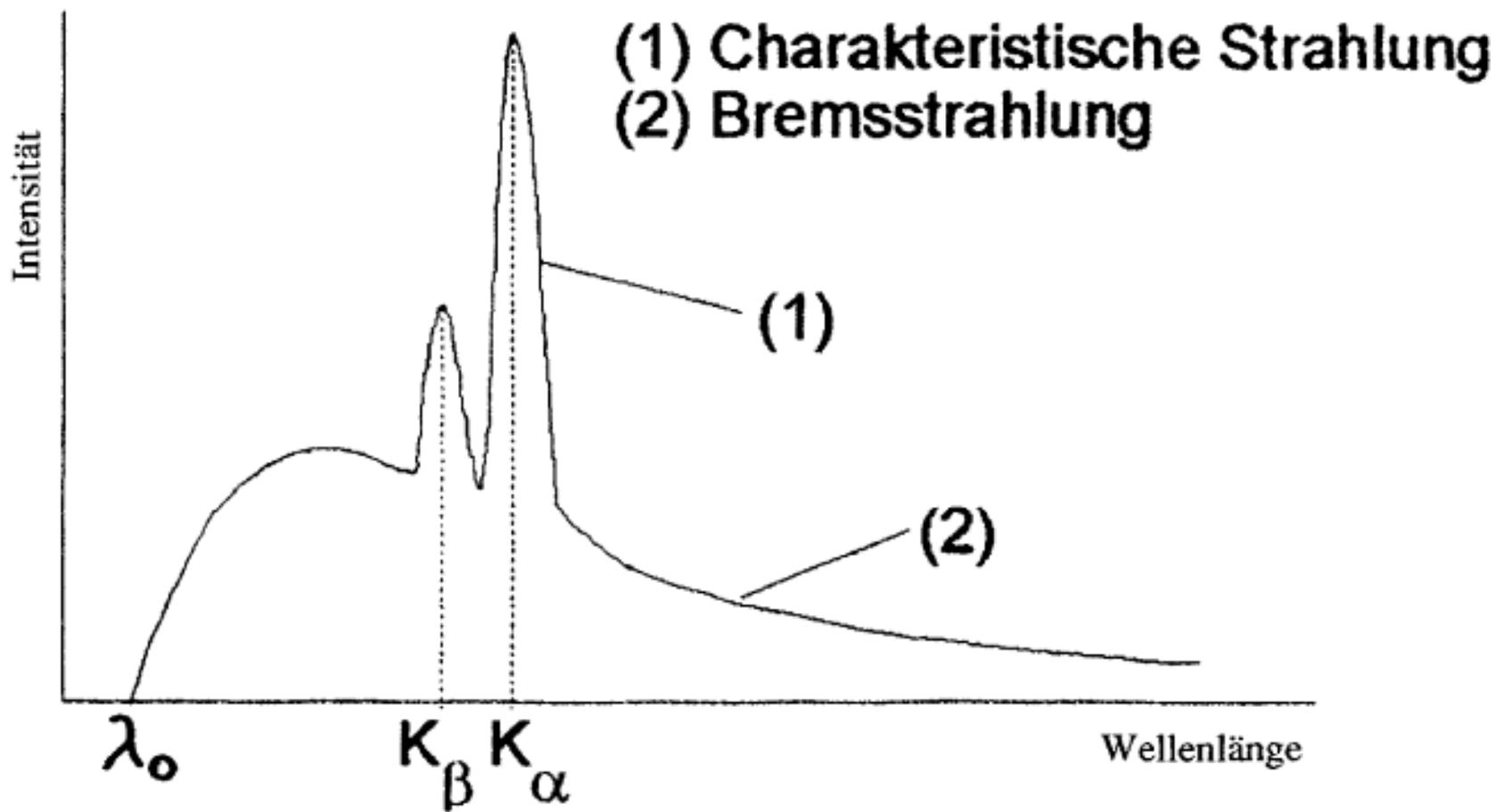


Bei allen Strahlungen gilt
das "allgemeine Strahlungsgesetz":

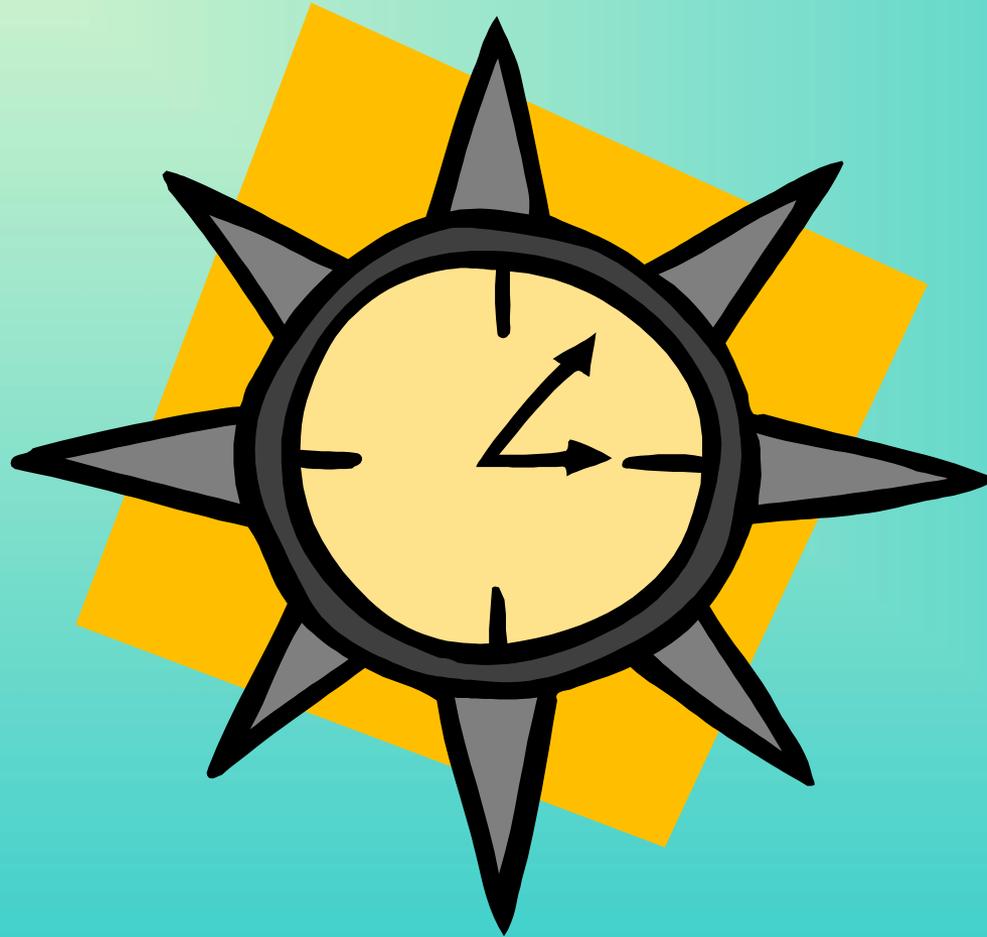




Der Aufbau einer Röntgenröhre.



Die Halbwertszeit



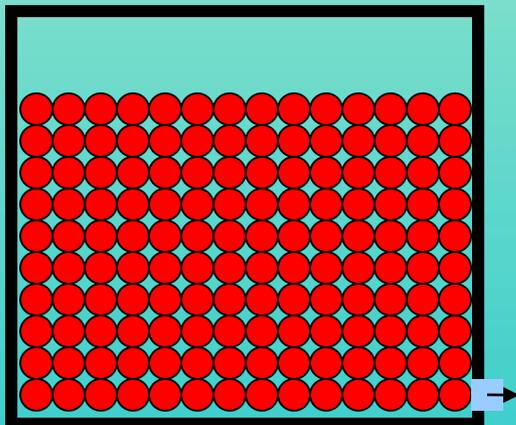
Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Beispiel zur Halbwertszeit :

Ein mit 140 roten Kugeln gefüllter Becher verliert durch ein Loch Kugeln



Halbwertszeit

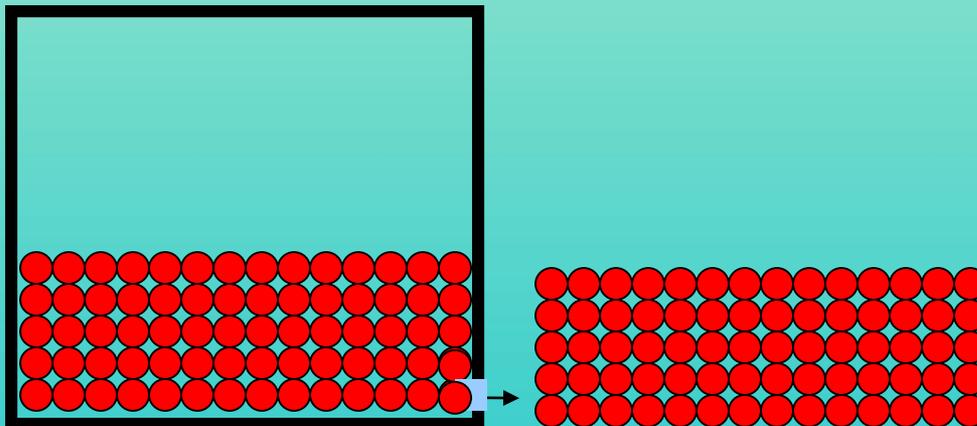
Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Beispiel zur Halbwertszeit :

Nach einer Stunde ist die Hälfte der roten Kugeln ausgetreten.

1 Halbwertszeit ist vorbei.

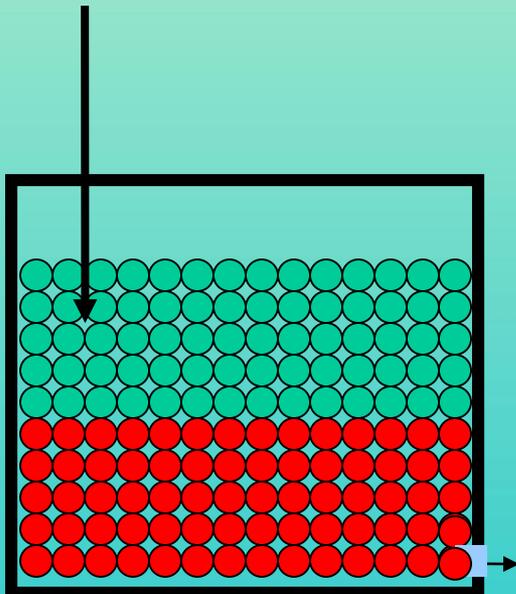


Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Gleichzeitig wurden von oben grüne Kugeln nachgefüllt

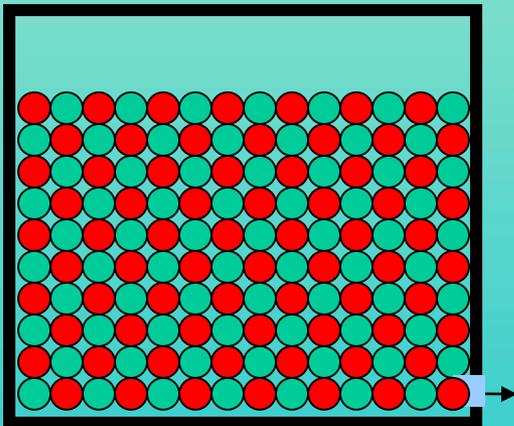


Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Und haben sich mit den roten Kugeln vermischt.

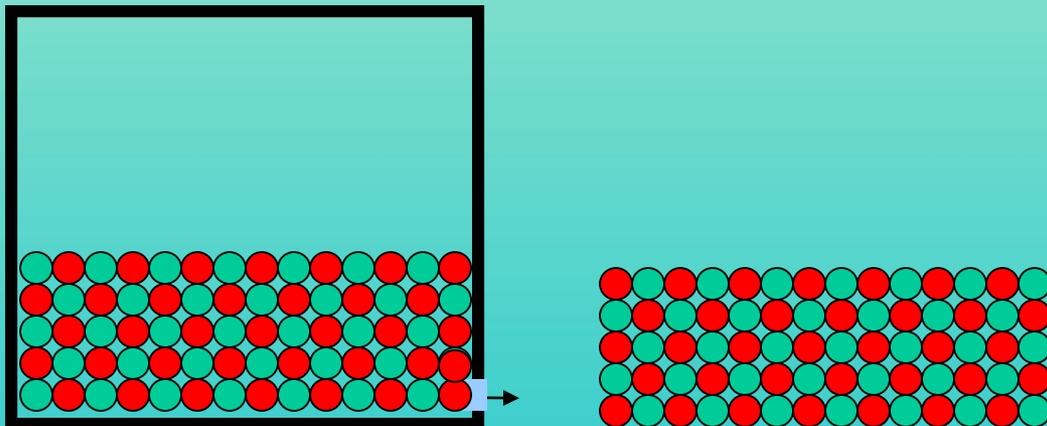


Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Nach einer weiteren Stunde (eine 2. Halbwertszeit) hat wieder die Hälfte der Kugeln das Gefäß verlassen

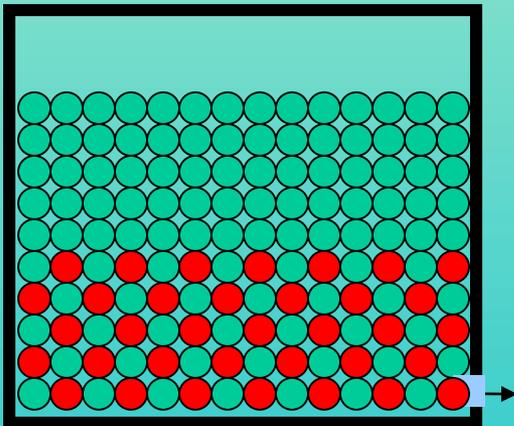


Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Und das Gefäß wurde mit grünen Kugeln nachgefüllt

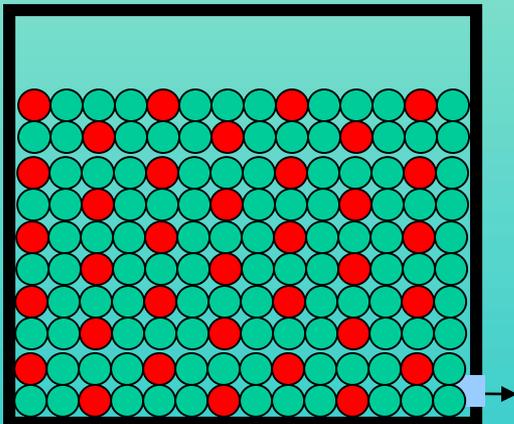


Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Und wieder durchgemischt

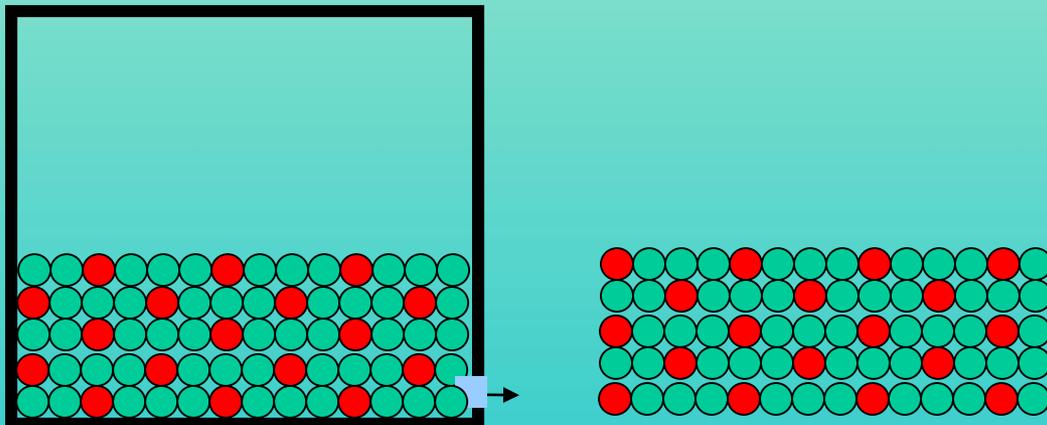


Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

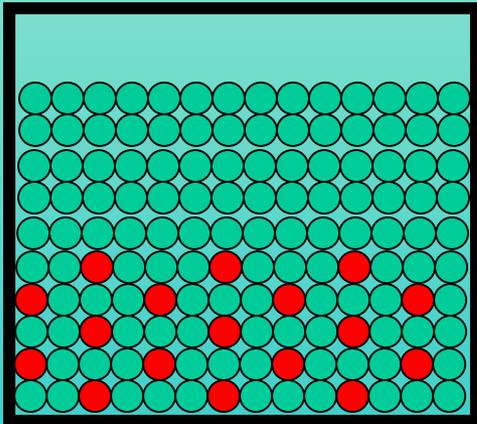
Und so weiter, und so weiter



Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

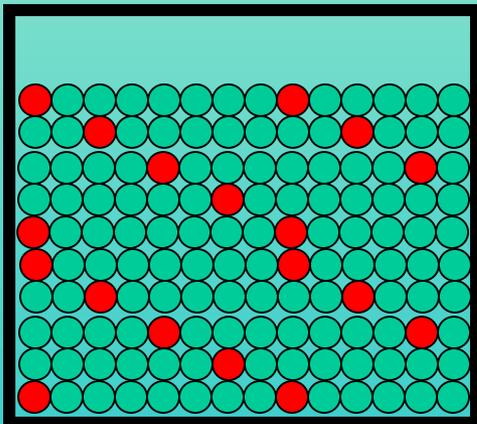


Halbwertszeit

Nach einer Halbwertszeit ist von einer Substanz nur noch die Hälfte vorhanden.

Das kann durch physikalisches Abklingen bei radioaktiven Substanzen ebenso erfolgen, wie durch Verdünnen in einem Körper

Ausgangszahl an roten Kugeln	140
Nach einer Halbwertszeit	70
Nach 2 Halbwertszeiten	35
Nach 3 Halbwertszeiten	18



Messverfahren



Messverfahren für Radioaktivität

Das Bildgebende

Das Einfache

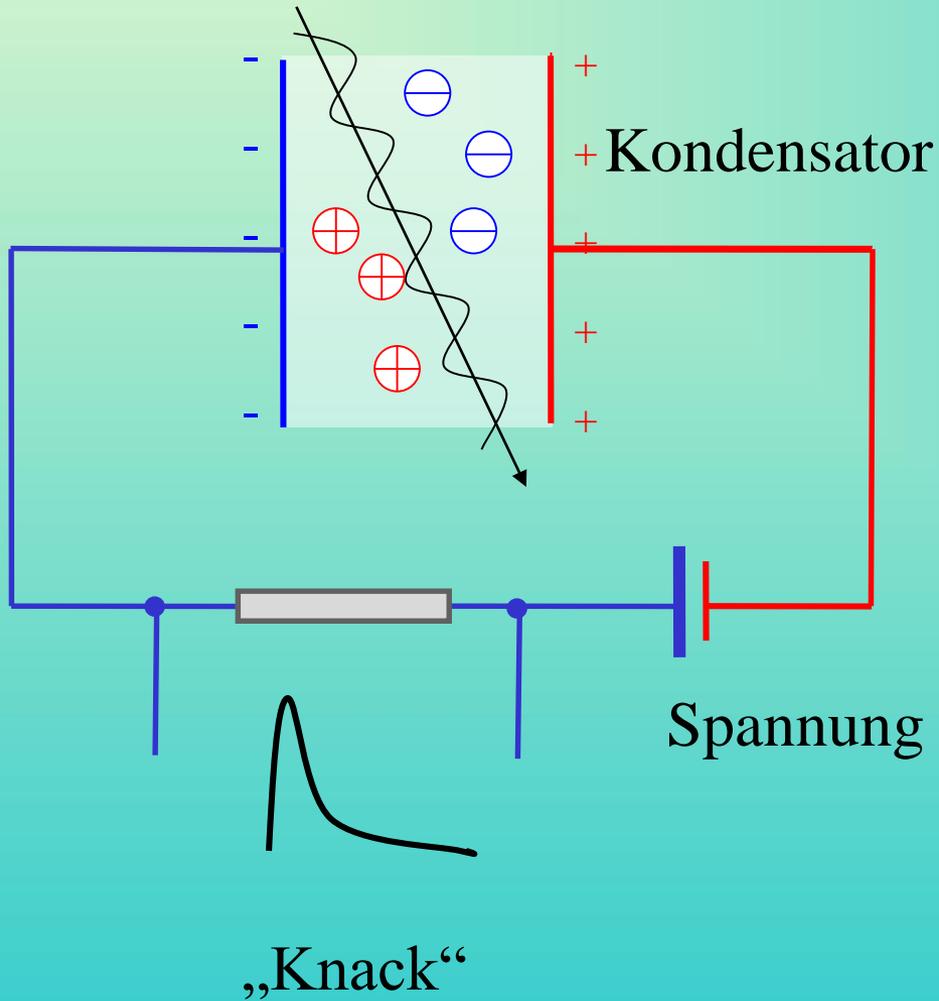


Das Exakte

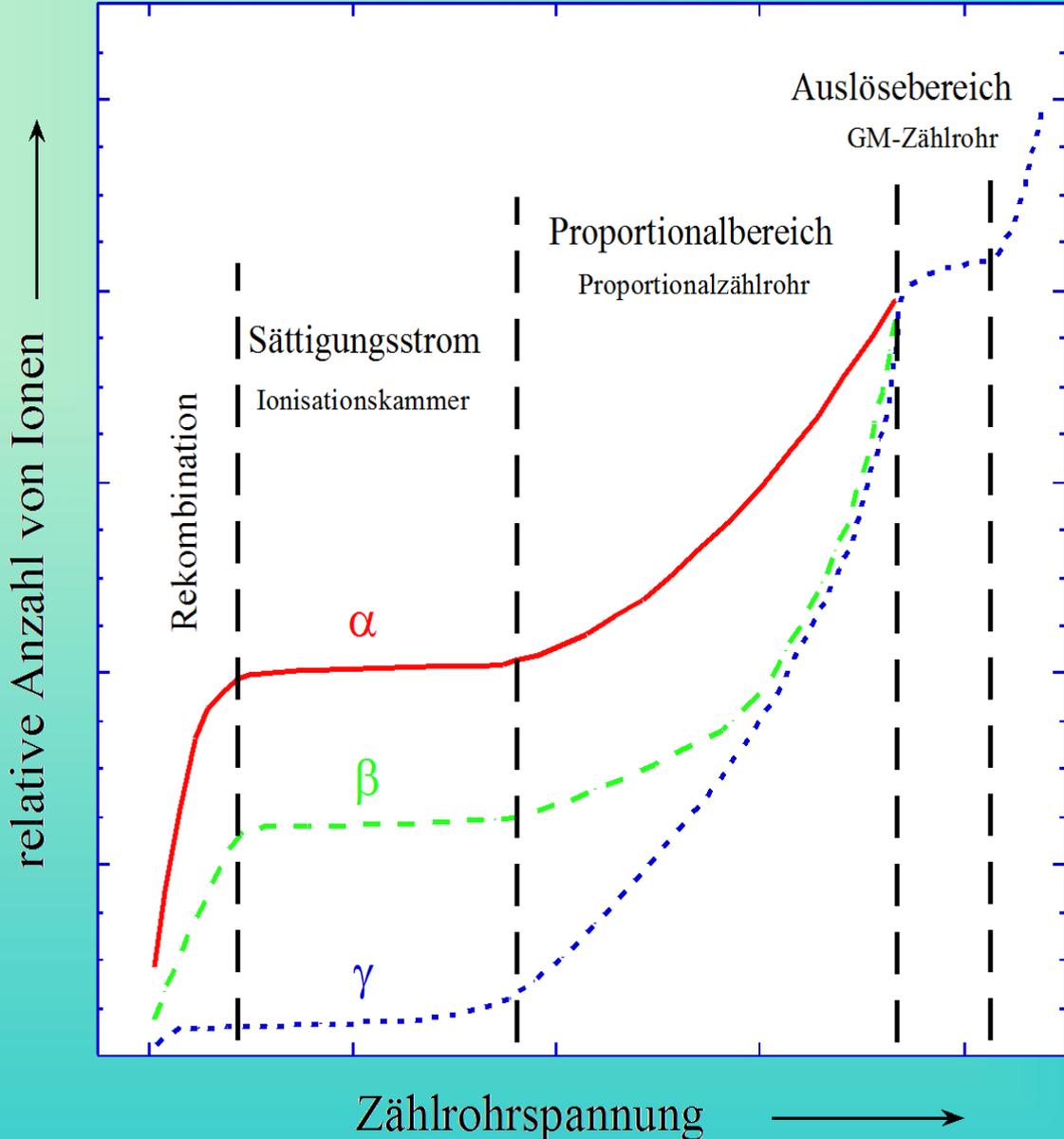


Gasionisationsdetektoren

Der Handmonitor

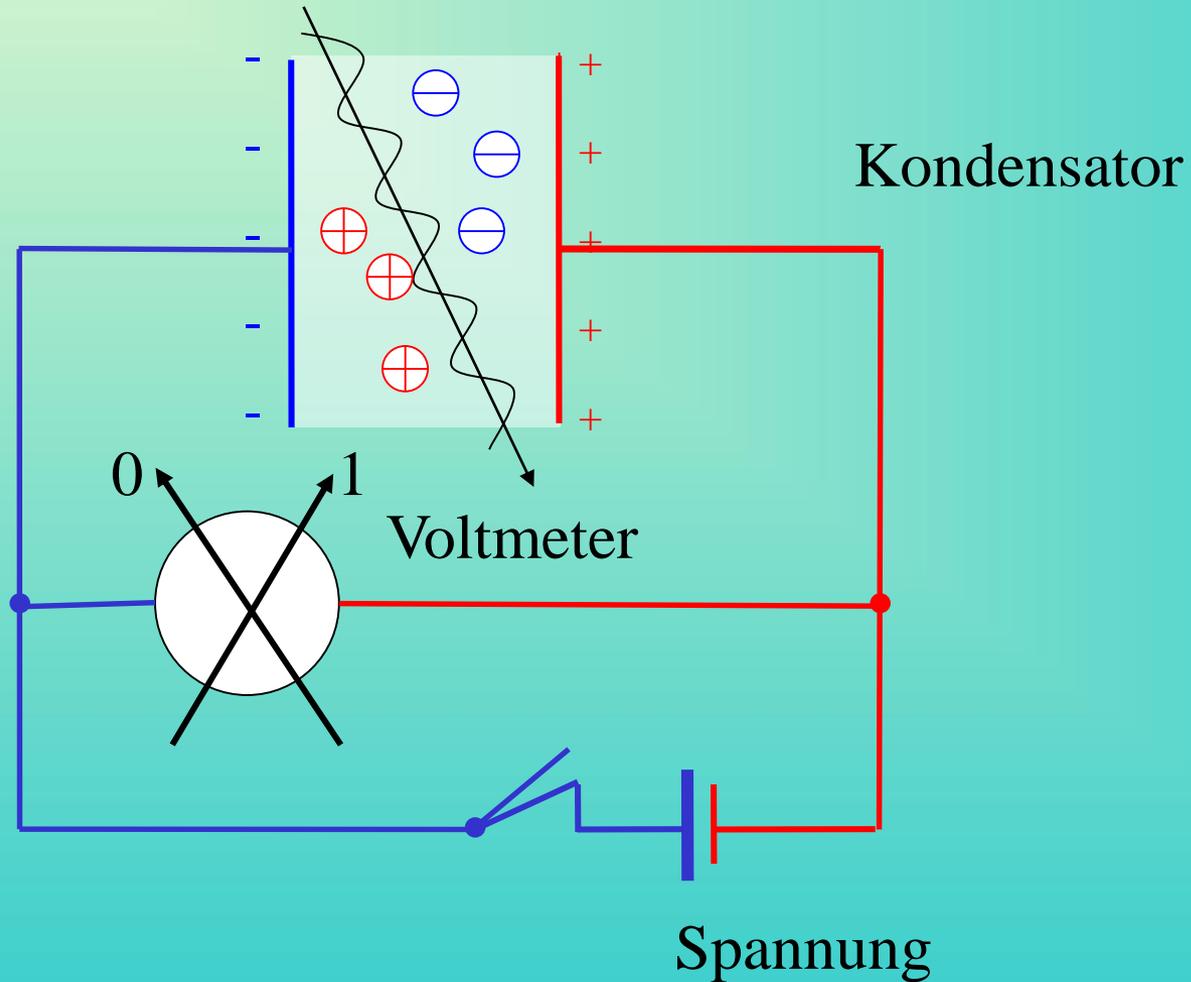


Nutzbereiche von Zählrohren



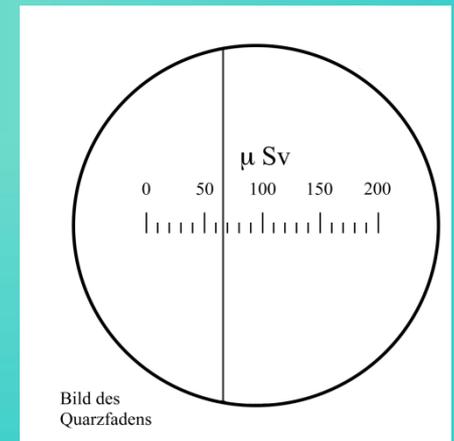
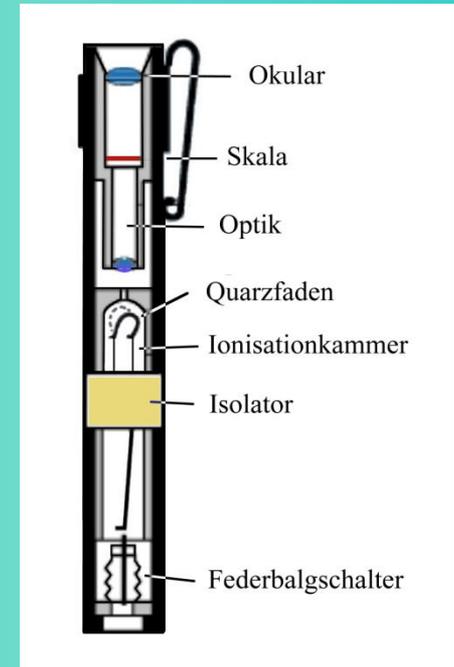
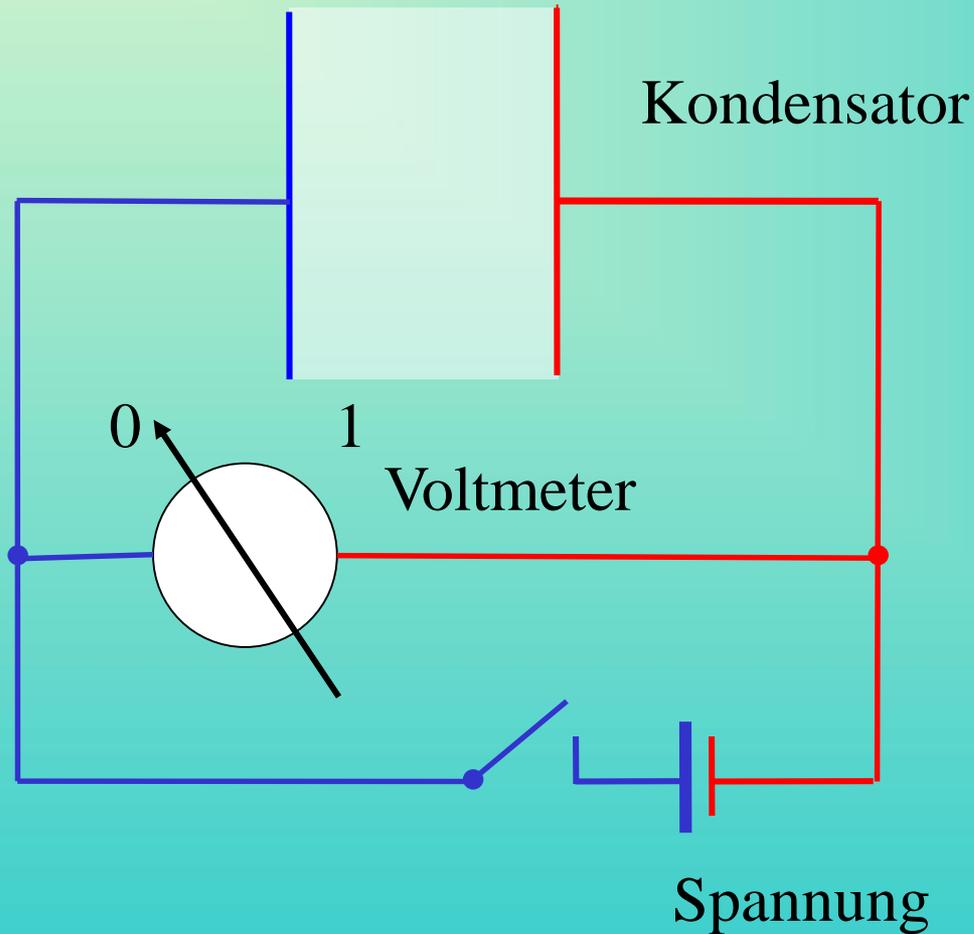
Gasionisationsdetektoren

Die Ionisationskammer



Gasionisationsdetektoren

Die Ionisationskammer



Bauformen von Stabdosimetern:

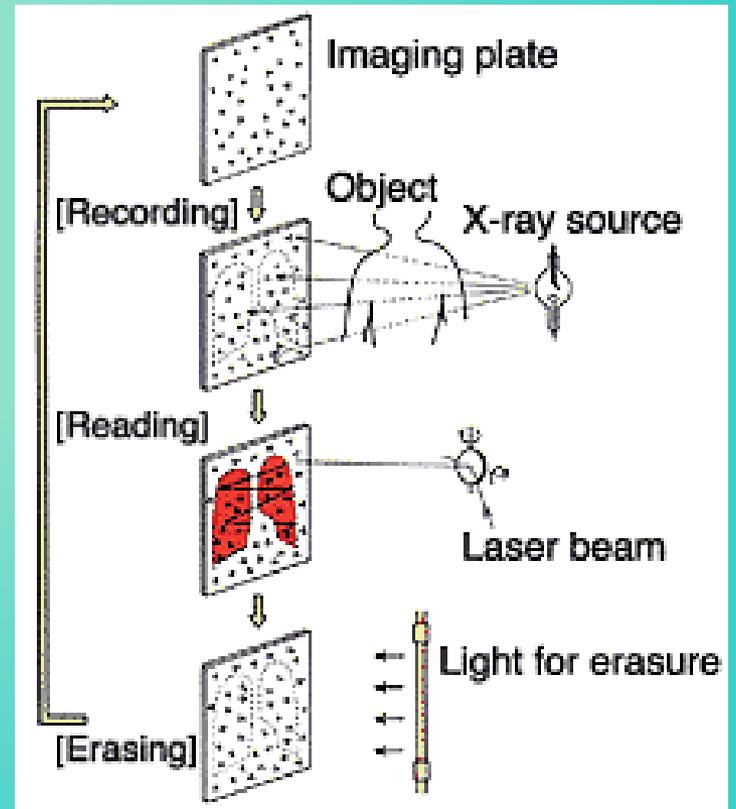
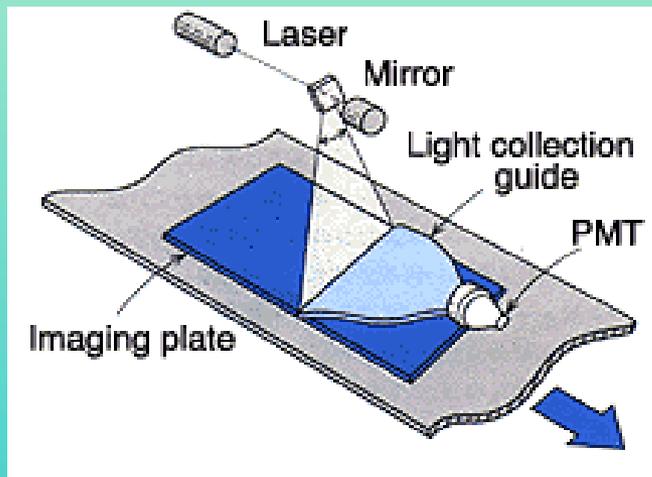
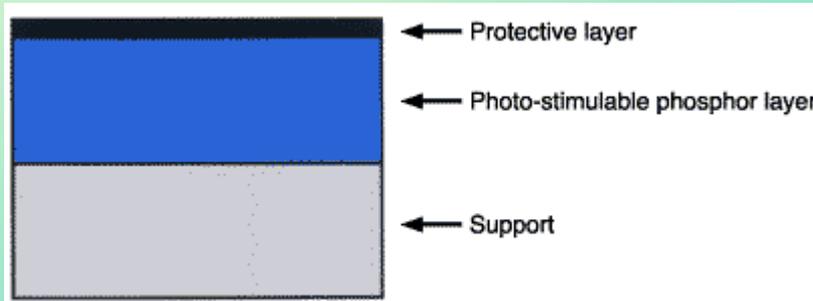


Es gibt die Stabdosimeter für die Messbereiche:

- 0 – 50 mSv bei 45 keV bis 3 MeV
- 0 – 2 mSv bei 18 keV bis 3 MeV
- 0 – 2 mSv bei 40 keV bis 3 MeV

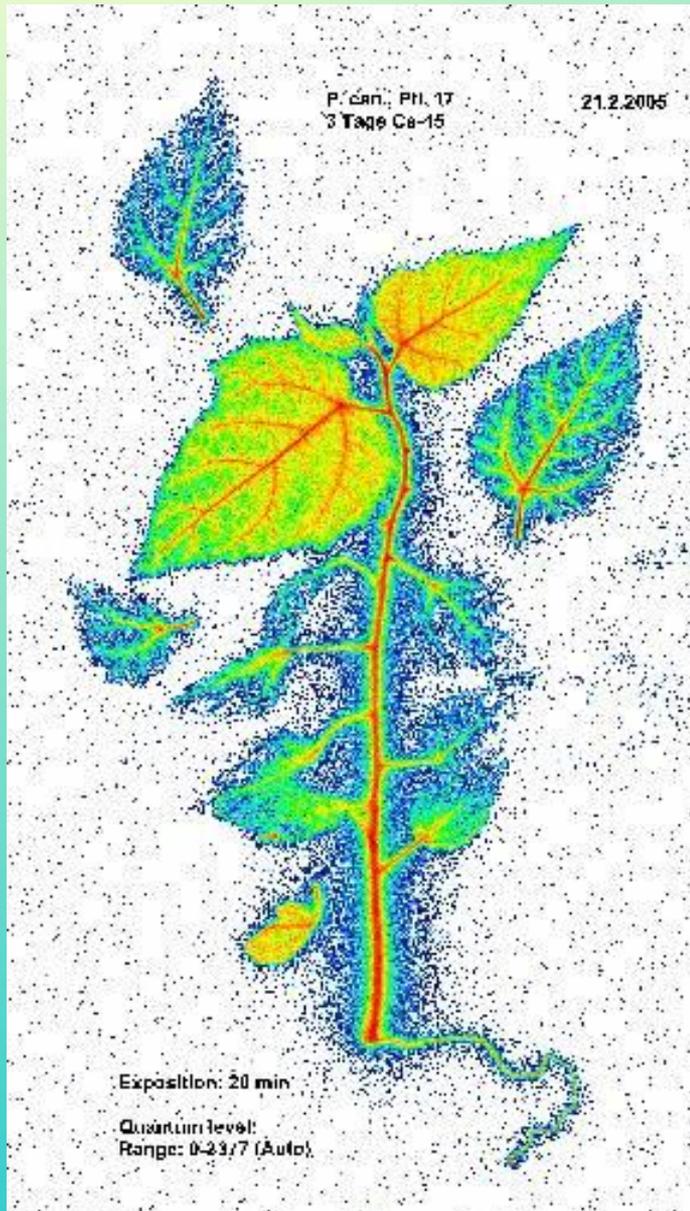


Bildgebendes Radioaktivitätsmessverfahren Phosphorimaging



Bilder erzeugt mit dem Phosphorimager

Verteilung von radioaktivem Ca-45
In einer Pflanze (Pappel)

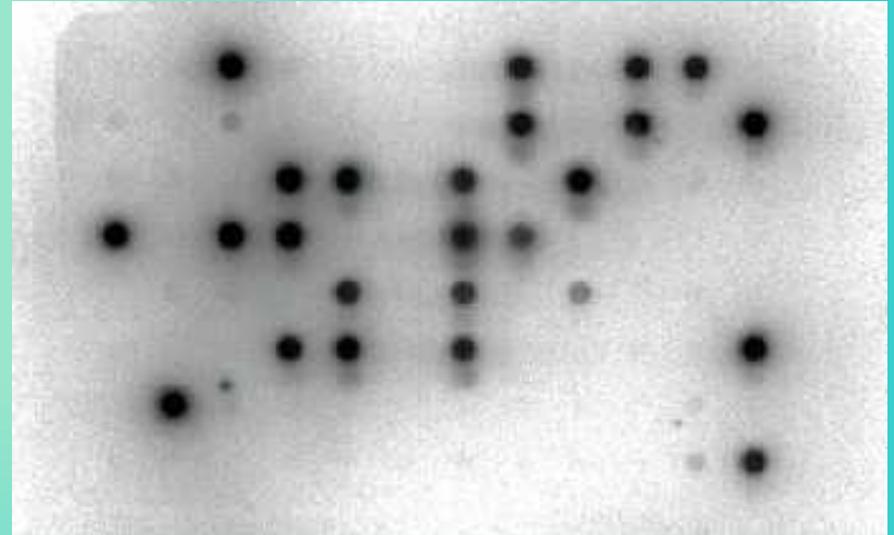


Anwendung bei der Pflanzenphysiologie



Aufnahme von Ca-45 in
eine Douglasie

Anwendung bei der Molekularbiologie



Dot-Blot

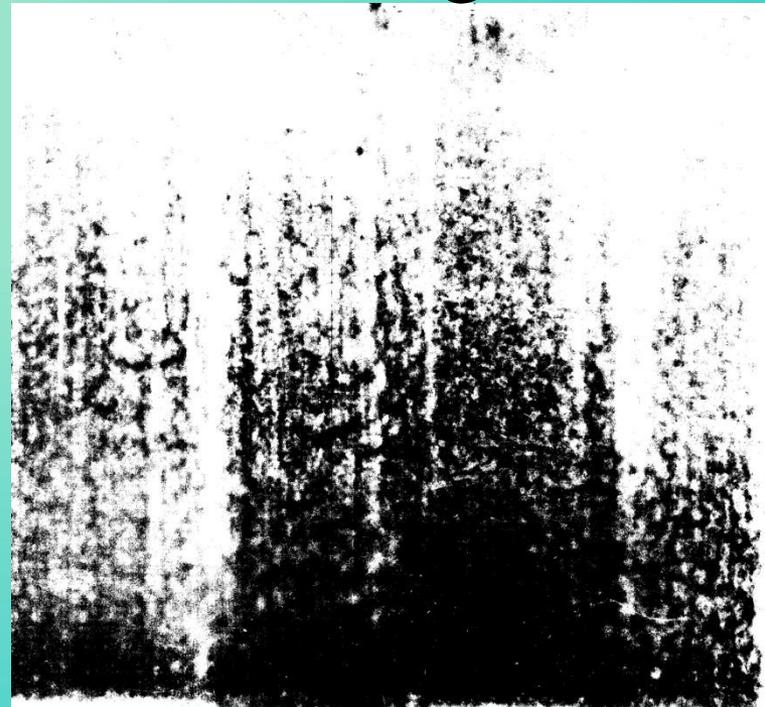
... ist der englische Begriff für das punktförmige Auftragen isolierter DNA- oder Protein-Proben auf Trägermaterialien wie Papier, Nitrozellulose- oder Nylonfilter. "To blot" bedeutet eigentlich, mit Löschpapier aufsaugen.

Uranfarben auf einer Fliese

Foto



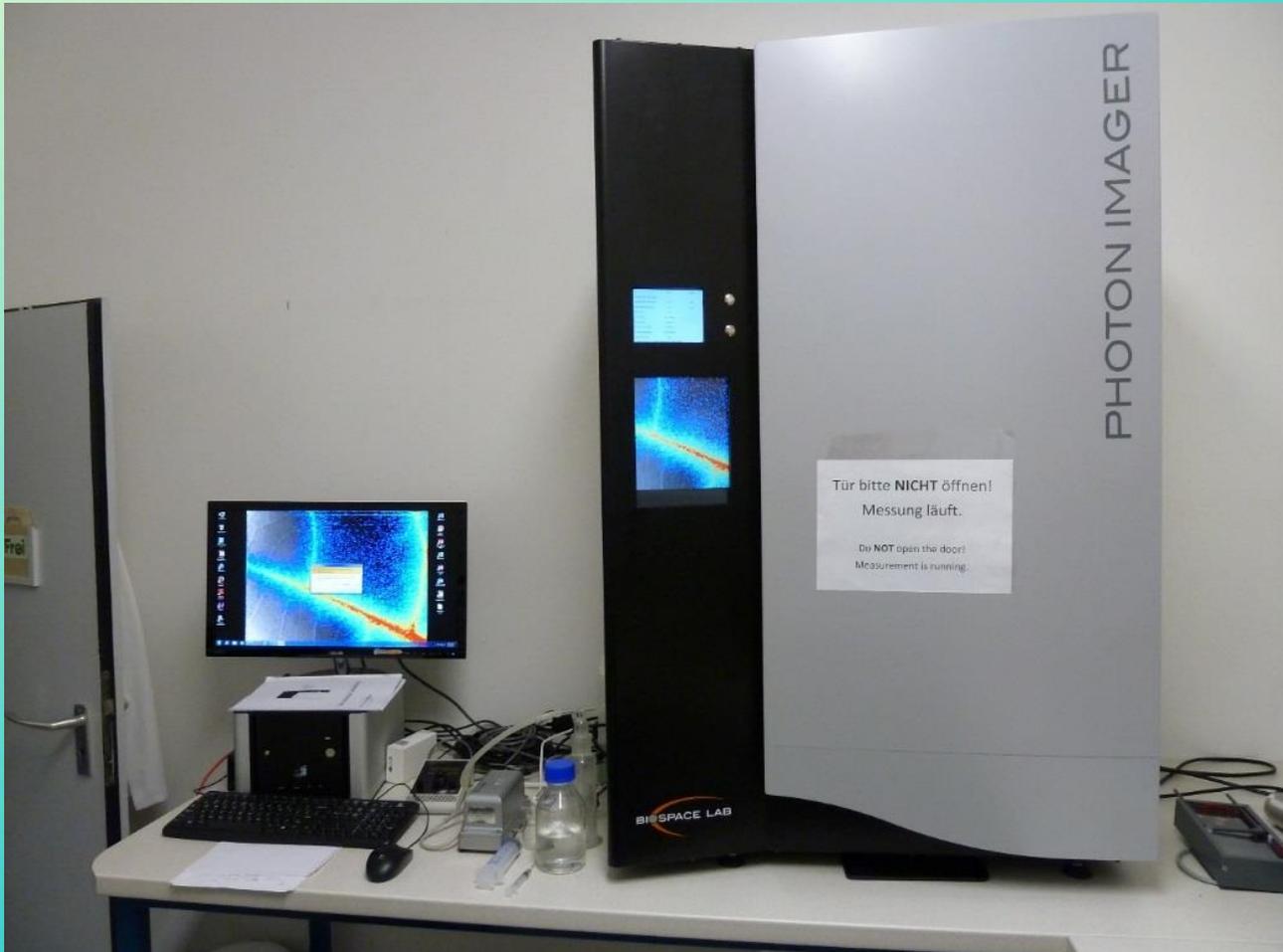
Autoradiogramm



The Photonimager

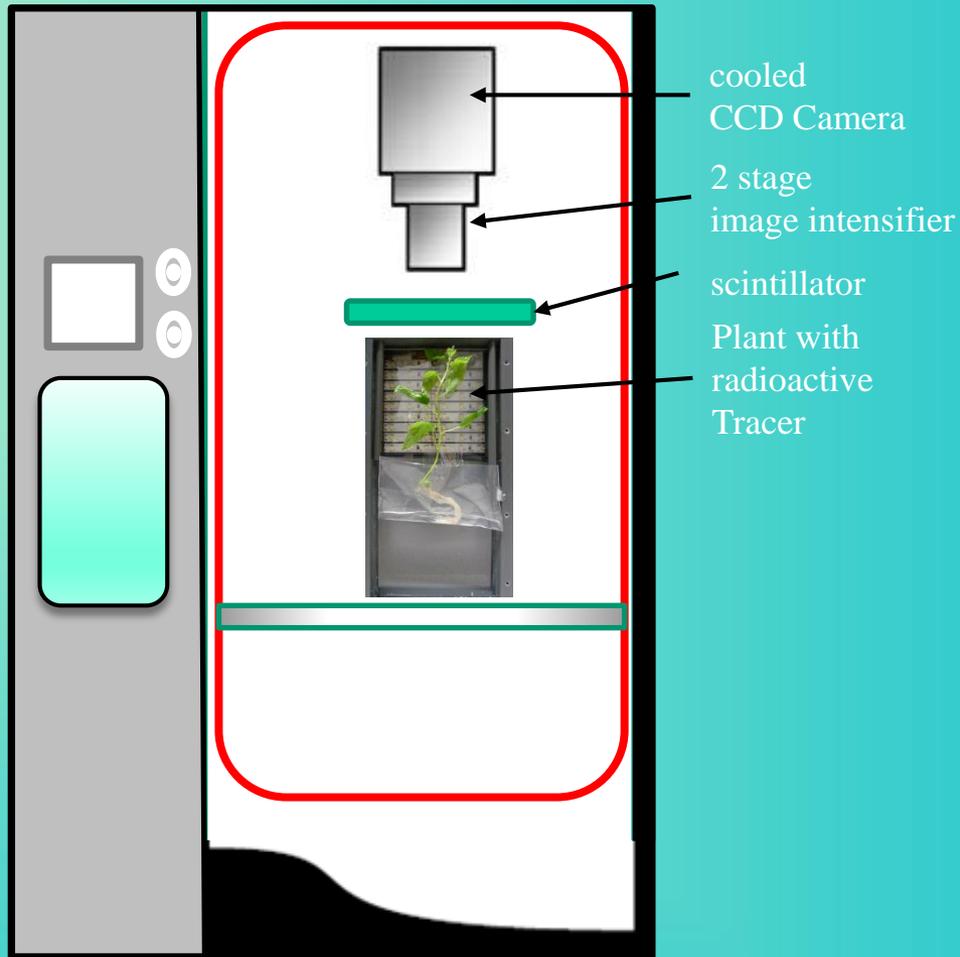
To display dynamic distribution of
Tracer substances in plants

The device with analysis workplace and media supply



Photon Imaging

- Ionizing radiation is converted into light flashes in the scintillator.
- These flashes are absorbed by a highly sensitive camera.
- For each flash coordinates and time are recorded



Empty Plant chamber dark and illuminated with $150 \mu\text{E}/\text{m}^2$



ventilation,
humidification

adding liquid



Using 223 kBq P-32 on 01.09.2014 01.22 pm

Plant placed in
the chamber



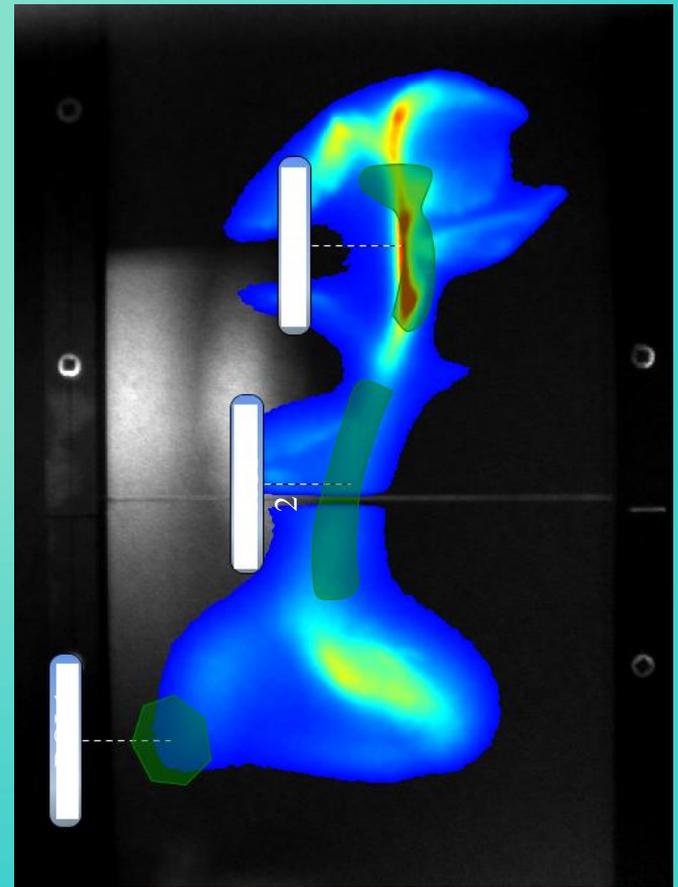
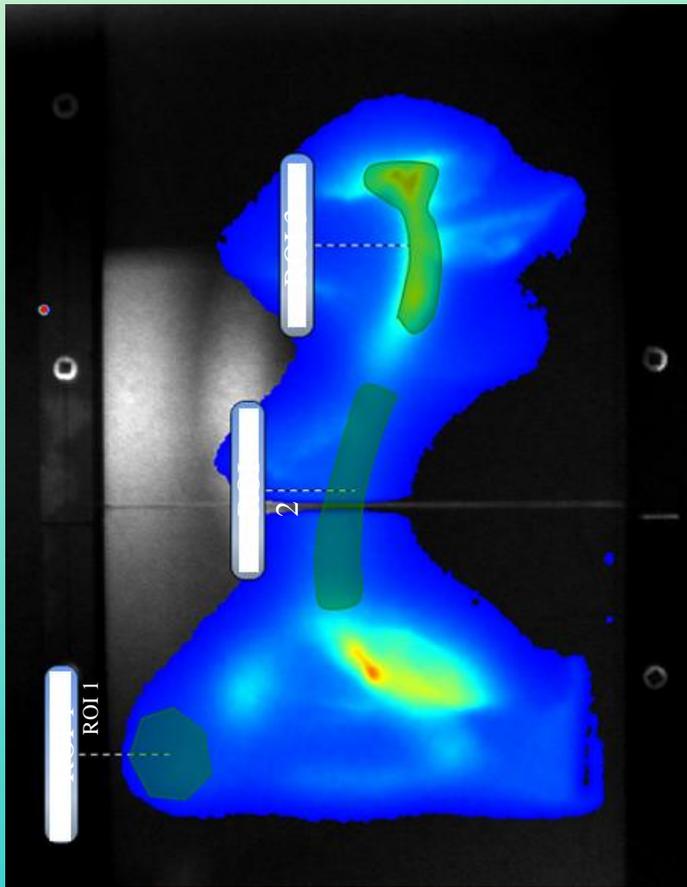
Plant chamber with
Fiber Optic Scintillator



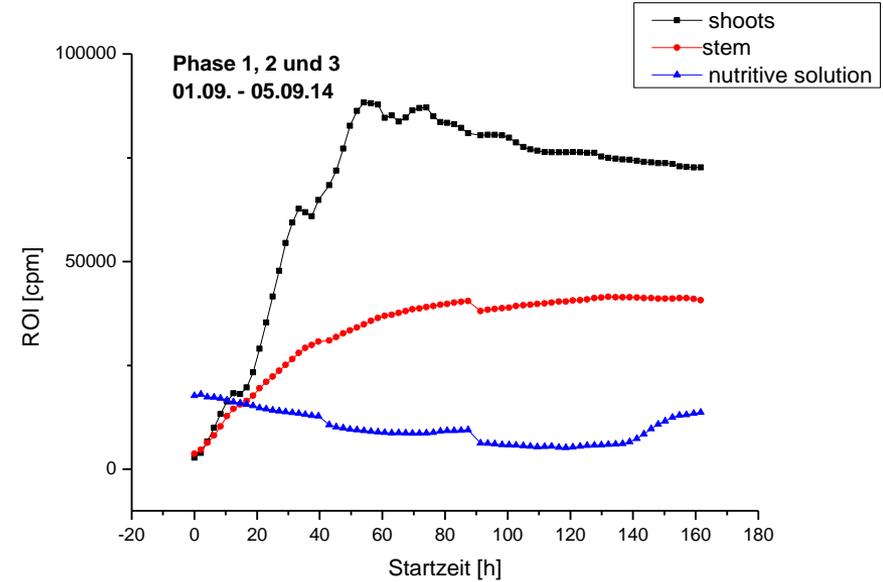
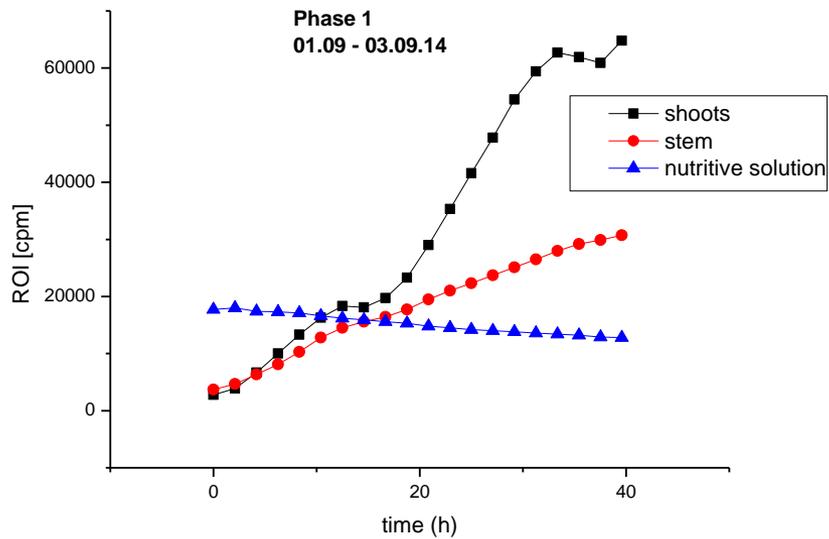
Autoradiography

After 2 days

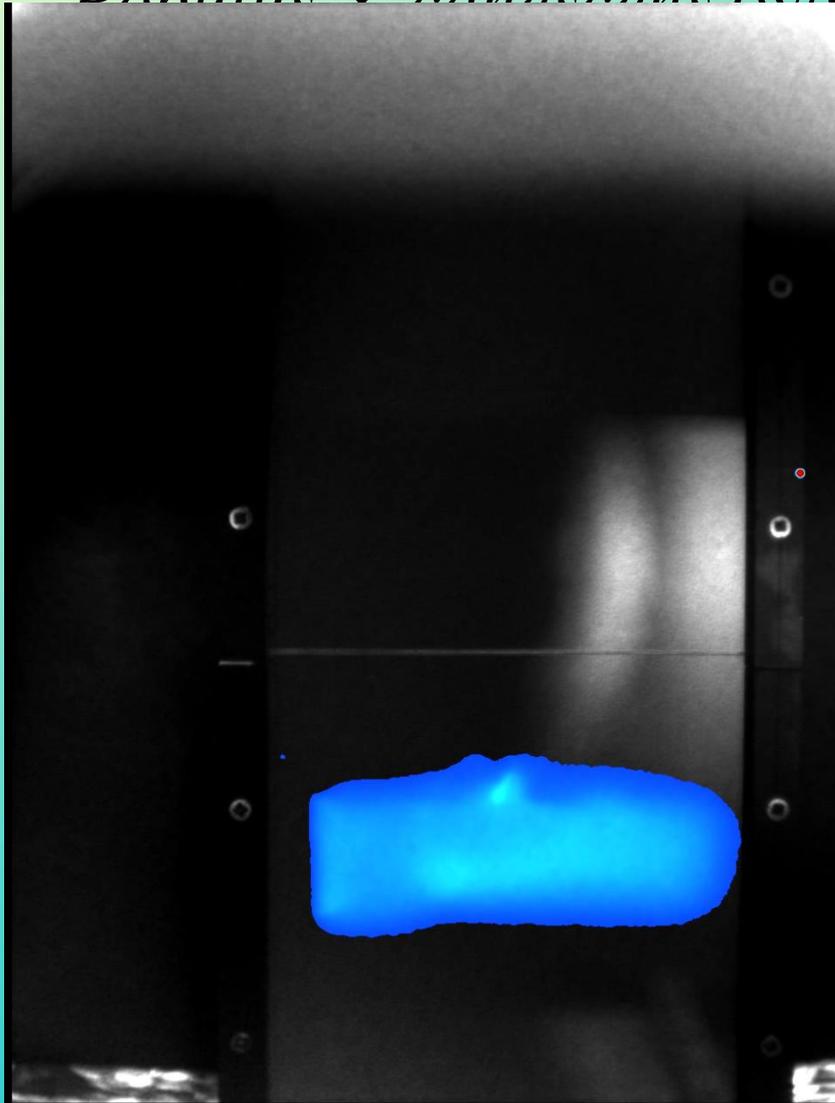
after 7 days



Grafische Darstellung der cpm/ROI



Dynamic uptake study of P-32 in an
Populus × canadensis over one week

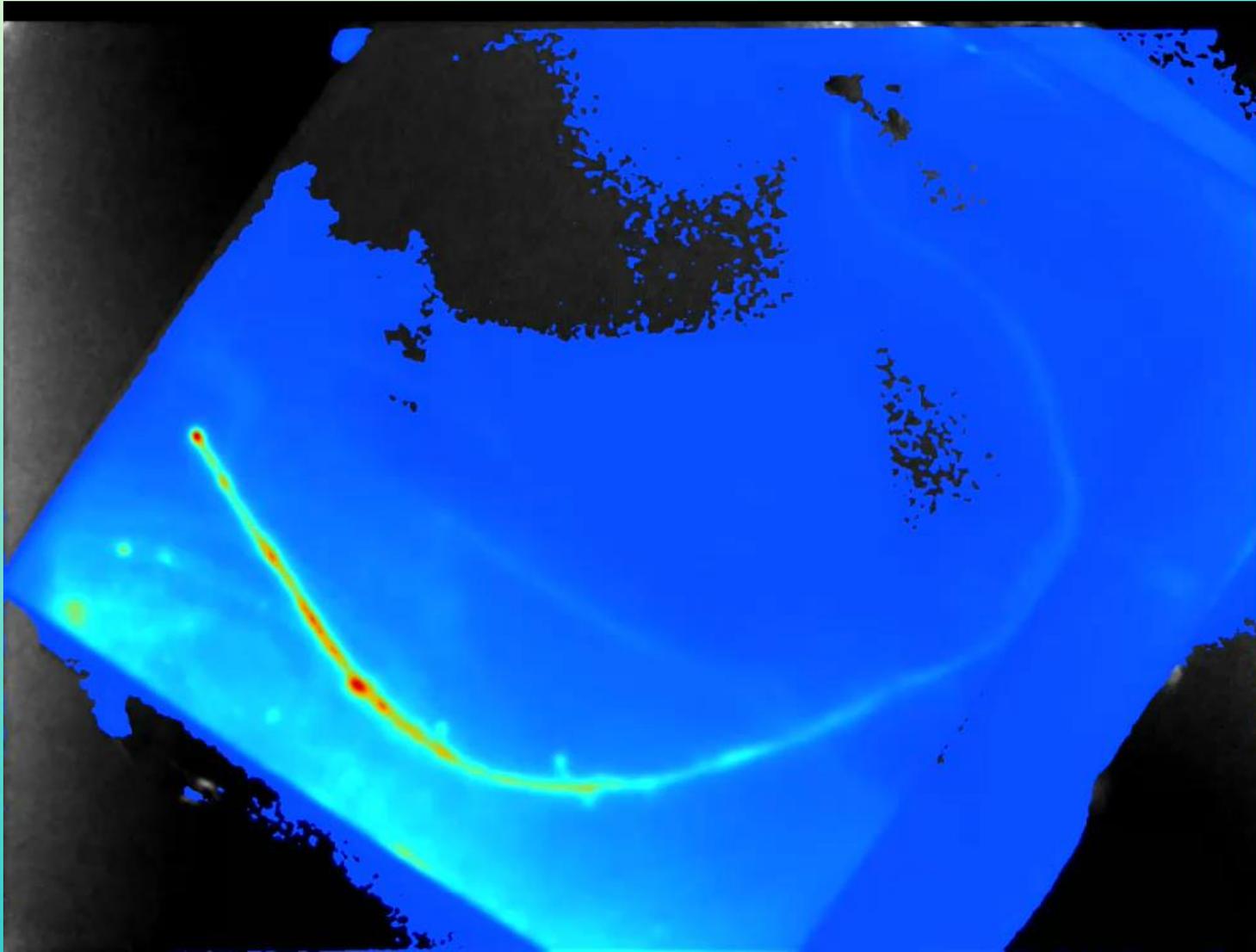


The plant was
illuminated with
 $150 \mu\text{E}/\text{m}^2$

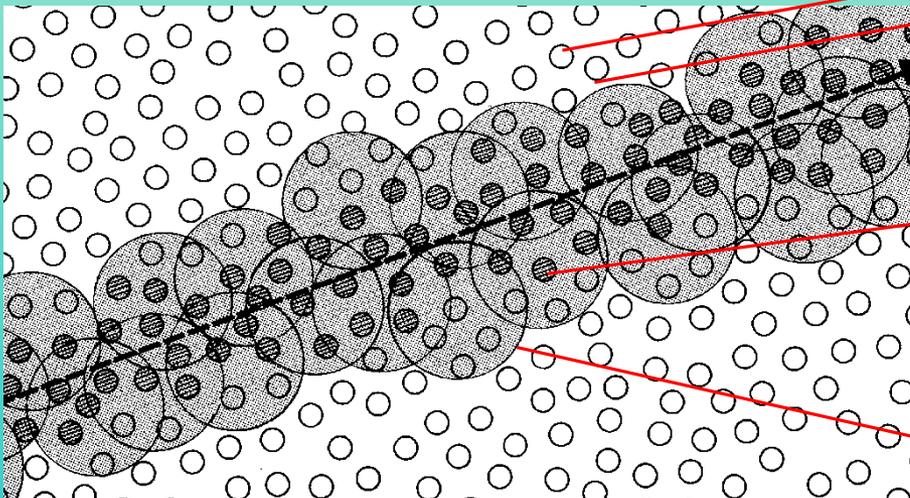
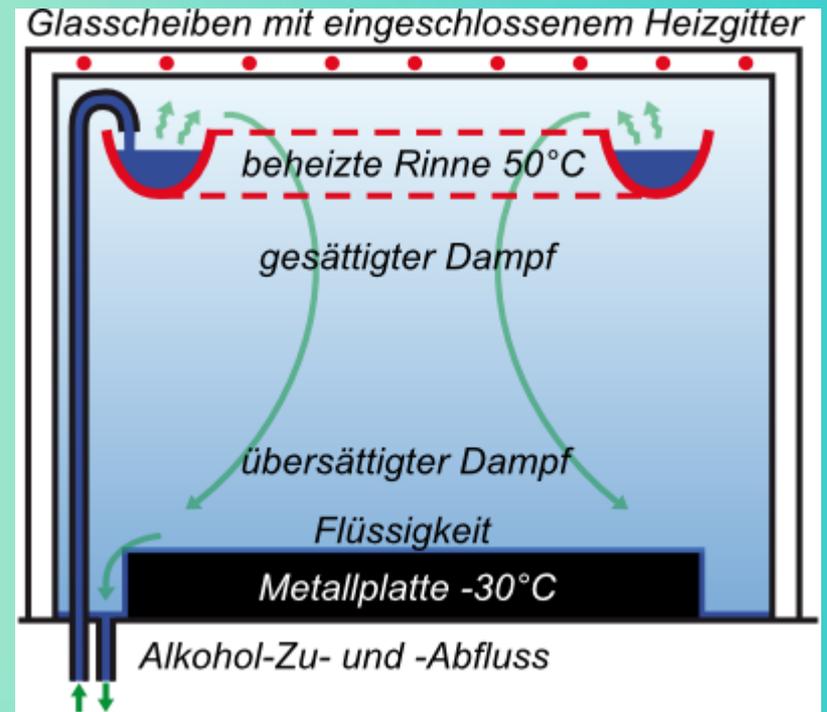
Experimental design for root studies



Dynamic Root uptake study with P-32 Phosphate, started 17.10.2014 for 71 h



Die Nebelkammer



Alkoholmolekül

(unsichtbar)

ionisiertes Alkoholmolekül

(unsichtbar)

Flüssigkeitströpfchen (sichtbar)

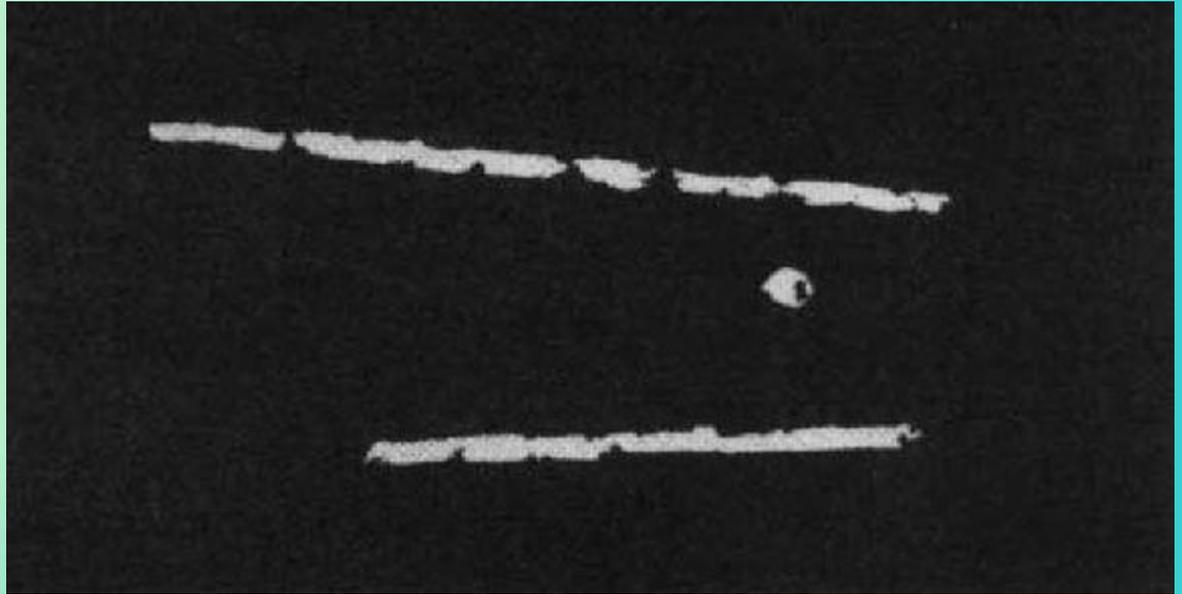
Alpha-Strahlung



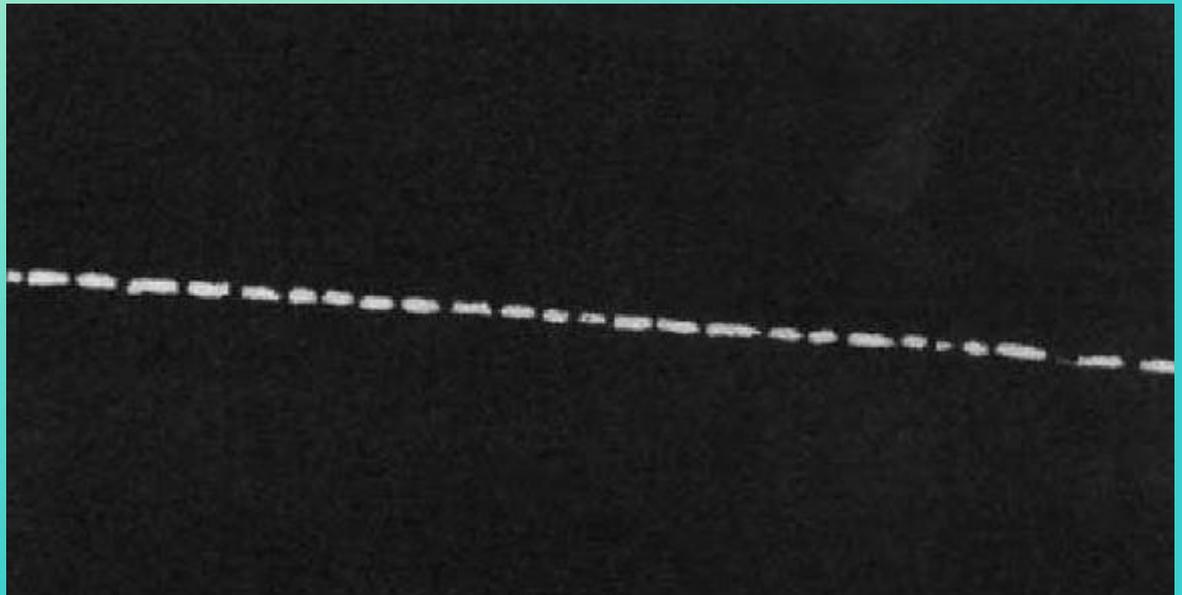
Beta-Strahlung



Protonen



Myonen



Das erste Geigerzähler-Handy kommt aus Japan



Screenshot Android App Radioactivity Counter (Bild: Rolf-Dieter Klein)

