

UITWERKINGEN

Examen Coördinerend Deskundige Stralingsbescherming

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN/LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum: 10 december 2018

Vraagstuk 1 Richtlijnen bij optreden van de brandweer en de vervoersgrenswaarden A_1 en A_2

Vraag 1.1 (2 punten)

Laat aan de hand van een berekening zien dat de te verwachten dosis 2 mSv bedraagt bij een inzettijd van 3 minuten op 1 meter afstand van de bron, wanneer de afzetting op een afstand van 40 meter staat. U mag uitgaan van de veronderstelling dat met 'bron' een puntbron bedoeld wordt.

Op 40 meter van de bron wordt 25 $\mu\text{Sv/h}$ gemeten. Dat is op een inzetafstand van 1 meter 40^2 zoveel: $25 \times (40)^2 = 40.000 \mu\text{Sv/h} = 40 \text{ mSv/h}$.

In 3 minuten dus $40 \times (3/60) = 2 \text{ mSv}$.

Vraag 1.2 (3 punten)

Toon met een berekening aan dat, in het geval van ^{131}I , de vervoersgrenswaarde A_1 van 3 TBq bij benadering klopt, onder de aanname die gebruikt wordt in de Inleiding van het Handboek Radionucliden.

$$A_1 = 3 \text{ TBq}$$

Genoemde aanname: maximaal 4 mSv voor 10 minuten op 3 meter.

Stel 3 TBq, dan is het omgevingsdosisequivalent

$$H^*(10) = \frac{0,066 (\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2) \times 3 \cdot 10^6 (\text{MBq})}{3^2(\text{m}^2)} \times \frac{10 (\text{min})}{60 (\text{min})} = 3,7 \cdot 10^3 \mu\text{Sv} \cdot \text{per } 10 \text{ minuten}$$

$\approx 4 \text{ mSv}$ op 3 meter afstand in 10 minuten.

Met een $A_1 = 3 \text{ TBq}$, wordt de te verwachten dosis 4 mSv op 3 m afstand in 10 minuten. Dit klopt met de aanname.

Beantwoording kan ook 'andersom':

$$H^*(10) = 4 \cdot 10^3 \mu\text{Sv} = \frac{0,066 (\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2) \times A (\text{MBq})}{3^2(\text{m}^2)} \times \frac{10 (\text{min})}{60 (\text{min})}$$

$A = 3,3 \cdot 10^6 \text{ MBq} \approx 3 \text{ TBq}$. Dit komt overeen de A_1 waarde van 3 TBq.

Vraag 1.3 (4 punten)

Concludeer op basis van een berekening of de getalwaarde A_2 van 0,7 TBq voor ^{131}I overeenkomt met de aanname uit de Inleiding van het Handboek Radionucliden.

$A_2 = 0,7 \text{ TBq}$; de ^{131}I -verbinding is onbekend dus uitgaan van de ongunstigste waarde voor de $e(50)$.

$$E(50) \text{ (Sv)} = A \text{ (Bq)} \times e(50) \text{ (Sv/Bq)} = 1 \cdot 10^{-6} \times 0,7 \cdot 10^{12} \text{ (Bq)} \times 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0,014 \text{ Sv} = 14 \text{ mSv.} \quad [3 \text{ punten}]$$

De in het Handboek genoemde aanname zou moeten leiden tot de conclusie dat uit de berekening 2 mSv komt. De berekende $E(50)$ is echter 14 mSv en dus leidt de aanname uit het Handboek *niet* tot de getalwaarde A_2 . [1 punt]

Beantwoording kan ook 'andersom':

$2 \cdot 10^{-3} \text{ (Sv)} = A_{\text{ingeademd}} \text{ (Bq)} \times 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)}$ Ingeademde activiteit
 $A = 1 \cdot 10^5 \text{ Bq}$. Maar slecht 1 miljoenste deel wordt ingeademd, dus $A_2 = 1 \cdot 10^{11} \text{ Bq} = 0,1 \text{ TBq}$. De hier berekende A_2 is 7 maal lager dan de $0,7 \text{ TBq}$ die genoemd wordt.

Vraag 1.4 (4 punten)

Toon door een berekening aan dat de vervoersgrenswaarde A_2 van $0,7 \text{ TBq}$ voor ^{131}I overeenkomt met het scenario voor huidbesmetting uit de Safety Guide TS-G-1.1.

$$A_2 = 0,7 \text{ TBq} = 700 \text{ GBq}$$

1% daarvan homogeen verspreid over 1 m^2 geeft een oppervlaktebesmetting van 7 GBq/m^2 . Daarvan 10% als huidbesmetting, dus $700 \text{ MBq/m}^2 = 7 \cdot 10^4 \text{ Bq/cm}^2$

$$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} [\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2] \times 7 \cdot 10^4 \text{ Bq/cm}^2 = 2,8 \times 10^{-5} \text{ Sv/s} \quad [2 \text{ punten}]$$

In 5 uur: $H_{\text{huid}} = 2,8 \times 10^{-5} \text{ Sv/s} \times 5 \text{ uur} \times 3600 \text{ s/uur} = 0,5 \text{ Sv}$. De eis is dat deze huiddosis maximaal 500 mSv mag zijn. Dat komt overeen met de hier berekende $0,5 \text{ Sv}$. [2 punten]

Alternatief:

$$500 \text{ mSv} = 0,500 \text{ Sv}$$

$$0,500 \text{ Sv} = 4 \cdot 10^{-10} [\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2] \times "A" [\text{Bq/cm}^2] \times 3600 \times 5 [\text{s}]$$

$$0,500 \text{ Sv} = 7,2 \cdot 10^{-6} [\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2] \times "A" [\text{Bq/cm}^2]$$

$$A = 0,500 / 7,2 \cdot 10^{-6} = 6,9 \cdot 10^4 \text{ Bq/cm}^2. \text{ Dit was 10\%}$$

De oppervlakte besmetting was $6,9 \cdot 10^5$ Bq/cm² over een oppervlak van 1 m².
Totaal lag er $6,9 \cdot 10^9$ Bq. Aanname was dat er maximaal 1% was verspreid.
Dan is de maximale vervoersactiviteit = $6,9 \cdot 10^{11}$ Bq = 0,7 TBq

Puntenwaardering:

Vraag	Punten
1	2
2	3
3	4
4	4
Totaal	13

Vraagstuk 2 Besmettingscontrole

Vraag 2.1 (4 punten)

Bereken het meetrendement voor meting van ^3H in cpm/dpm en de standaarddeviatie in dit meetrendement.

10.000 dpm levert bruto 6.053 cpm.

Het achtergrondteltempo is $908 / 60 = 15$ cpm

10.000 dpm levert netto $6.053 \text{ [cpm]} - 15 \text{ [cpm]} = 6038$ cpm

Het meetrendement is dan:

$$6038 \text{ [cpm]} / 10.000 \text{ [dpm]} = 0,6038 \text{ cpm/dpm} \quad [2 \text{ punten}]$$

De standaarddeviatie in het netto teltempo is $\sigma_{b-a} = \sqrt{\frac{R_b}{t_b} + \frac{R_a}{t_a}} =$

$$\sqrt{\frac{6053}{1} + \frac{15}{60}} = \sqrt{6053,25} = 77,8 \text{ cpm}$$

De standaarddeviatie in het meetrendement is

$$77,8 \text{ [cpm]} / 10.000 \text{ [dpm]} = 0,00778 \text{ cpm/dpm} \quad [2 \text{ punten}]$$

(opm.: Beargumenteerd weglaten van het achtergrondteltempo in de berekening van de standaarddeviatie is toegestaan)

Vraag 2.2 (4 punten)

Verifieer aan de hand van de minimaal detecteerbare activiteit van de vloeistofscintillatieteller, dat voor beide nucliden aan de detectielimiet uit art. 4.21 wordt voldaan bij de voor de veegmonsters gebruikte meettijd.

Het achtergrondteltempo is $908 / 60 = 15$ cpm = 0,25 cps

$$\text{MDA voor tritium} = \frac{3 \sqrt{\frac{R_a}{t_b}}}{\eta} = \frac{3 \sqrt{\frac{0,25}{60}}}{0,6038} = 0,3 \text{ Bq}$$

0,3 Bq is ruim binnen de 2 Bq [3 punten]

Voor ^{14}C is dit ook het geval omdat het meetrendement bij ^{14}C hoger is dan het meetrendement bij ^3H . De verhoging ten opzichte van de blanco meetwaarde zal bij ^{14}C dus nog groter zijn.

[1 punt]

Uiteraard mag ook de volledige berekening voor ^{14}C worden gegeven.

Vraag 2.3 (4 punten)

Bereken de afgewreven activiteit ^{14}C in Bq/cm² van deze besmetting.

$$A = R_{\text{netto}}/\varepsilon = (753 \text{ [cpm]} - 15 \text{ [cpm]}) / 0,942 \text{ [cpm/dpm]} = 783 \text{ dpm}$$

Dit is $783 \text{ [dpm]} / 60 \text{ [s/min]} = 13,1 \text{ Bq}$ [3 punten]

Als 5 cm^2 is afgewreven is dit $13,1 \text{ [Bq]} / 5 \text{ [cm}^2] = 2,6 \text{ Bq/cm}^2$ [1 punt]

Vraag 2.4 (4 punten)

Zou een besmetting van 8 Bq/cm^2 op 5 cm^2 als besmet worden aangemerkt wanneer de besmettingsmonitor wordt gebruikt? U mag er hierbij van uitgaan dat het oppervlak buiten de besmette 5 cm^2 in het geheel niet besmet is.

De monitor heeft een detectoroppervlak van 121 cm^2 . De 8 Bq/cm^2 op 5 cm^2 bevat 40 Bq . Gemiddeld over het detectoroppervlak is dit

$40 \text{ [Bq]} / 121 \text{ [cm}^2] = 0,33 \text{ Bq/cm}^2$ [2 punten]

Volgens de gegevens levert $0,2 \text{ Bq/cm}^2$ een teltempo van 1 cps . Het teltempo van deze besmetting is dan

$$1 \text{ [cps]} \times 0,33 \text{ [Bq/cm}^2] / 0,2 \text{ [Bq/cm}^2] = 1,65 \text{ cps}$$

Het bruto teltempo is dan $5 \text{ [cps]} + 1,65 \text{ [cps]} = 6,65 \text{ cps}$

Een oppervlak wordt als besmet aangemerkt als het bruto teltempo 10 cps of meer is. Dus dit oppervlak zal niet worden aangemerkt als besmet (ook niet als de fluctuaties worden meegenomen). [2 punten]

Puntenwaardering:

Vraag	Punten
1	4
2	4
3	4
4	4
Totaal	16

Vraagstuk 3 Afscherming bij sterilisatie

Vraag 3.1 (4 punten)

Laat met behulp van figuur 3.2 zien dat de transmissie van fotonen uitgezonden door ^{60}Co door 2 meter beton in de orde van 10^{-10} is.

De transmissie van een ^{60}Co -bron over 2 meter door beton is niet direct af te lezen uit Figuur 3.2. Wel is te controleren dat de transmissie vanaf ongeveer 50 cm lineair verloopt (op log-schaal). De bepaling van de transmissie moet daarom worden opgedeeld in twee (of eventueel meer) delen. Eén deel daarvan moet van 0 tot ten minste 50 cm lopen, andere delen moeten uit het lineaire deel van de figuur worden bepaald.

Voorbeeld (alternatieven worden goed gerekend mits aflezing correct is)

$$T_{0-130\text{ cm}} = 1,0 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{60-130\text{ cm}} = 1,0 \cdot 10^{-6} / 2,5 \cdot 10^{-3} = 4,0 \cdot 10^{-4}$$

$$T_{\text{tot}} = T_{0-200\text{ cm}} = T_{0-130\text{ cm}} \times T_{60-130\text{ cm}}$$

$$T_{\text{tot}} = 1,0 \cdot 10^{-6} \times 4,0 \cdot 10^{-4} = 4,0 \cdot 10^{-10}$$

Extrapoleren van de grafiek mag uiteraard ook, mits correct uitgevoerd.

Vraag 3.2 (3 punten)

Ga na of het omgevingsdosisequivalenttempo in de werkruimte boven de bestralingsruimte aan het interne protocol voldoet, wanneer de bron zich in de stralende positie bevindt.

Interne eis: $H^*(10) \leq 1,0 \mu\text{Sv/h}$

$$H^*(10) = \frac{hA}{r^2} T$$

$$1,0 \left[\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \right] = \frac{0,36 \left[\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \text{ per } \frac{\text{MBq}}{\text{m}^2} \right] \times 185 \cdot 10^9 [\text{MBq}]}{r^2} \times 4,0 \cdot 10^{-10} \quad [2 \text{ punten}]$$

$r = 5,2$ meter tot aan de bovenkant van het plafond

Met 10 meter wordt dus aan het interne protocol voldaan. [1 punt]

Alternatieve mogelijkheid uitgaande van 10 meter, waarbij het interne protocol wordt gecontroleerd.

$$\frac{0,36 \left[\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \text{ per } \frac{\text{MBq}}{\text{m}^2} \right] \times 185 \cdot 10^9 [\text{MBq}]}{12^2} \times 5,9 \cdot 10^{-10} = 0,27 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \quad [2 \text{ punten}]$$

$$0,27 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} < 1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$$

Er wordt dus aan het interne protocol voldaan. [1 punt]

Vraag 3.3 (6 punten)

Bepaal de transmissie door 3,5 meter water met behulp van tabel 1 en figuur 3.3.

Massieke halveringsdikte uit Figuur 3.3:

Water is lijn 2, rechts aflezen, energie 1333 keV of 1173 keV

Massieke halveringsdikte is 11 g/cm² (goed rekenen tussen 10 en 13 g/cm²)

[1,5 punt]

De halveringsdikte is dan 11 [g/cm²] / 1,0 [g/cm³] = 11 cm (0,11 m)

[0,5 punt]

Opbouwfactor:

$$\mu = \ln(2) / 0,11 \text{ m} = 6,3 \text{ m}^{-1}$$

$$\mu \cdot d = 6,3 [\text{m}^{-1}] \times 3,5 [\text{m}] = 22 \quad [1 \text{ punt}]$$

Energie gemiddeld is 1253 keV

Dichtstbijgelegen μd -waarde is 20:

B (20,1000 keV)	82.2
B (20,2000 keV)	27.7
B (20,1253 keV)	68

[2 punten]

Transmissie:

$$T = B e^{-\mu d} = 68 \times e^{-22} = 1,9 \cdot 10^{-8} \quad [1 \text{ punt}]$$

Vraag 3.4 (4 punten)

Bereken de effectieve jaardosis en bepaal de categorie-indeling van de genoemde medewerker aan de hand van een berekende effectieve jaardosis. Voorzien onbedoelde gebeurtenissen mogen hierbij buiten beschouwing worden gelaten.

$$t = 40 [\text{week/jaar}] \times 5 [\text{dag/week}] \times 2,5/60 [\text{uur/dag}] = 8,3 [\text{uur/jaar}]$$

[1 punt]

$$E = H^*(10) = \frac{hA}{r^2} T t$$

$$E = \frac{0,36 \left[\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \text{ per } \frac{\text{MBq}}{\text{m}^2} \right] \times 185 \cdot 10^9 [\text{MBq}]}{(4,5 [\text{m}])^2} \times 1,9 \cdot 10^{-8} \times 8,3 [\text{uur/jaar}] \quad [1 \text{ punt}]$$

$$E = 519 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{jaar}} = 0,5 \text{ mSv/jaar} \quad [1 \text{ punt}]$$

De jaardosis blijft onder de 1 mSv, waardoor de medewerker niet geclassificeerd hoeft te worden als blootgesteld werknemer.

[1 punt]

De effectieve dosis mag zowel op het oppervlak van het water als op de hoogte van de tafel berekend worden. Hier mag de cursist zelf een geschikte afstand kiezen.

Een cursist die op een effectieve jaardosis van meer dan 1 mSv uitkomt dient de betrokken medewerker uiteraard in de juiste categorie in te delen.

Puntenwaardering:

Vraag	Punten
1	4
2	3
3	6
4	4
Totaal	17

Vraagstuk 4 Incident met ^{177}Lu

Vraag 4.1 (5 punten)

Gedurende hoeveel minuten moet het preparaat worden bestraald om de gewenste activiteit te verkrijgen?

$$A = \sigma_{\text{th}} \cdot n \cdot \varphi_{\text{th}} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \approx \sigma_{\text{th}} \cdot n \cdot \varphi_{\text{th}} \cdot \lambda \cdot t$$

$$\text{Molecuulgewicht} \approx 2 \times 176 + 3 \times 16 = 400 \text{ g mol}^{-1}$$

aantal atomen:

$$n = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 0,72 \times 10 \cdot 10^{-3} \text{ g} \times 2 / 400 \text{ g mol}^{-1} \\ = 2,2 \cdot 10^{19}$$

[2 punten]

$$\text{activiteit} = 370 \text{ MBq} = 3,7 \cdot 10^8 \text{ Bq}$$

$$\text{werkzame doorsnede} = 2000 \text{ barn} = 2,0 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2$$

$$\text{fluxdichtheid} = 3,0 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{vervalconstante} = 1,20 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

invullen in formule:

$$3,7 \cdot 10^8 \text{ Bq} = 2,0 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2 \times 2,2 \cdot 10^{19} \times 3,0 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \times 1,20 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \times t$$

$$\rightarrow t = 2,3 \cdot 10^3 \text{ s} = 38 \text{ min}$$

[3 punten]

Vraag 4.2 (3 punten)

Zou de radiochemicus de genoemde handelingen met 370 MBq $^{176}\text{Lu}_2\text{O}_3$ -poeder hebben mogen verrichten volgens de Bijlage radionucliden-laboratoria in de huidige vergunningen?

$$A_{\text{max}} = 0,02 \times 10^{p+q+r} \times 1 \text{ Re}_{\text{inhalatie}}$$

$$\text{oxide behoort tot klasse S} \quad \rightarrow \quad \text{Re}_{\text{inhalatie}} = 9,1 \cdot 10^8 \text{ Bq}$$

$$\text{hanteren van poeder} \quad \rightarrow \quad p = -4$$

$$\text{B-laboratorium} \quad \rightarrow \quad q = 3$$

$$\text{handeling op tafel} \quad \rightarrow \quad r = 0$$

invullen in formule:

$$A_{\text{max}} = 0,02 \times 10^{-4+3+0} \times 9,1 \cdot 10^8 \text{ Bq} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ Bq} = 1,8 \text{ MBq} \ll 370 \text{ MBq}$$

Het had dus volgens de huidige regels niet gemogen.

Overigens moet een handeling met $p=-4$ in een gekeurde zuurkast worden uitgevoerd. Dit volgt uit tabel 3 van de Bijlage radionuclidenlaboratoria en/of uit de bijlage Radionuclidenlaboratoria die aan veel vergunningen is gekoppeld. Indien een kandidaat op grond hiervan beargumenteert dat een $p=-4$ handeling nooit op tafel mag worden uitgevoerd (zonder dat de berekening wordt gemaakt) worden ook 3 punten toegekend.

Vraag 4.3 (4 punten)

Toon door berekening aan dat het telrendement van de besmettingsmonitor voor ^{177}Lu ongeveer 0,23 cps per Bq is.

Aflezen figuur 4.1 bij 47 keV: 24 cps per Bq cm^{-2}

Aflezen figuur 4.1 bij 111 keV: 47 cps per Bq cm^{-2}

Aflezen figuur 4.1 bij 149 keV: 54 cps per Bq cm^{-2}

Telrendement: $0,122 \times 24 + 0,091 \times 47 + 0,786 \times 54 = 50$ cps per Bq cm^{-2}
[3 punten]

dit correspondeert met $50 \text{ cps per Bq cm}^{-2} / 218 \text{ cm}^2 = 0,23 \text{ cps Bq}^{-1}$
[1 punt]

Alternatief I - Ook goed rekenen: gemiddelde β -energie = $(0,122 \times 47 + 0,091 \times 111 + 0,786 \times 149) = 133 \text{ keV}$

Nb.: deze energie zou nog gedeeld moeten worden door de som van de emissiewaarschijnlijkheden maar omdat volgens het Handboek Radionucliden ^{177}Lu een zuivere β -emitter is, is de som hiervan 1

aflezen figuur 4.1 bij 133 keV:

telrendement = 53 cps per Bq cm^{-2}

dit correspondeert met $53 \text{ cps per Bq cm}^{-2} / 218 \text{ cm}^2 = 0,24 \text{ cps Bq}^{-1}$

Alternatief II - Ook goed rekenen als wordt uitgegaan van sterkste β -tak: 149 keV

Aflezen figuur 4.1 bij 149 keV geeft 55 cps per Bq cm^{-2}

→ telrendement = $0,25 \text{ cps Bq}^{-1}$

Vraag 4.4 (4 punten)

Bepaal de geïnhaleerde activiteit en aan de hand hiervan de effectieve volgdosis die de stafmedewerker heeft opgelopen.

de neus is compartiment ET1 van het longmodel

voor werkers geldt een AMAD-waarde = $5 \mu\text{m}$

aflezen tabel, Bijlage blz. 6:

ET1 = 0,339

uitgesnoten activiteit = $120 \text{ cps} / 0,23 \text{ cps Bq}^{-1} = 530 \text{ Bq}$

aangenomen is dat de helft van de activiteit in de neus is uitgesnoten

$$\rightarrow \text{inhalatie} = 530 \text{ Bq} / (0,339 \times 0,5) = 3,1 \text{ kBq} \quad [2 \text{ punten}]$$

$$\begin{aligned} \text{effectieve volgdosis} &= 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1} \times 3,1 \text{ kBq} \\ &= 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 3,4 \text{ } \mu\text{Sv} \end{aligned} \quad [2 \text{ punten}]$$

Alternatief I:

$$\text{uitgesnoten activiteit} = 120 \text{ cps} / 0,24 \text{ cps Bq}^{-1} = 500 \text{ Bq}$$

$$\rightarrow \text{inhalatie} = 500 \text{ Bq} / (0,339 \times 0,5) = 3,0 \text{ kBq}$$

$$\begin{aligned} \text{effectieve volgdosis} &= 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1} \times 3,0 \text{ kBq} \\ &= 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 3,2 \text{ } \mu\text{Sv} \end{aligned}$$

Alternatief II:

$$\text{uitgesnoten activiteit} = 120 \text{ cps} / 0,25 \text{ cps Bq}^{-1} = 480 \text{ Bq}$$

$$\rightarrow \text{inhalatie} = 480 \text{ Bq} / (0,339 \times 0,5) = 2,8 \text{ kBq}$$

$$\begin{aligned} \text{effectieve volgdosis} &= 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1} \times 2,8 \text{ kBq} \\ &= 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 3,1 \text{ } \mu\text{Sv} \end{aligned}$$

Puntenwaardering

Vraag	Punten
1	5
2	3
3	4
4	4
Totaal	16