- 1. Ein Elektron werde in einem homogenen elektrischen Feld von 0.8 MV/m beschleunigt.
 - a) Wie gross ist die kinetische Energie des Elektrons nach 0.5 m zurückgelegter Distanz im E-Feld (in eV und in Joule)? 0.4 MeV bzw. 400 keV; $6.4 \cdot 10^{-14} \text{ J}$
 - b) Skizzierten Sie die Röntgenspektren, wenn die beschleunigten Elektronen nach 0.1 m bzw. nach 0.5 m auf eine Wolfrahm-Anode treffen.
- 2. Die Wellenlänge von monochromatischer Röntgenstrahlung betrage 0.1 nm.
 - a) Welche Energie (in Elektronenvolt) besitzt ein Photon dieser Strahlung? 12.5 keV
 - b) Warum handelt es sich bei dieser Strahlung um ionisierende Strahlung (Begründung)? Oberhalb Grenzenergie 5 keV (StSV) bzw. kleiner als Grenzwellenlänge (100 nm, ICNIRP), Biologisch: Ionisation von Wassermolekülen durch einzelnes Photon
 - c) Welche Röhrenspannung müsste mindestens an einer Röntgenröhre anliegen, damit Strahlung mit dieser Energie erzeugt werden kann? 12.5 kV
 - d) Welche Art von Wechselwirkung mit Wasser ist bei Röntgenstrahlung mit einer Energie zwischen 30 50 keV dominant? Photoeffekt
- 3. Bei der Mammographie wird die charakteristische Linie von Molybdän (ca. 19 keV) für die Bildgebung benutzt. Das Brustgewebe wir horizontal zwischen zwei Platten eingeklemmt. Nun stellt sich die Frage, ob den Patientinnen eine Bleischürze für die Lenden (Lenden-Schutz, ist in einer BAG-Weisung vorgeschrieben) sowie ein Schilddrüsen-Schutz angezogen werden soll.

Wie beurteilen Sie die Situation? Welche physikalischen Gründe sprechen für oder gegen die Verwendung der Schutzmittel?

Sehr tief-energetische Röntgenstrahlung, somit sehr hohe Absorption im Gewebe und somit kaum Organbelastung durch Streustrahlung (Hauptteil der effektiven Dosis kommt im Brustgewebe selbst zustande), in diesem Energiebereich dominiert die Rückstreuung, potentiell also z.B. Schilddrüse durch Streuung belastet, jedoch mit einer Tiefe von 1 cm bereits gut geschützt.

- 4. Die lineare Absorptionskoeffizient μ von monochromatischer Röntgenstrahlung betrage $0.4~{\rm cm}^{-1}$ in Wasser.
 - a) Wie gross ist die Halbwertschicht? 1.73 cm
 - b) In welcher Tiefe in Wasser ist nur noch 10% der Dosisleitung vorhanden? 5.76 cm
- 5. Die Semiletaldosis beim Menschen beträgt ca. 4-5 Gy.
 - a) Um wie viele Grad steigt die Temperatur im Gewebe an, wenn dieses mit 4.2 Gy homogen bestrahlt wird? (Annahme: Gewebe als Wasser betrachten)

$$\Delta T = \frac{D}{mc} \approx 10^{-3} \, K$$

- b) Wie hoch müsste die absorbierte Dosis sein, damit in Wasser gerade eine Erwärmung um 0.1 °C eintritt? 420 Gy
- 6. In Tab.1 sind Intensitätswerte in Form von Pulse / s für ein Röntgenspektrum gegeben. Der Detektor (PIN-Diode) habe eine Masse von 1 g.

Tab.1. Intensitätswerte für ein Röntgenspektrum in 1 m Abstand zum Fokus

Energie / keV	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Intensität /cps	3.10^4	7.10^4	9.10^4	4.10^{4}	2.10^4

a) Wie kann aus diesen Werten die Dosisleistung in 1 m Abstand vom Fokus berechnet werden? Welche Annahmen müssen dazu gemacht werden?

Für jeden "Energiebereich" lässt sich die maximal"deponierbare" Energie aus der Photonenenergie und der Anz. Counts berechnen. Dabei muss angenommen werden, dass jedem Count ein Primärereignis zugrunde liegt, bei welchem die gesamte initiale Photonenenergie in der Diode deponiert wird. Die Dosis ergibt sich aus der Summe der einzelnen Energiebereiche und der Diodenmasse, wobei eigentlich nur die Masse genommen werden dürfte, in der die Photonen "gesehen" werden.

b) Wie gross wäre die Dosisleistung unter den im Teilaufgabe (a) gemachten Annahmen?

Berechnungstabelle:

E mean / keV	cps	E (keV)	E (J)		J / keV	
15	30000	450000	7.2099E-11		1.6022E-16	
25	70000	1750000	2.80385E-10			
35	90000	3150000	5.04693E-10			
45	40000	1800000	2.88396E-10		m Detektor (Diode) / kg	
55	20000	1100000	1.76242E-10			
					0.001	
			1.32182E-09			
		R / Gy/s	1.32182E-06	R / mGy/s	0.00132182	