

FORTBILDUNG FÜR STRAHLENSCHUTZBEAUFTRAGTE

Röntgendiagnostik

Donnerstag, 18. April 2024

Thema:
Strahlen Wellen Teilchen

Referentin:
Petra Hartmair, BSc MSc
Abteilung Umweltschutz-Strahlenschutz
beim Amt der Oö. Landesregierung



FOTO ©Siemens



Strahlung – Wellen - Teilchen

Physikalische Grundlagen

Petra Hartmair BSc MSc BSc

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Abteilung Umweltschutz/Strahlenschutz
Kärntnerstraße 10-12
4021 Linz



www.land-oberoesterreich.gv.at
Themen – Umwelt und Natur – Strahlen und Licht





Strahlung

Energieausbreitung durch Teilchen oder Wellen



Anregung und Ionisation

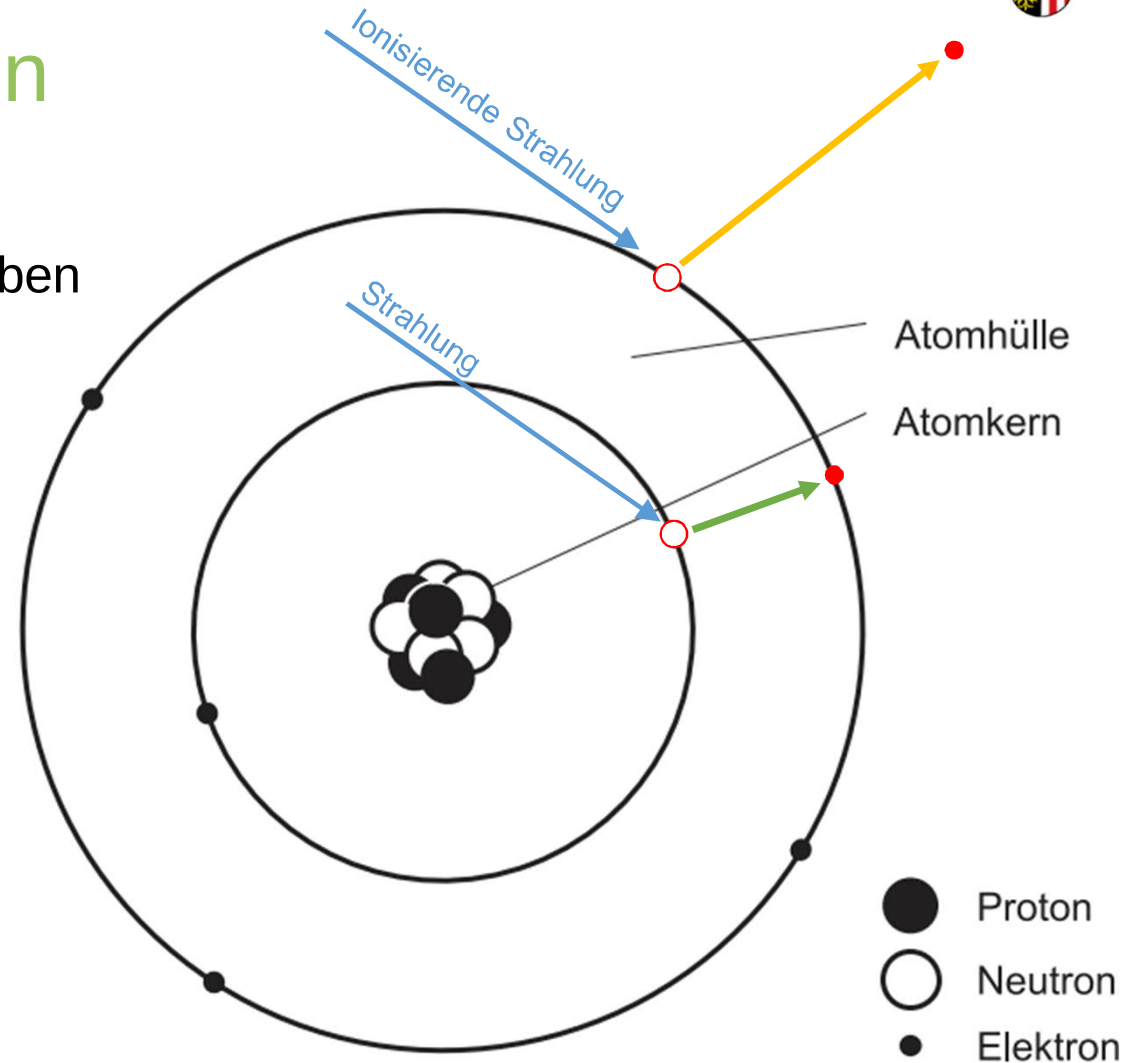
Anregung

- e^- wird in eine höhere Schale gehoben
- sekundär Emission von Wellenstrahlung oder Erwärmung des Materials

Ionisation

- e^- wird aus der Hülle entfernt

Ion – negativ oder positiv geladenes Atom / Molekül



Ionisierende Strahlung

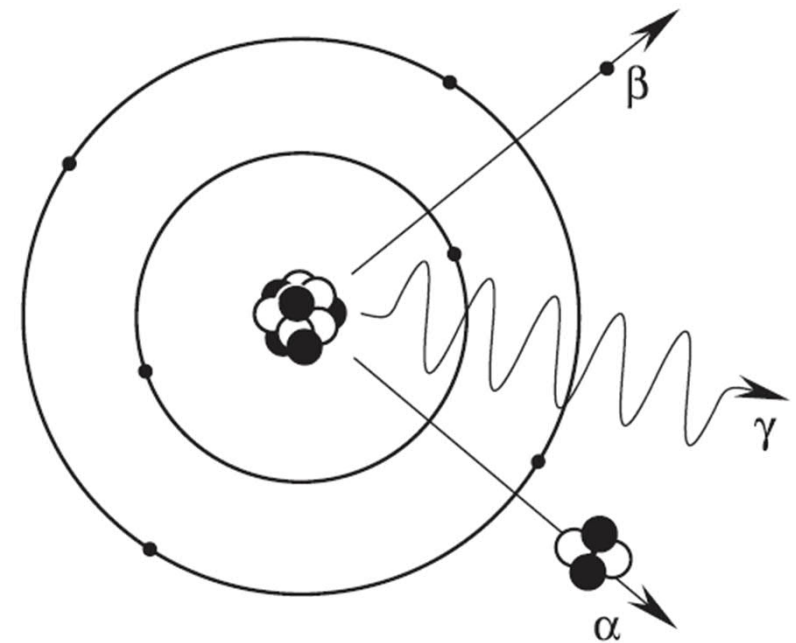
hat genügend Energie, um Atome und Moleküle zu ionisieren.

Materiestrahlung

- mit hoher Geschwindigkeit den Raum durchsetzende kleinste Teilchen
- besitzen eine Ruhemasse
- zB. Alpha-, Beta-, Protonen-, Neutronenstrahlung
Ionen, Atome

Elektromagnetische Strahlung

- Röntgen- und Gammastrahlen
werden nach ihrer Entstehung unterschieden



Strahlungsemission aus dem Atomkern

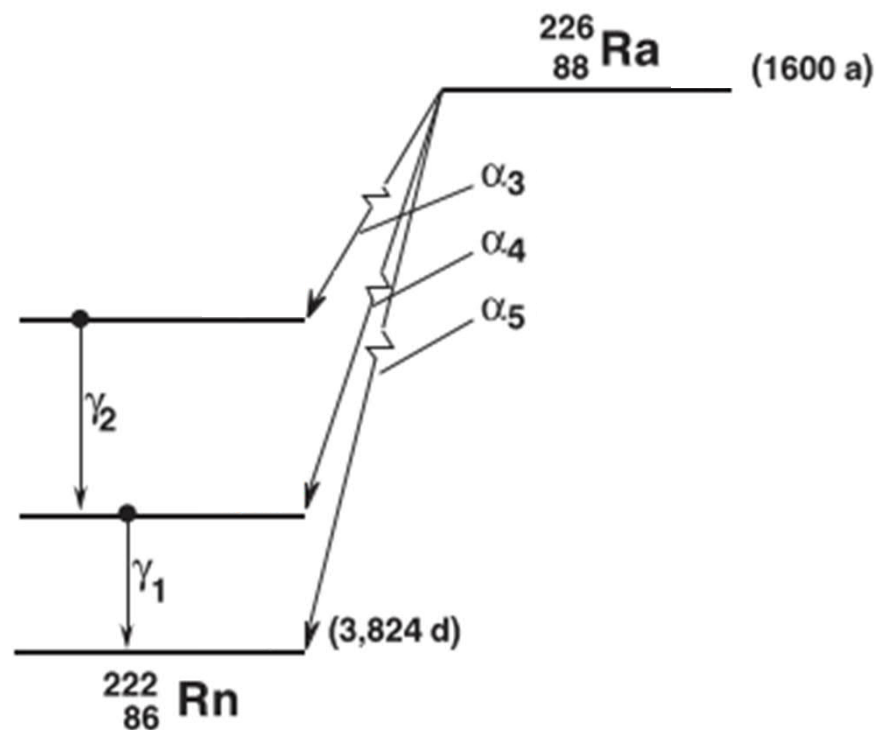
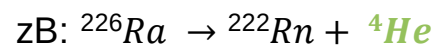


Teilchenstrahlung

α – Strahlung

bei schweren Atomkernen ($Z > 83$)

$2 p + 2 n = \text{Heliumkern}$



Übergänge bei Radium-226 zu Radon-222

Kernladungszahl = Anzahl der Protonen

Massenzahl = Anzahl der Protonen und Neutronen

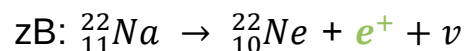


Teilchenstrahlung

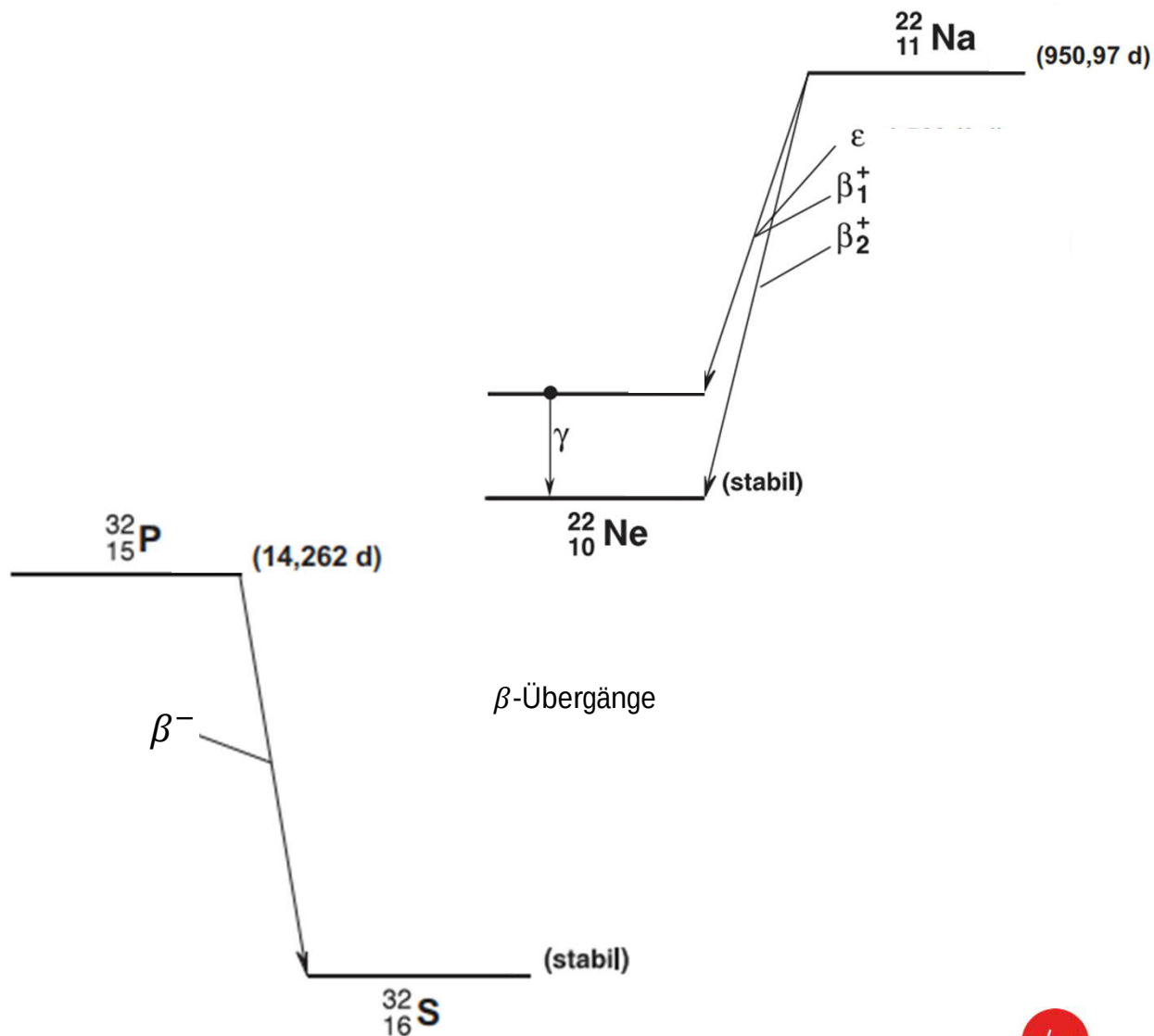
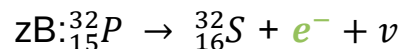
β – Strahlung

tritt bei Atomkernen auf, die zu viele oder zu wenige Neutronen besitzen, um stabil zu sein.

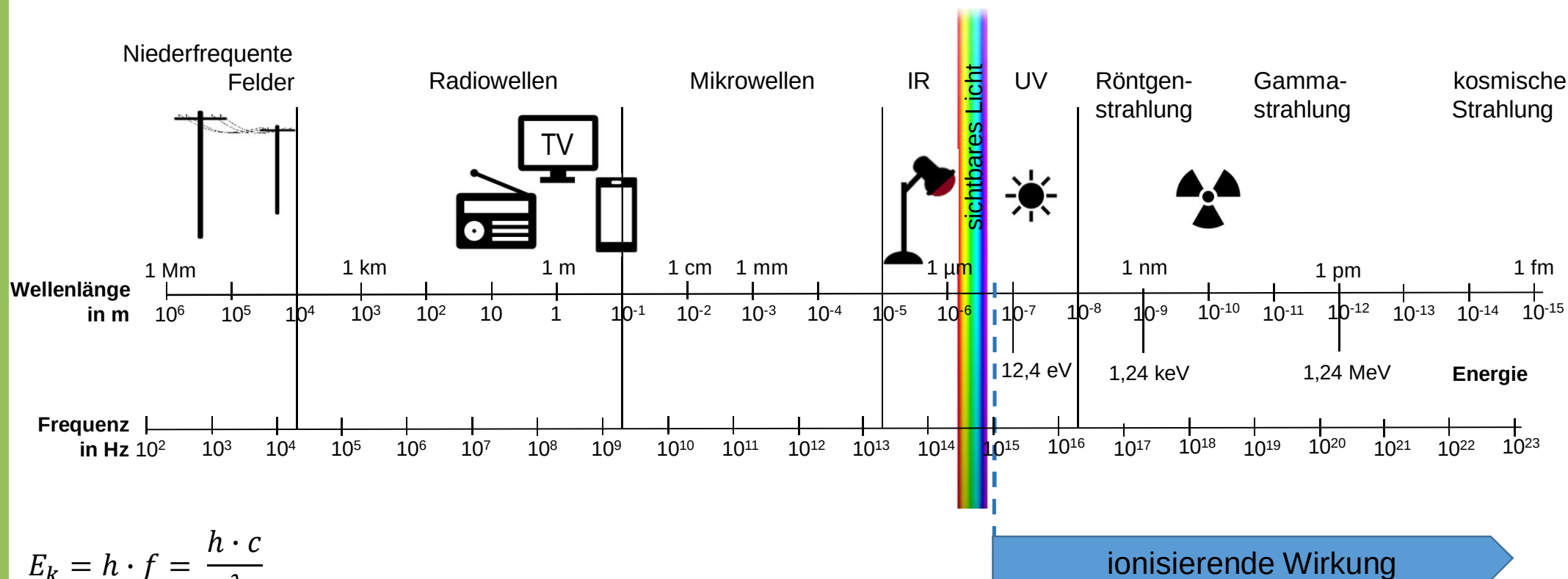
$$\beta^+: p \rightarrow n + e^+ + \nu \text{ (Neutrino)}$$



$$\beta^-: n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \text{ (Antineutrino)}$$



Elektromagnetisches Spektrum

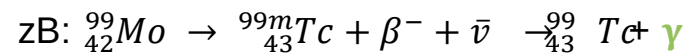


$$E_k = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$
$$h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$$
$$c = 299792458 \text{ m/s}$$

Wellenstrahlung

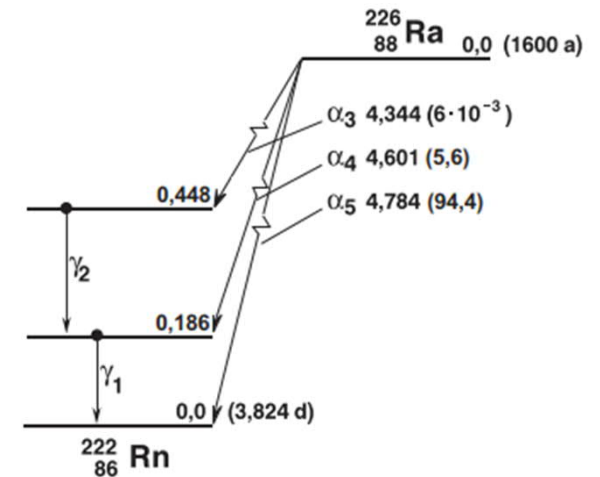
γ – Strahlung

- Atomkern geht aus einem angeregten Zustand unter Emission eines Photons in einen Zustand niedrigerer Energie über.
- γ -Quant = Photon (Elektromagnetische Welle)



Röntgenstrahlung

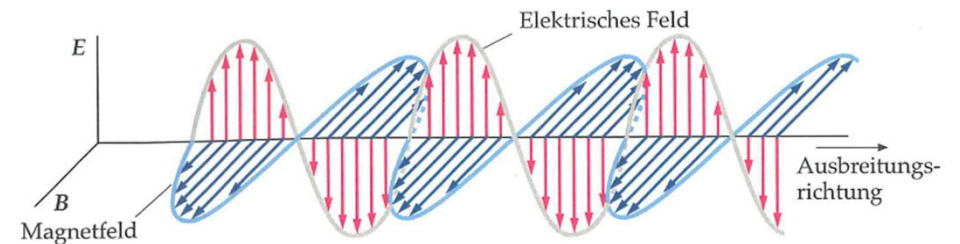
- entsteht beim Auftreffen schnell bewegter geladener Teilchen auf Materie



Übergänge bei Ra-226

Anregungsenergien in MeV,

Zahlenwerte in Klammern: Teilchenausbeute in %





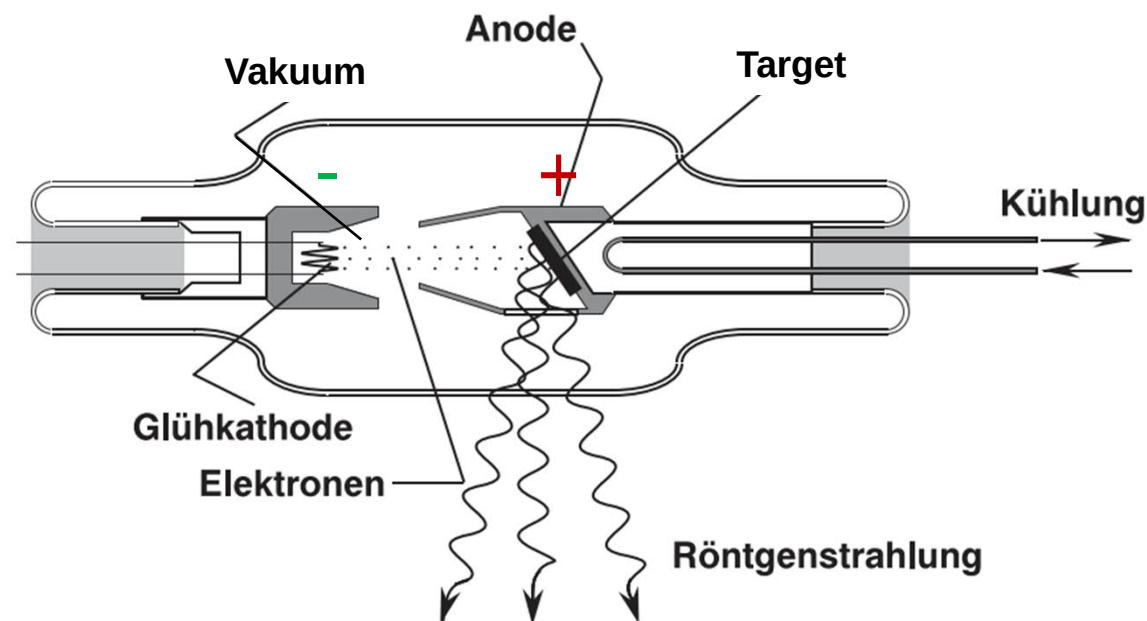
Prozess der Röntgenstrahlung

1. Erzeugung von Röntgenstrahlung
2. Wechselwirkungen mit Materie
3. Biologische Auswirkungen

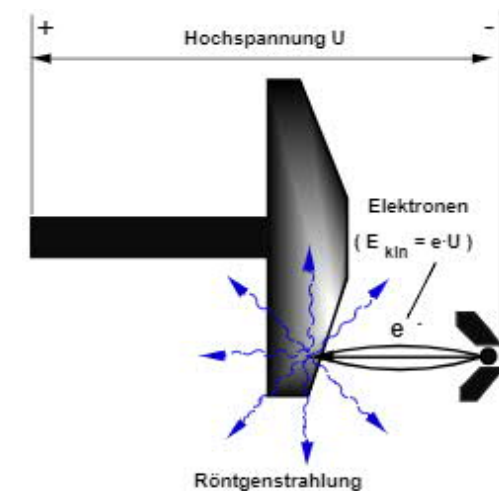


Erzeugung von Röntgenstrahlung

Erzeugung von Röntgenstrahlung



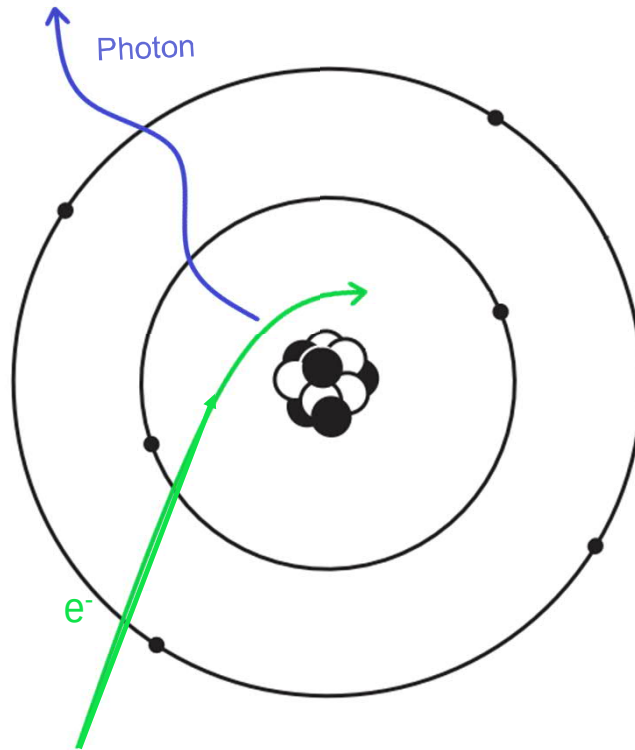
Funktionsprinzip einer Röntgenröhre
Quelle: adaptiert von Vogt und Vahlbruch 2019



Funktionsprinzip einer
Röntgenröhre mit Drehanode
Quelle: Nagel 2003

Röntgenstrahlung

Zu unterscheiden dabei ist die Röntgen-Bremsstrahlung und die charakteristische Röntgenstrahlung.



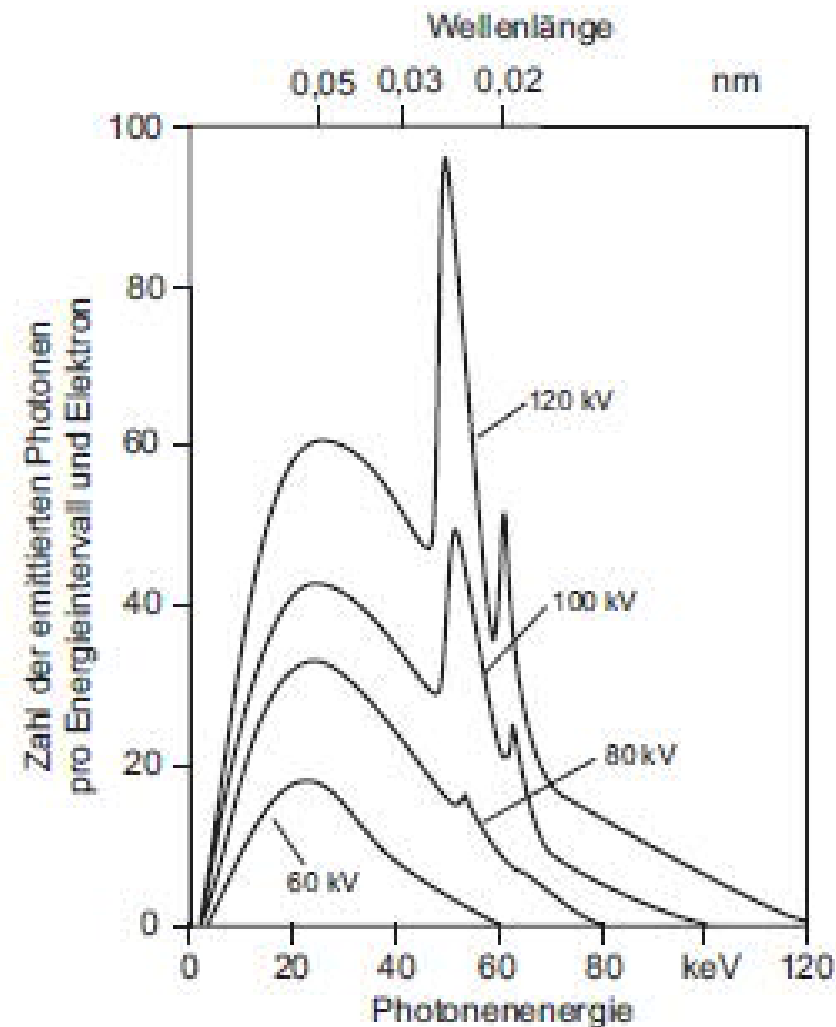
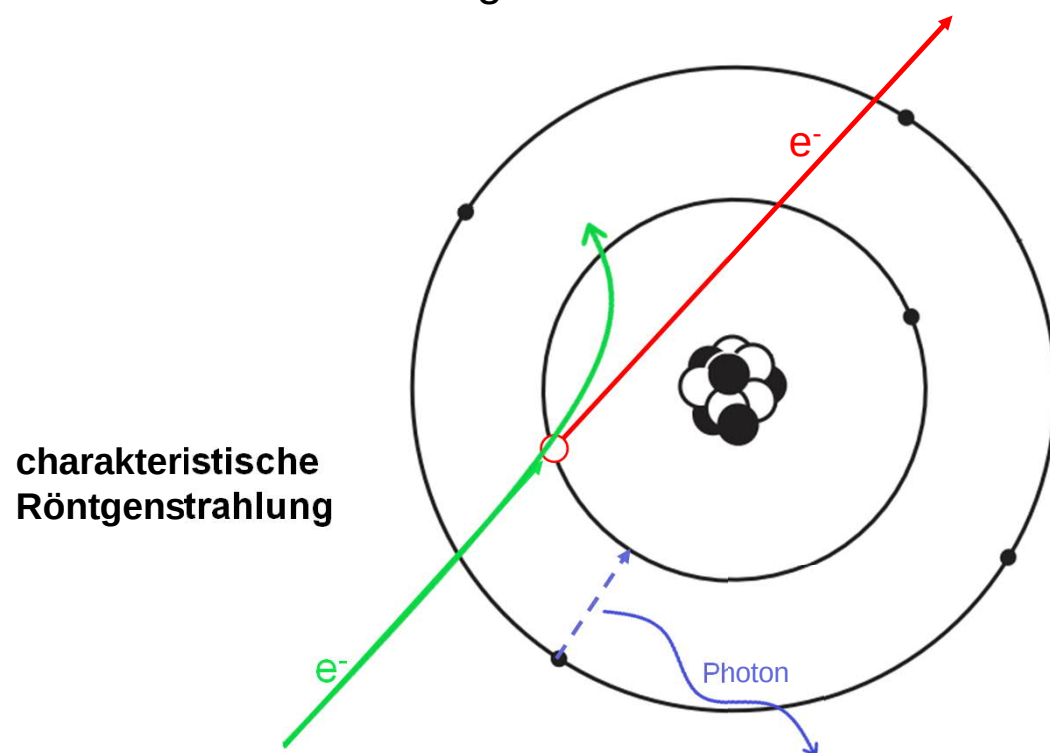
Bremsstrahlung

- Die auftreffenden Elektronen weisen nahezu dieselbe Energie wie die Beschleunigungsspannung auf (z.B. ca. 200 keV).
- Die austretenden Röntgenstrahlungsphotonen verteilen sich über den gesamten Energiebereich (z.B. von 0 bis 200 keV).
- kontinuierliches Energiespektrum

Röntgenstrahlung

Charakteristische Röntgenstrahlung

- tritt mit bestimmten für das Targetmaterial charakteristischen Energien auf.



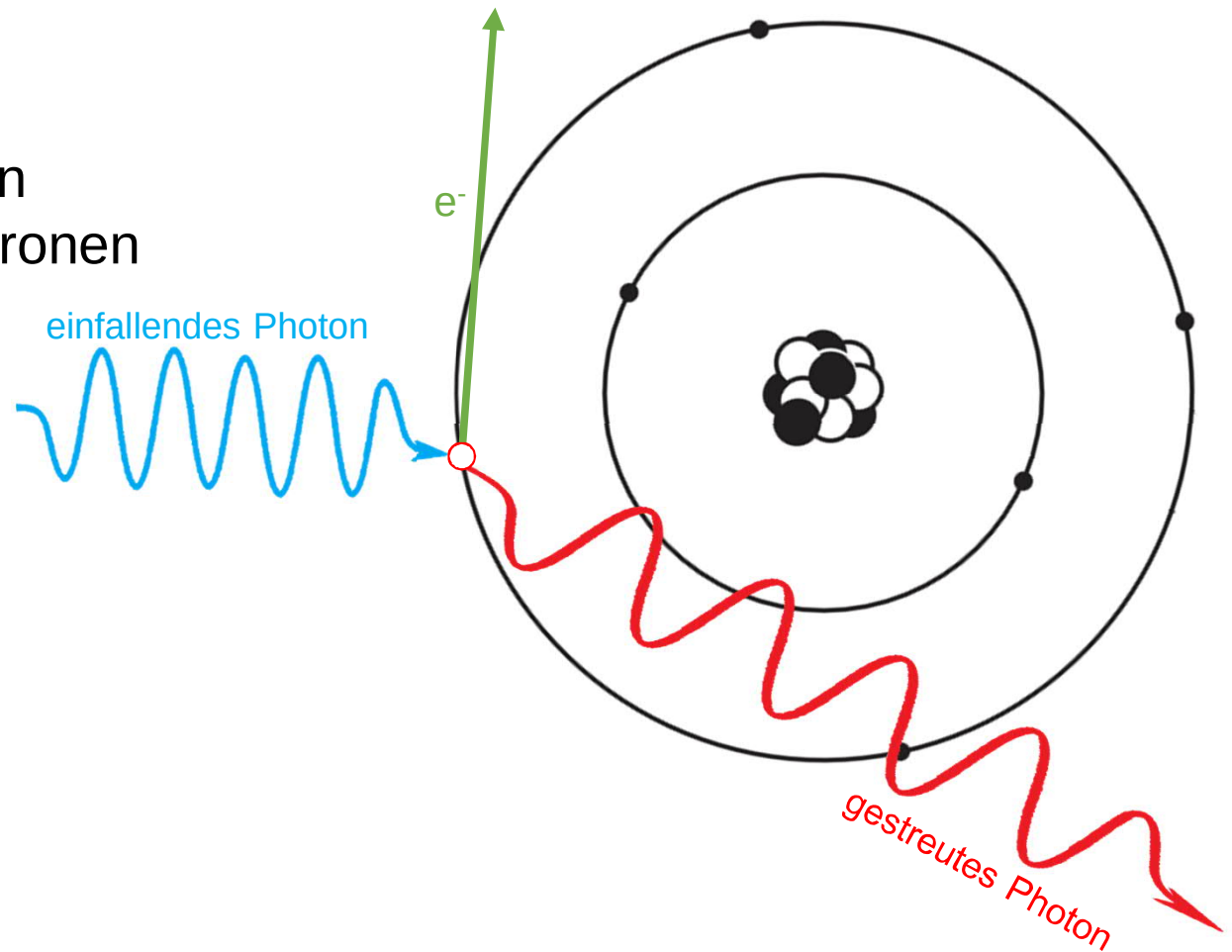


Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie

Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie

Comptonstreuung

- inelastische Streuung von Photonen an Hüllenelektronen
- Photon überträgt ihre Bewegungsenergie teilweise auf e^-
- Gestreutes Photon ist langwelliger und hat die Ortsinformation verloren.
->Störfaktor



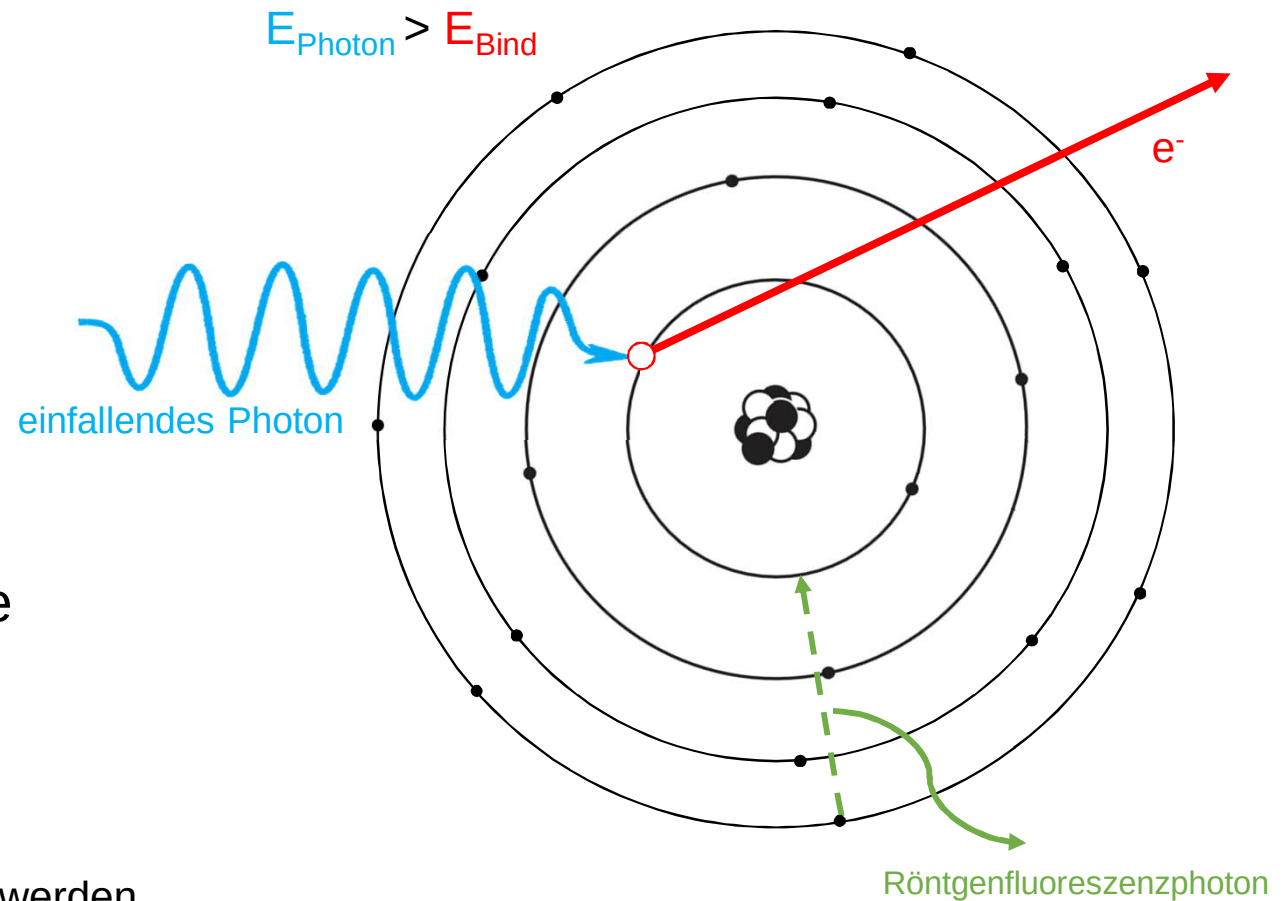
Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie

Photoeffekt

- Photonenabsorption setzt kernnahes Elektron frei
- Photon überträgt ihre Bewegungsenergie vollständig auf e^-
- Sekundärstrahlung hat eine geringe Reichweite

Röntgen-Fluoreszenzstrahlung

- diskretes Spektrum
- kann zur Materialanalyse verwendet werden





Wechselwirkungsprozesse

Die Wahrscheinlichkeit mit der einer dieser Prozesse bei der Wechselwirkung eines Photons vorkommt, hängt von der **Energie der Photonen** und der **Art der bestrahlten Materie** ab.

D.h. die Wahrscheinlichkeit ist abhängig von **Photonenenergie** und **Kernladungszahl** der bestrahlten Materie.



Wechselwirkungsprozesse

Comptoneffekt

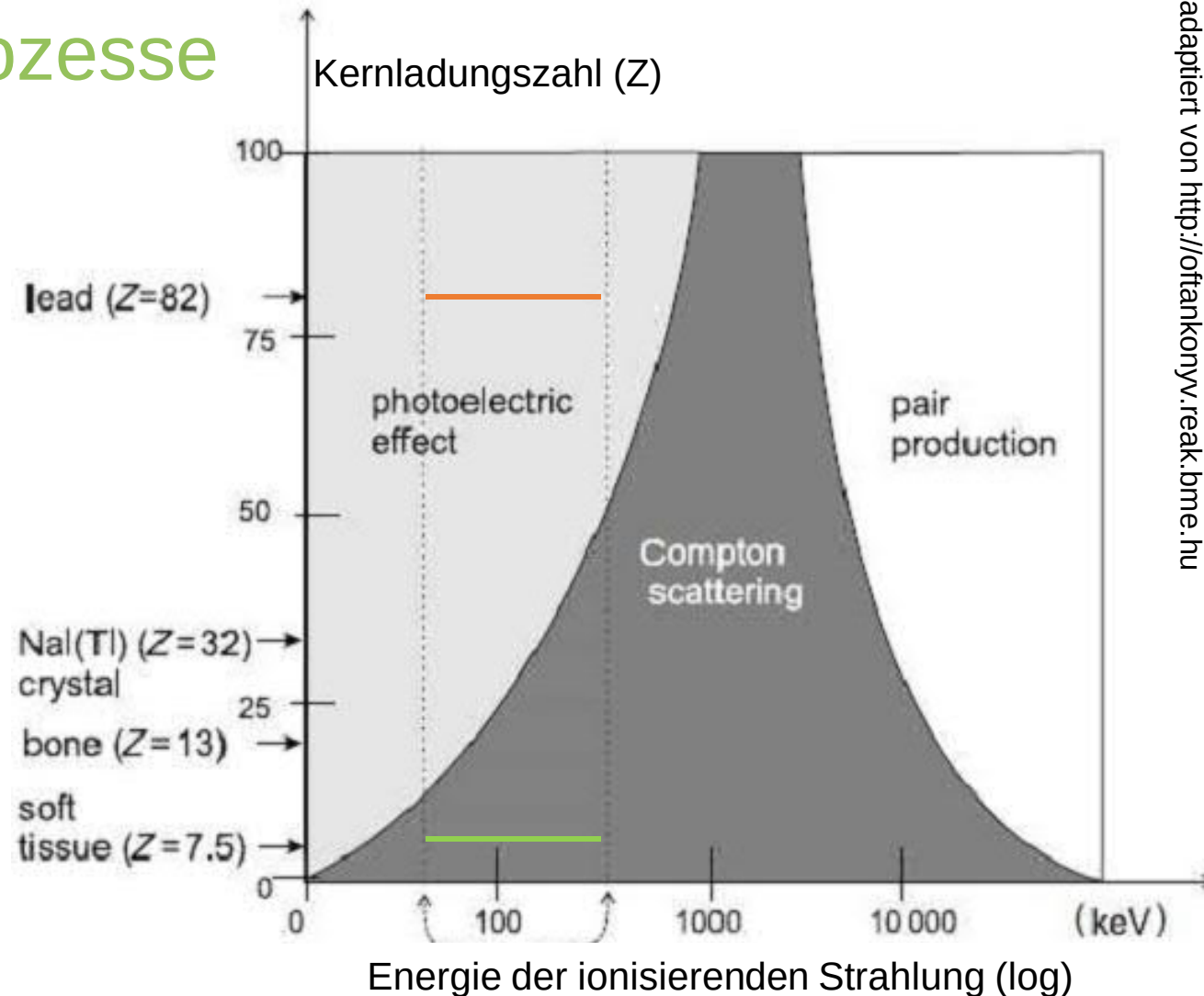
dominiert für kleine
Kernladungszahlen

- hoher Rückstreuanteil in der Röntgendiagnostik

Photoeffekt

überwiegt für schwere
Elemente

- Photonenenergie wird im Blei
größtenteils absorbiert



Abschirmung durch Materialien hoher Ordnungszahl

Bei **70 kV** hält eine **0,35 mm** Bleischürze ca. **98%** der Strahlung ab.

Transmission von Strahlenschutzschürzen (Quelle: IEC 61331-1; 2014)

mm Pb	50 kV	70 kV	90 kV	110 kV	130 kV	150 kV
0,25	0,8 %	3,5 %	7,3 %	10 %	13 %	16 %
0,35	0,2 %	1,7 %	4,3 %	6,5 %	8,4 %	10 %
0,50	0,05 %	0,7%	2,3 %	3,5 %	4,7 %	5,9 %

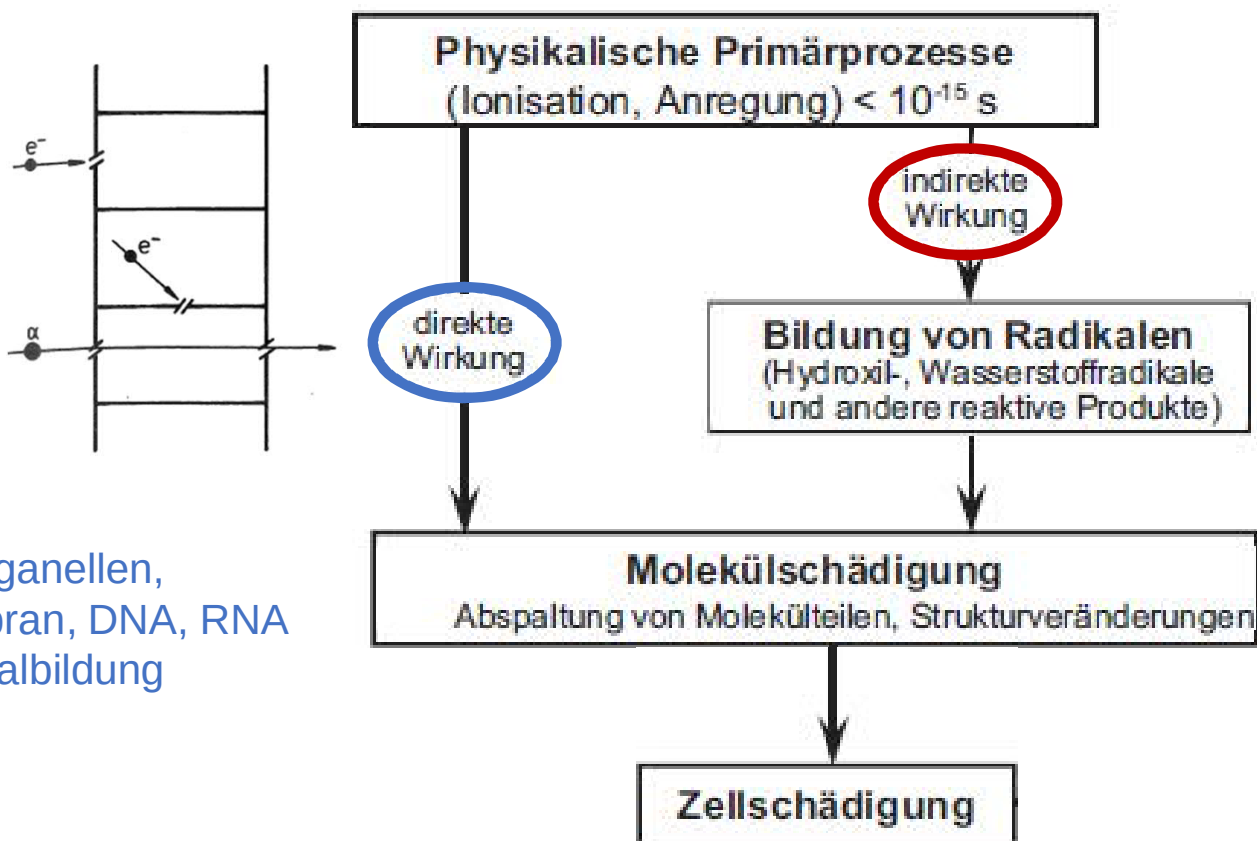
Quelle: Hartmair





Biologische Wirkung ionisierender Strahlung

Biologische Wirkung



- Zellorganellen, Membran, DNA, RNA
- Radikalbildung

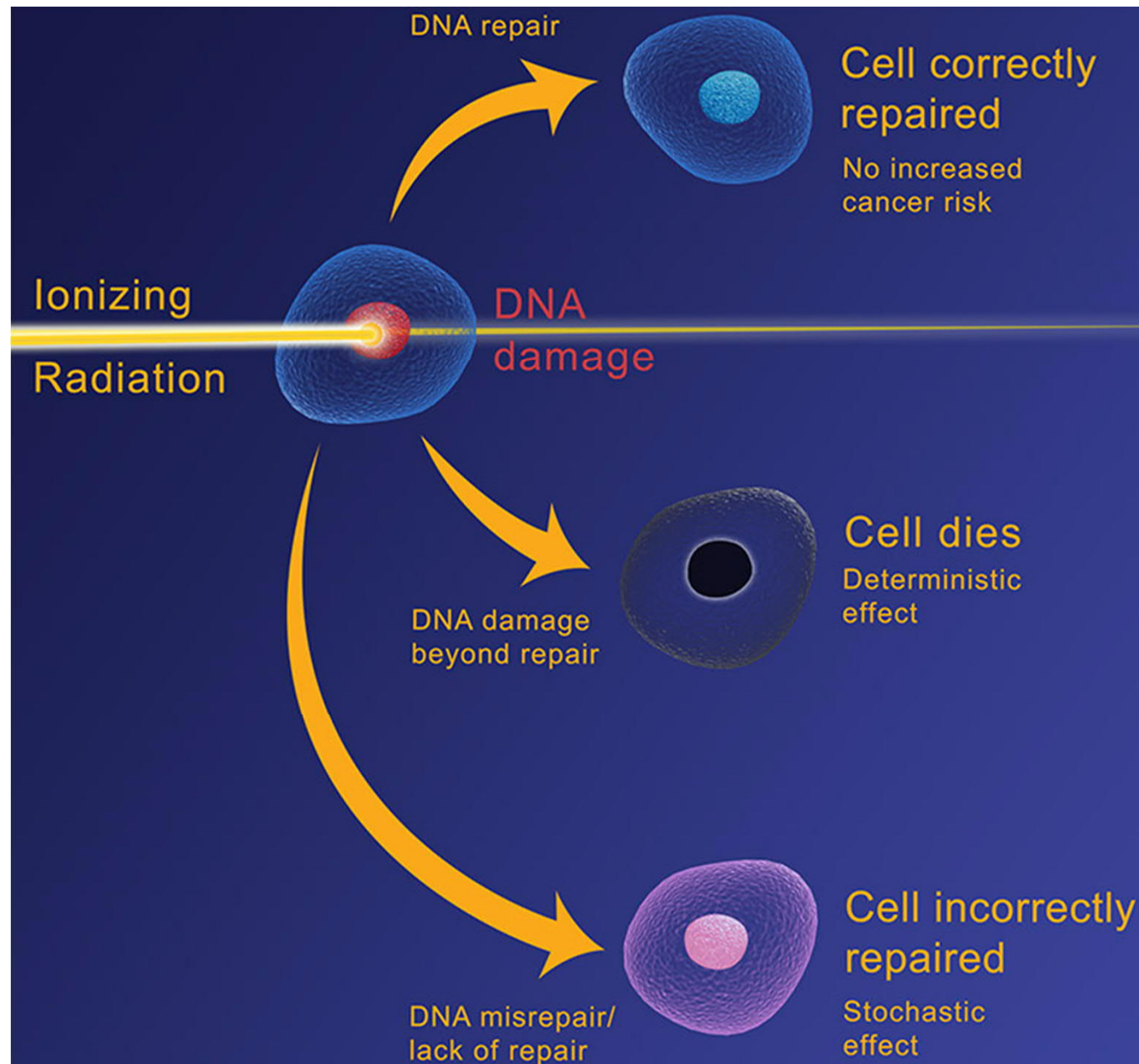
- Bildung von Wasserradikalen
- Schäden durch Reaktion mit Radikalen

DNA-Schäden, gestörtes Zellteilungsverhalten, Stoffwechselveränderungen, Membranveränderung

DNA-Schädigung

- Reparatur -> kein dauerhafter Schaden
- Reparaturfehler -> Mutationen
- Zelltod

Quelle: <http://nuclearsafety.gc.ca>





Einteilung der Strahlenschäden nach Art des Effekts

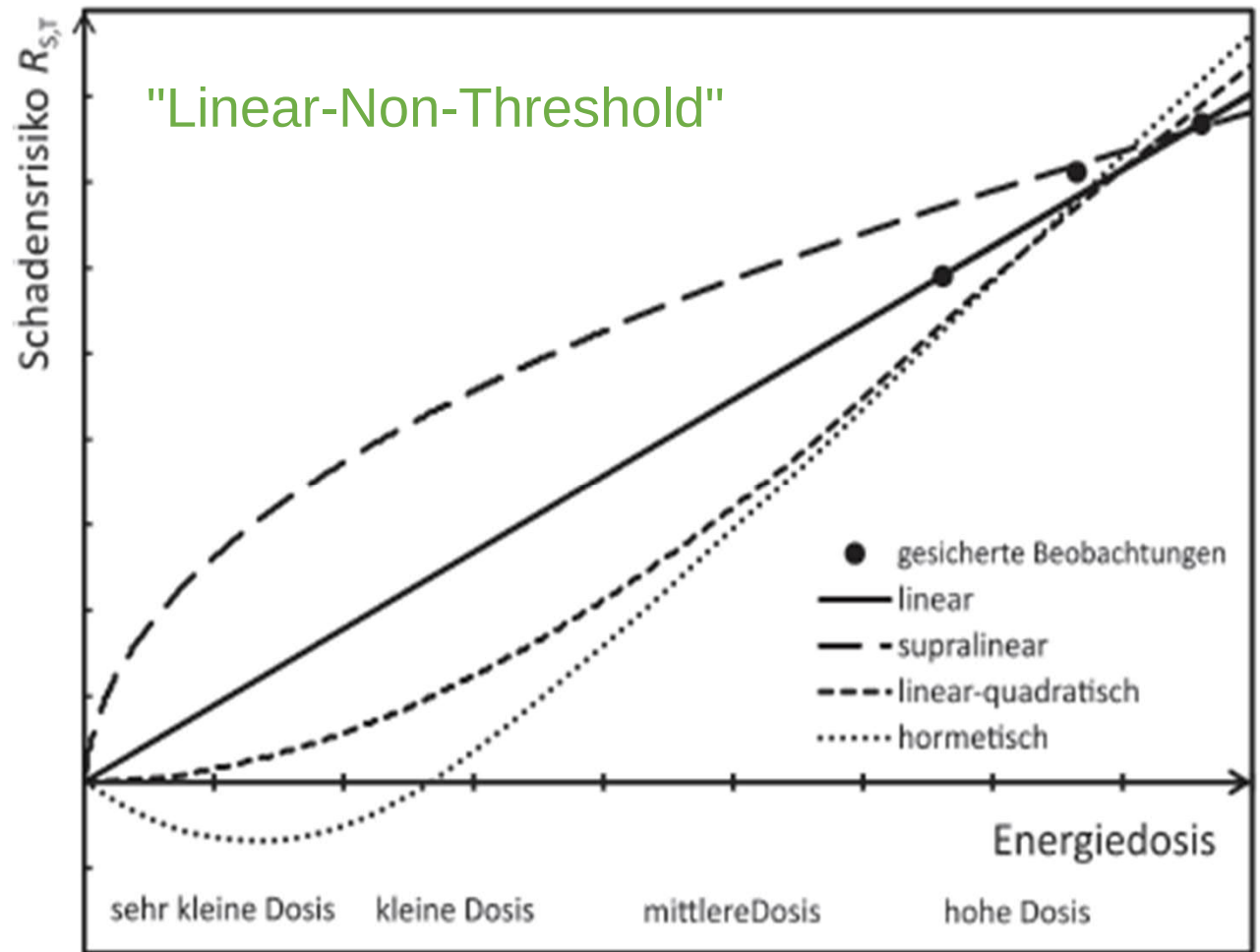
Stochastischer Effekt

Deterministischer Effekt



Stochastische Strahlenschäden

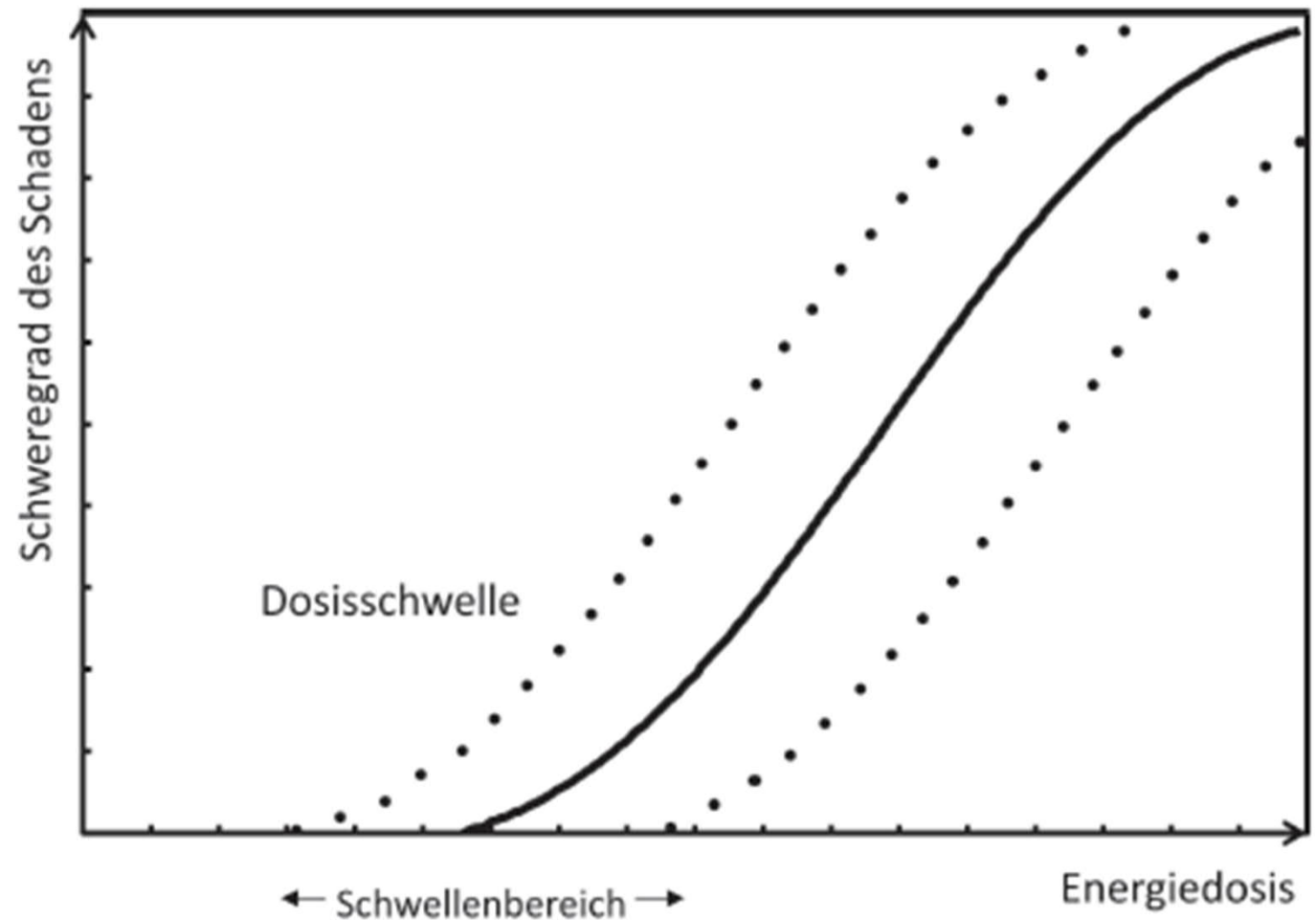
- Je höher die Dosis, desto höher die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Schadens.
- sind zufällig ausgelöste Schäden, die zu einer gestörten Zellteilung führen
- Latenzzeit (2-40a)





Deterministische Strahlenschäden

- Schwellendosis
- Je höher die Dosis, desto schwerer der Schaden.
- vorhersehbar





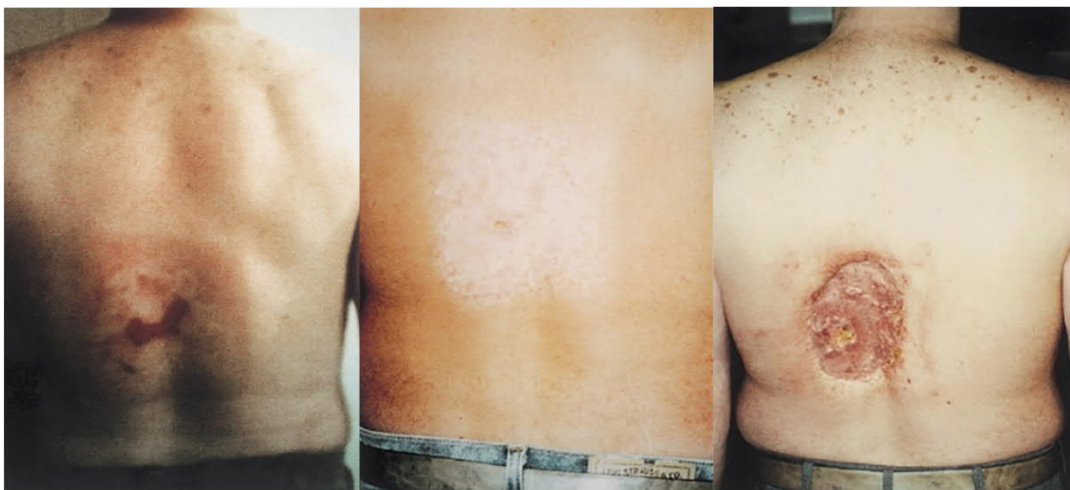
Deterministische Strahlenschäden

- Schwellendosis
- Je höher die Dosis, desto schwerer der Schaden.
- vorhersehbar

Ganzkörperdosis	Symptom / Auswirkung
200 - 250 mSv	Blutbildveränderungen
1 Sv	akute Strahlenkrankheit (Übelkeit, Erbrechen, Ermüdung, ...)
4 Sv	LD 50
7 Sv	LD 100

Deterministische Schäden

nach einer Hautdosis von >20 Gy durch mehrere Angiographien



6-8 Wochen

16-21
Wochen

18-21 Monate



Hautrötungen aufgrund von 151 CT-Scans der Halsregion

- lokale Dosis auf 3-11 Sv geschätzt



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellen:

- **Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes**; Hans-Gerrit Vogt, Jan-Willem Vahlbruch, 7. Auflage 2019
- **Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes**; Hanno Krieger, 5. Auflage 2017
- **Strahlenphysikalische Grundlagen der Röntgendiagnostik**; Hans Dieter Nagel, 2003
- <http://oftankonyv.reak.bme.hu/tiki-index.php?page=Physical+processes+important+for+radiation+detection>
- <https://www.nytimes.com/2009/10/16/us/16radiation.html>
- <http://nuclearsafety.gc.ca>
- ICRP, 2000. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30 (2)