

*In der Krebstherapie gibt es drei Behandlungsmethoden: Operation, Chemotherapie und Strahlentherapie. Oft werden auch mehrere Therapiemethoden kombiniert. Aus biophysikalischer Sicht ist hier vor allem die Strahlentherapie interessant.*

*Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung wird am Ende des Kapitels Medizinphysik noch ausführlich behandelt.*

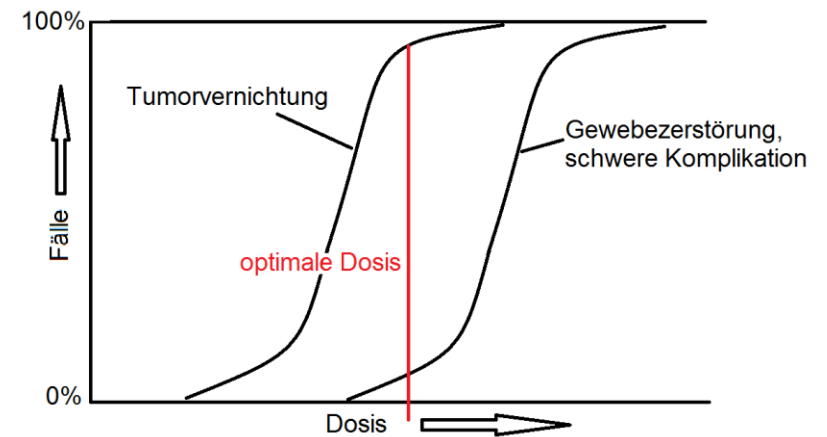
## **4.2 Strahlentherapie**

### **Grundprinzip**

Bei der Strahlentherapie werden Zellen durch .....  
..... geschädigt.

Der Reparaturmechanismus von Krebszellen funktioniert aber .....  
als der von gesunden Zellen. Dadurch können sich die gesunden Zellen .....  
und die Krebszellen .....

Der Tumor soll eine .....  
..... Energiedosis erhalten,  
umliegendes gesundes Gewebe eine  
.....  
Dosis.



[Wollewoox; <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dosis.png>]

Je nach Lage und Art des Tumors kommen verschiedene Bestrahlungsarten zum Einsatz. Einige davon werden nun genauer betrachtet.

*Cyberknife ist robotergestützter Linearbeschleuniger, der als Strahlenquelle für die Strahlentherapie dient. Im Jahr 2005 wurde in München die deutschlandweit erste solche Anlage in Betrieb genommen. Stand 2024 gibt es in Deutschland 13 Anlagen.*

*Wie die hochenergetischen Photonen genau entstehen, lernst du im Kapitel zur Erzeugung von Röntgenstrahlung.*

*Der Roboterarm ist so beweglich und präzise, dass er den Tumor aus bis zu 3000 Richtungen bestrahlen kann. Bewegungen, z.B. durch Atmung, werden von einem Ortungssystem erfasst und ausgeglichen.*

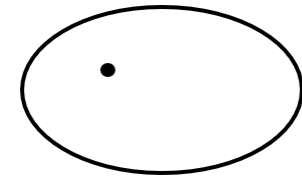
## Cyberknife – Bestrahlung mit Photonen

### Erzeugung der Photonen:



[Communications Manager; [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robotic\\_CyberKnife\\_at\\_St.\\_Marys\\_Of\\_Michigan.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robotic_CyberKnife_at_St._Marys_Of_Michigan.jpg)]

### Bestrahlung des Tumors:

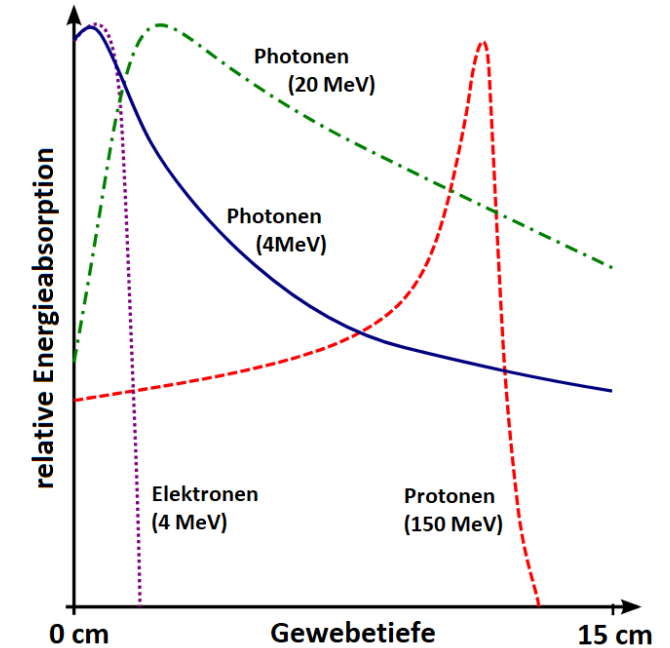


*In Heidelberg nahm im Jahr 2009 das deutschlandweit erste Protonen- und Ionenstrahltherapiezentrum den Betrieb auf. Davor war eine solche Behandlung nur im kleinen Rahmen in Forschungseinrichtungen möglich. Stand 2024 existieren fünf solcher Anlagen in Deutschland.*

***Beschreibe das besondere Verhalten von Protonen bei der Energieabgabe im Gewebe. Erkläre, was dies für die Tumor-Bestrahlung bedeutet.***

*Für die Bestrahlung mit Schwerionen ist ein Synchrotron nötig. Daher sind die Kosten für solche Anlagen sowie für die Behandlung sehr hoch.*

## Protonen- und Partikeltherapie



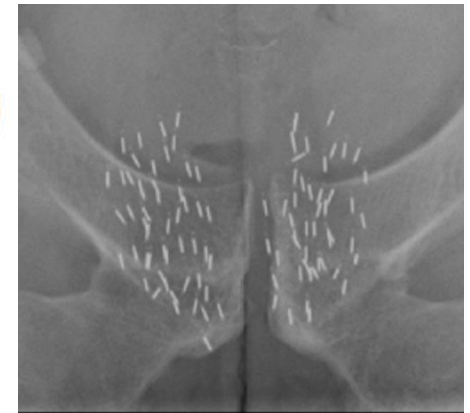
[MBq Disk Bew ; SVG-Umsetzung Cepheiden; <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tiefendosiskurven.svg>]

Zwei weitere aus biophysikalischer Sicht interessante Bestrahlungsarten funktionieren mit radioaktiven Stoffen. Diese werden hier kurz dargestellt.

## Ausblick: Weitere Therapiearten

### Brachytherapie:

Mehrere ummantelte radioaktive Präparate (=Seeds) werden direkt im oder am Tumor platziert. Um das bestmögliche Ergebnis zu bekommen, erstellen Medizophysiker eine Art „Landkarte“, nach der Ärzte die Seeds einsetzen



[James Heilman, MD;  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BrachytherapybeadsNo.png>]

### Radionuklidtherapie:

Dem Patienten werden radioaktiv markierte Stoffe gespritzt, die sich ausschließlich am gewünschten Ort anreichern und dort über einen längeren Zeitraum zerfallen. Z.B.:

- Schilddrüsenkrebs: NaI mit  $^{131}\text{I}$  ( $\beta$ -Strahler mit Halbwertszeit  $T_{1/2} = 8,0 \text{ d}$ ).  
 Die Schilddrüse ist der einzige Ort im Körper, an dem sich Iod anreichert.
- Knochenmetastasen:  $\text{SrCl}_2$  mit  $^{89}\text{Sr}$  ( $\beta$ -Strahler mit  $T_{1/2} = 51 \text{ d}$ ).  
 Strontium steht im PSE in derselben Hauptgruppe wie Kalzium, hat daher ähnliche chemische Eigenschaften wie Kalzium und wird vom Körper wie Kalzium in Knochen eingebaut.

	1				
1	1,008 <b>H</b> Wasserstoff 2,2 0,09				
2	6,94 <b>Li</b> Lithium 0,98 0,53	9,0122 <b>Be</b> Beryllium 1,57 1,85			
3	22,990 <b>Na</b> Natrium 0,93 0,97	24,305 <b>Mg</b> Magnesium 1,31 1,74			
4	39,098 <b>K</b> Kalium 0,82 0,86	40,078 <b>Ca</b> Calcium 1,0 1,55	44,956 <b>Sc</b> Scandium 1,36 2,98		
5	85,468 <b>Rb</b> Rubidium 0,82 1,53	87,62 <b>Sr</b> Strontium 0,95 2,63	88,906 <b>Y</b> Yttrium 1,22 4,47		
6	132,91 <b>Cs</b> Caesium 0,79 1,90	137,33 <b>Ba</b> Barium 0,89 3,59	138,91 <b>La</b> Lanthan 1,10 6,15		
7	223,03 <b>Fr</b> Francium 0,7 ?	226,03 <b>Ra</b> Radium 0,9 5,5	227,03 <b>Ac</b> Actinium 1,1 10,1		