



Name: _____

Beispielaufgabe Abiturprüfung ab 2025

Physik, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Nuklearmedizin

In der Nuklearmedizin nutzt man radioaktive Elemente zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken. Bei diagnostischen Anwendungen kommt dabei häufig das angeregte Technetium-99 ($Tc-99^*$) zum Einsatz. $Tc-99^*$ ist ein Folgeprodukt des radioaktiven Molybdän-99 ($Mo-99$).

1. Stellen Sie mithilfe des in Abbildung 1 (in M 1) gezeigten Ausschnitts aus dem Periodensystem der Elemente die zugehörige Reaktionsgleichung zur Erzeugung von $Mo-99$ auf.
(3 BE¹)
2. Beschreiben Sie anhand aller Informationen in Abbildung 2 (in M 1) den Zerfall von $Mo-99$ bis hin zum stabilen Endnuklid und geben Sie die Zerfallsgleichung von $Tc-99$ an.
(7 BE)
3. • Ermitteln Sie anhand von Abbildung 3 (in M 2) die Halbwertszeit $T_{1/2, z}$ für $Tc-99^*$.
• Begründen Sie anhand des Zerfallsschemas in Abbildung 2 (in M 1), dass die Zählraten in Abbildung 3 (in M 2) nicht durch den Zerfall des Folgeprodukts $Tc-99$ in das stabile Endnuklid beeinflusst werden.
(9 BE)

¹ Bewertungseinheit(en)



Name: _____

4. Das in Kernreaktoren produzierte Mo-99 wird von dort aus an radiologische Kliniken ausgeliefert, wobei während des Transports ein Teil des Mo-99 in das für die Untersuchung benötigte Tc-99* zerfällt. In der Klinik wird die Tochtersubstanz Tc-99* dann von der Muttersubstanz Mo-99 getrennt. Für eine nuklearmedizinische Untersuchung werden einem Patienten Tc-99*-Atome über die Blutbahn verabreicht.

Begründen Sie, weshalb es aus Strahlenschutzgesichtspunkten unverantwortlich wäre, dem Patienten eine nicht vernachlässigbare Stoffmenge der Muttersubstanz Mo-99 zu verabreichen.

(3 BE)

5. Abbildung 4 (in M 3) zeigt die Szintigramme der Gehirne zweier Patienten, die unter gleichen Bedingungen erstellt wurden. Einer der beiden Patienten ist gesund, der andere leidet unter Alzheimer.

Entscheiden Sie begründet anhand von Abbildung 4 (in M 3), welcher der beiden Patienten vermutlich unter der Krankheit Alzheimer leidet.

(4 BE)

6. Bei der Untersuchung eines Patienten mit Tc-99* beträgt die effektive Dosis etwa $H = 6,5 \text{ mSv}$.

Bewerten Sie unter Bezugnahme auf das Material M 4 den Nutzen einer solchen Untersuchung bei Verdacht auf die Krankheit Alzheimer.

(4 BE)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Nuklidkarte
- Physikalische Formelsammlung
- 2025: GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- ab 2026: WTR (wissenschaftlicher Taschenrechner oder CAS/MMS (Computer-Algebra-System / modulares Mathematiksystem)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

M 1

Das für die Erzeugung von Tc-99* benötigte Mo-99 wird überwiegend in Kernreaktoren produziert. Dabei spaltet sich im betrachteten Fall ein Uran-235-Atomkern (U-235) durch den Einfang eines Neutrons in einen Mo-99-Atomkern und einen weiteren mittelschweren Atomkern. Zugleich werden bei diesem Spaltprozess zwei Neutronen frei.

41 Nb <small>Niob</small>	42 Mo <small>Molybdän</small>	43 Tc <small>Technetium</small>	44 Ru <small>Ruthenium</small>	45 Rh <small>Rhodium</small>	46 Pd <small>Palladium</small>	47 Ag <small>Silber</small>	48 Cd <small>Cadmium</small>	49 In <small>Indium</small>	50 Sn <small>Zinn</small>	51 Sb <small>Antimon</small>
73 Ta <small>Tantal</small>	74 W <small>Wolfram</small>	75 Re <small>Rhenium</small>	76 Os <small>Osmium</small>	77 Ir <small>Iridium</small>	78 Pt <small>Platin</small>	79 Au <small>Gold</small>	80 Hg <small>Quecksilber</small>	81 Tl <small>Thallium</small>	82 Pb <small>Blei</small>	83 Bi <small>Bismut</small>
91 Pa <small>Protactinium</small>	92 U <small>Uran</small>	93 Np <small>Neptunium</small>	94 Pu <small>Plutonium</small>							

Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente
(Quelle: https://static.giga.de/wp-content/uploads/2016/02/shutterstock_274579223.jpg
(verändert; Zugriff: 30.11.2022))

Abbildung 2 zeigt ein stark vereinfachtes Zerfallsschema für den natürlichen radioaktiven Zerfall von Mo-99.

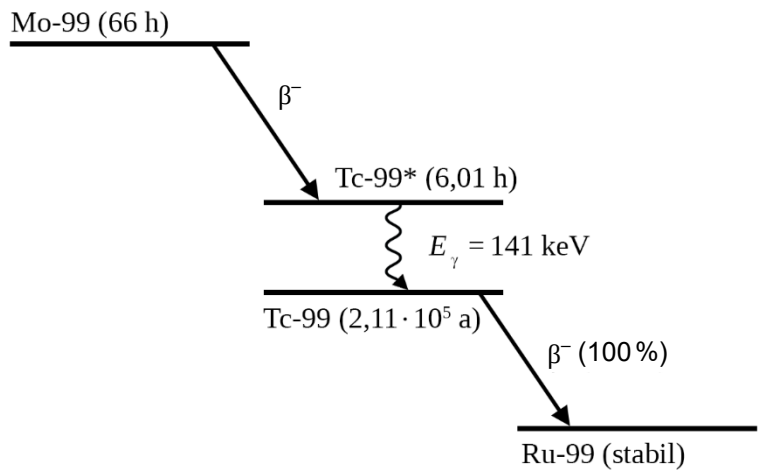


Abbildung 2: Zerfallsschema von Mo-99



Name: _____

M 2

Abbildung 3 zeigt die grafische Darstellung der mit einem Detektor gemessenen zeitabhängigen Zählraten Z für Tc-99*. Die Daten sind bereits um den Nulleffekt bereinigt.

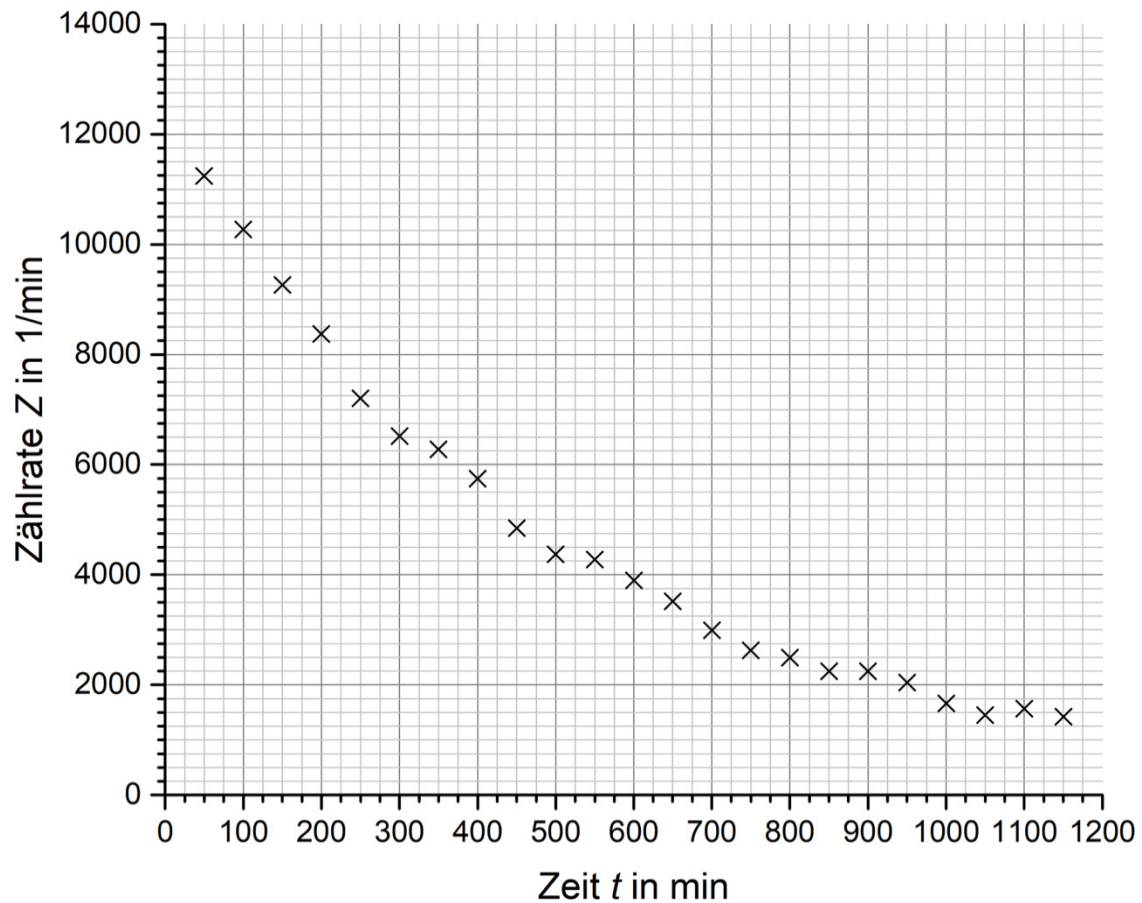


Abbildung 3: Zählraten für Tc-99* in Abhängigkeit von der Zeit



Name: _____

M 3

Die Tc-99*-Atome werden in der Blutbahn des Patienten mit dem Blut „mitgespült“ und nehmen nicht am Stoffwechsel teil. Dabei senden sie γ -Strahlung aus. Durch eine Messung der aus dem Körper des Patienten austretenden γ -Strahlung kann ein Mediziner die Blutversorgung bestimmter Organe untersuchen. Die gemessene Zählrate wird bildlich durch eine bestimmte Farbe dargestellt. Misst der Detektor eine geringe Zählrate, so erscheint ein Bereich blau, eine hohe Zählrate wird durch eine rote Färbung gekennzeichnet. Diese Darstellung wird als *Szintigramm* bezeichnet.

Das Verfahren wird beispielsweise zur Diagnose der Krankheit Alzheimer verwendet. Dabei handelt es sich um eine unheilbare Störung des Gehirns, wodurch die Menschen mit Alzheimer zunehmend vergesslich, verwirrt und orientierungslos werden. Die Krankheit endet tödlich. Eine der Ursachen für die Krankheit Alzheimer ist eine zu geringe Durchblutung bestimmter Regionen im Gehirn.

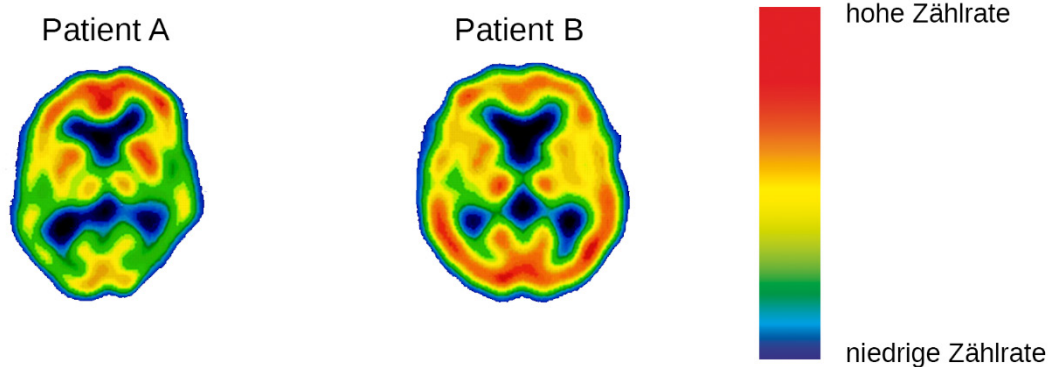


Abbildung 4: Hirnszintigramme zweier Patienten mit Farbcodierungsskala

(Quelle: Takuya et al.: Heterogeneity of Cerebral Blood Flow in Alzheimer Disease and Vascular Dementia, American Journal of Neuroradiology August 2003, 24 (7) 1341 – 1347

<https://www.ajnr.org/content/24/7/1341>

(Ausschnitt aus Fig. 2; verändert; Zugriff: 21.09.2023))

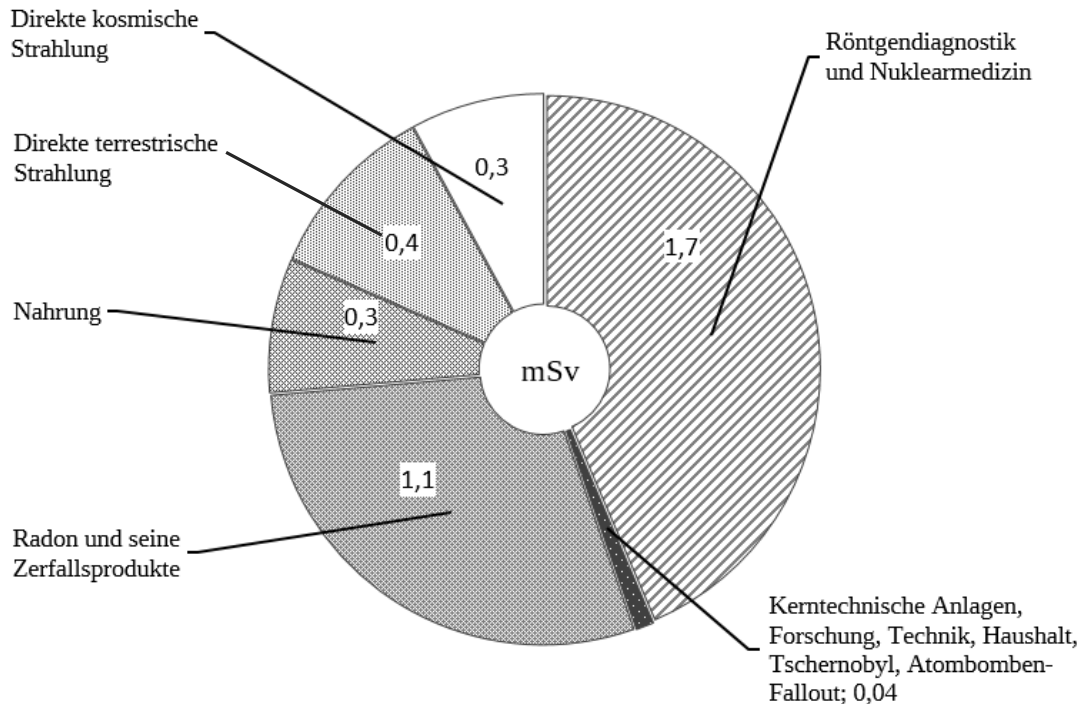


Name: _____

M 4

Natürliche Strahlenbelastung:

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung in Deutschland 2020 –
Mittlere effektive Dosis in Millisievert pro Jahr



Summe der natürlichen Strahlenexposition: 2,1 mSv

Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition: 1,7 mSv

Abbildung 5: Zusammensetzung der Strahlenbelastung in Deutschland

(Quelle: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung:

Jahresbericht 2020 (Parlamentsbericht), Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), 20.09.2023

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2023092039276> (Zugriff: 26.09.2023))

Grenzen der Diagnostik:

Die klinische Diagnose der Alzheimer-Krankheit ist in über 80 Prozent der Fälle zutreffend. Die Sicherheit kann durch spezielle Untersuchungen noch erhöht werden. Dazu gehören die Darstellung der regionalen Hirndurchblutung oder des regionalen Hirnstoffwechsels. Einen zuverlässigen Labortest für die Alzheimer-Krankheit gibt es bisher noch nicht.

Mit endgültiger Gewissheit lässt sich die Diagnose der Alzheimer-Krankheit nur durch die Untersuchung des Gehirns nach dem Tod stellen.

Quelle: https://www.deutsche-alzheimer.de/fileadmin/Alz/pdf/factsheets/infoblatt3_diagnose_dalzg.pdf
(Zugriff: 30.11.2022)



Name: _____

Dauer der Alzheimer-Erkrankung:

Die Alzheimer-Krankheit durchläuft mehrere Stadien, wobei das letzte Stadium mit dem Tod des Patienten endet. „Die durchschnittliche Dauer der Alzheimer-Krankheit beträgt sieben Jahre nach der Diagnosestellung. Jedoch variiert dies von Patient zu Patient. In einigen Fällen leben Patienten bis zu 20 Jahre mit der Krankheit. Generell gilt: Je später der Erkrankungsbeginn, desto kürzer ist die Krankheitsdauer.“

Quelle: <https://www.alzheimer-forschung.de/alzheimer/symptome/> (Zugriff: 30.11.2022)

Zeitpunkt der Alzheimer-Diagnose:

Von einer frühen Diagnose profitieren die Betroffenen, denn inzwischen stehen Medikamente zur Verfügung, die den Krankheitsverlauf verlangsamen. Die Mittel müssen rechtzeitig eingenommen werden, um den Betroffenen möglichst lange zu einem normalen Leben zu verhelfen.

Quelle: <https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/alzheimer-fruherkennung-ist-heute-schon-sinnvoll-3067.php> (Zugriff: 30.11.2022)

Unterlagen für die Lehrkraft

Beispielaufgabe Abiturprüfung ab 2025

Physik, Grundkurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Nuklearmedizin

(30 BE²)

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2025

Die Aufgaben weisen vielfältige Bezüge zu den Kompetenzerwartungen und Inhaltsfeldern des Kernlehrplans bzw. zu den in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierungen auf. Im Folgenden wird auf Bezüge von zentraler Bedeutung hingewiesen.

1. Inhaltsfelder

- Strahlung und Materie

2. Inhaltliche Schwerpunkte

- Strahlung
- Kernphysik

3. Inhalte

- Ionisierende Strahlung
- Biologische Wirkungen
- Zerfallsprozesse und Kernumwandlung

4. Konkretisierende Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- ... erläutern den Begriff der Radioaktivität und zugehörige Kernumwandlungsprozesse auch mithilfe der Nuklidkarte (S1, S2),
- ... ermitteln im Falle eines einstufigen radioaktiven Zerfalls anhand der gemessenen Zählrate die Halbwertszeit (E5, E8, S6),
- ... begründen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, K3),
- ... quantifizieren mit der Größe der effektiven Dosis die Wirkung ionisierender Strahlung und bewerten daraus abgeleitete Strahlenschutzmaßnahmen (E8, S3, B2),

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

² Bewertungseinheit(en)

- ... bewerten die Bedeutung hochenergetischer Strahlung hinsichtlich der Gesundheitsgefährdung sowie ihres Nutzens bei medizinischer Diagnose und Therapie (B5, B6, K1, K10).

5. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Nuklidkarte
- Physikalische Formelsammlung
- 2025: GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- ab 2026: WTR (wissenschaftlicher Taschenrechner oder CAS/MMS (Computer-Algebra-System / modulares Mathematiksystem)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Modelllösungen

Die jeweilige Modelllösung stellt eine mögliche Lösung bzw. Lösungsskizze dar. Der gewählte Lösungsansatz und -weg der Schülerinnen und Schüler muss nicht identisch mit dem der Modelllösung sein. Sachlich richtige Alternativen werden mit entsprechender Punktzahl bewertet (Bewertungsbogen: Zeile „Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung“).

Sollte die Auswertung der Messdaten mithilfe des MMS erfolgen, so muss der Prüfling das Vorgehen in seiner Reinschrift hinreichend dokumentieren.

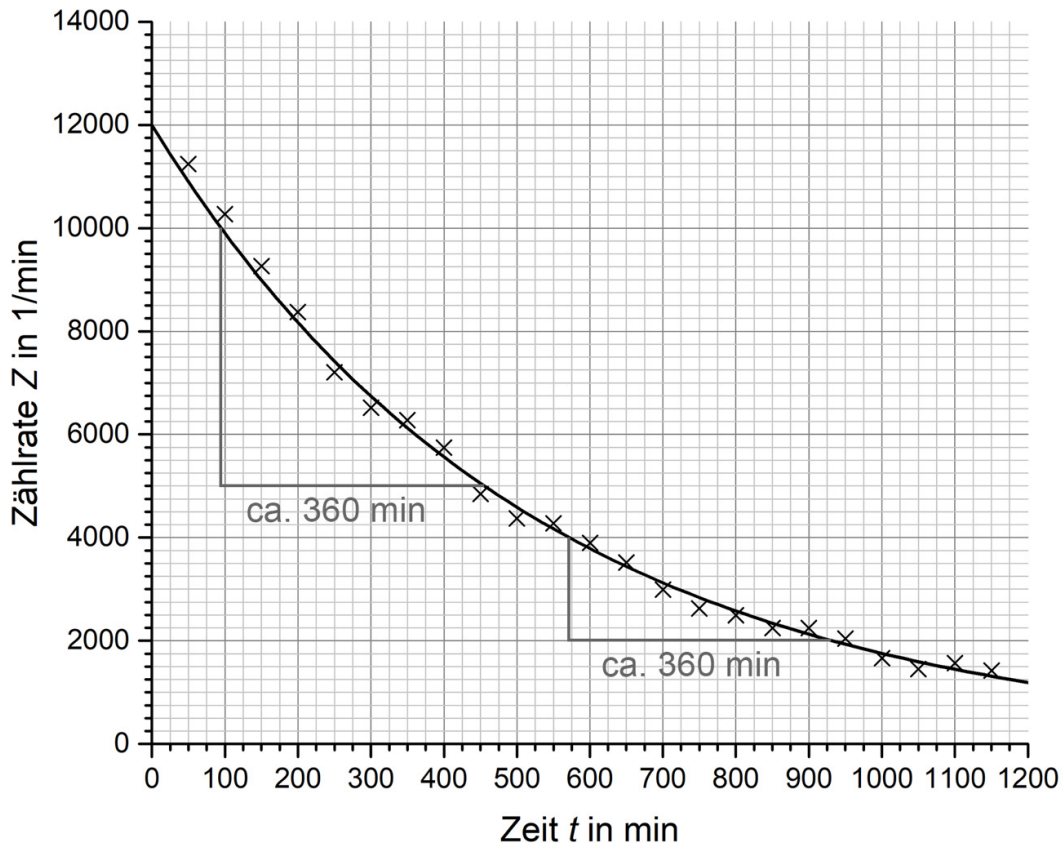
1. Die Reaktionsgleichung lautet: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{42}^{99}\text{Mo} + {}_{50}^{135}\text{Sn} + 2{}_0^1\text{n}$.

2. Mo-99 ist ein β^- -Strahler mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2, \text{Mo-99}} = 66 \text{ h}$. Gemäß Abbildung 1 zerfällt Mo-99 zunächst in den angeregten Zustand Tc-99*. Dieser angeregte Zustand geht anschließend mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2, \text{Tc-99}^*} = 6,01 \text{ h}$ unter Emission eines γ -Quants mit der Energie $E_\gamma = 141 \text{ keV}$ in den Grundzustand Tc-99 über.

Tc-99 wiederum zerfällt als β^- -Strahler in ein stabiles Endnuklid.

Zerfallsgleichung für Tc-99: ${}_{43}^{99}\text{Tc} \rightarrow {}_{44}^{99}\text{Ru} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}$.

3. Ausgleichskurve und mögliche Ablesungen der Halbwertszeit:



Aus den exemplarisch eingezeichneten Zeitspannen für die jeweilige Halbierung der Zählraten erhält man $T_{1/2, Z} \approx 360 \text{ min} = 6 \text{ h}$.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Halbwertszeiten im Bereich zwischen 300 min und 400 min sind als korrekt zu bewerten.

Tc-99 hat gegenüber Tc-99* eine sehr viel größere Halbwertszeit im Rahmen von Hunderttausend Jahren. Im Beobachtungszeitraum des Experiments kann man also die Folgezerfälle des Tc-99 vernachlässigen.

4. Aufgrund der Halbwertszeit von $T_{1/2, \text{Mo-99}} = 66 \text{ h}$ würde eine Mo-99-Stoffmenge mit nicht vernachlässigbarer Atomanzahl als β^- -Strahler mit einer gewissen Aktivität im Körper des Patienten vorhanden sein. Die hochenergetische β^- -Strahlung des Mo-99 würde in der Umgebung der Substanz zu einer hohen Strahlenbelastung des Körpers ohne medizinischen Nutzen führen.
5. Ein Bereich im menschlichen Gehirn, der überwiegend grün/gelb eingefärbt ist, enthält wenige Tc-99*-Atome und ist damit schlecht durchblutet. Ein Bereich im Gehirn, der überwiegend rot eingefärbt ist, enthält hingegen viele Tc-99*-Atome, was eine bessere Durchblutung bedeutet.

In dem Szintigramm von Patient A ist deutlich zu erkennen, dass es einen schlecht durchbluteten Bereich gibt, der bei Patient B so nicht erkennbar ist. Damit leidet vermutlich Patient A unter der Krankheit Alzheimer, da eine der Ursachen für die Erkrankung eine zu geringe Durchblutung bestimmter Hirnregionen ist.

6. Der Nutzen einer solchen Untersuchung kann bei Verdacht auf die Krankheit Alzheimer als sinnvoll bewertet werden. Zwar ist die Strahlenbelastung mit 6,5 mSv mehr als dreimal so hoch wie die natürliche Strahlenbelastung von 2,1 mSv innerhalb eines Jahres (vgl. M 4: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung). Dennoch ist das wichtigste Kriterium die frühe Diagnose der Alzheimererkrankung, da von der frühzeitigen medikamentösen Behandlung für die betroffenen Patienten eine möglichst lange Teilnahme am normalen Leben erhofft werden kann (vgl. Quelle M 4: Dauer der Alzheimererkrankung und Zeitpunkt der Diagnose). Das zweitwichtigste Kriterium ist, dass diese Untersuchungsmethode eine relativ hohe Zuverlässigkeit von 80 % bei Vorliegen der Erkrankung hat (vgl. M 4: Grenzen der Diagnose).

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die hier formulierte Lösung stellt nur eine mögliche Lösung dar. Wichtig ist, dass der Prüfling kriteriengeleitet auf Basis des Materials zu einer rationalen Entscheidung für oder gegen den Nutzen der Untersuchungsmethode kommt. Eine intuitive Entscheidung ohne Bezug auf das Material reicht an dieser Stelle nicht aus. Auch eine Lösung, die das vorgegebene Material hinsichtlich ihrer Aussagekraft anzweifelt, entspricht nicht den Anforderungen.

7. Teilleistungen – Kriterien / Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Teilaufgaben	Anforderungen	Lösungsqualität			
		BE max.	EK ³	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	stellt mithilfe des in Abbildung 1 (in M 1) gezeigten Ausschnitts aus dem Periodensystem der Elemente die zugehörige Reaktionsgleichung zur Erzeugung von Mo-99 auf.	3			
2	beschreibt anhand aller Informationen in Abbildung 2 (in M 1) den Zerfall von Mo-99 bis hin zum stabilen Endnuklid und gibt die Zerfallsgleichung von Tc-99 an.	7			
3a	ermittelt anhand von Abbildung 3 (in M 2) die Halbwertszeit $T_{1/2, z}$ für Tc-99*.	6			
3b	begründet anhand des Zerfallsschemas in Abbildung 2 (in M 1), dass die Zählraten in Abbildung 3 (in M 2) nicht durch den Zerfall des Folgeprodukts Tc-99 in das stabile Endnuklid beeinflusst werden.	3			
4	begründet, weshalb es aus Strahlenschutzgesichtspunkten unverantwortlich wäre, dem Patienten eine nicht vernachlässigbare Stoffmenge der Muttersubstanz Mo-99 zu verabreichen.	3			
5	entscheidet begründet anhand von Abbildung 4 (in M 3), welcher der beiden Patienten vermutlich unter der Krankheit Alzheimer leidet.	4			
6	bewertet unter Bezugnahme auf das Material M 4 den Nutzen einer solchen Untersuchung bei Verdacht auf die Krankheit Alzheimer.	4			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (30)					
	Summe	30			

³ EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

8. Festlegung der Gesamtnote der Prüfungsleistung
(Bitte nur bei der letzten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	BE max.	EK	ZK	DK
Übertrag der Summe der BE aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	30			
Übertrag der Summe der BE aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	30			
Übertrag der Summe der BE aus der dritten bearbeiteten Aufgabe	30			
Gesamtzahl der BE der Prüfungsleistung	90			

aus der Gesamtzahl der BE der Prüfungsleistung resultierende Note gemäß nachfolgender Tabelle				
Note ggf. unter Absenkung um bis zu zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

Berechnung der Endnote nach Anlage 4 der Abiturverfügung auf der Grundlage von § 34 APO-GOST

Die Klausur wird abschließend mit der Note _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Zuordnung der Notenstufen zu der Gesamtzahl der erreichten Bewertungseinheiten (BE)

Note	Punkte	Erreichte BE
sehr gut plus	15	90 – 86
sehr gut	14	85 – 81
sehr gut minus	13	80 – 77
gut plus	12	76 – 72
gut	11	71 – 68
gut minus	10	67 – 63
befriedigend plus	9	62 – 59
befriedigend	8	58 – 54
befriedigend minus	7	53 – 50
ausreichend plus	6	49 – 45
ausreichend	5	44 – 41
ausreichend minus	4	40 – 36
mangelhaft plus	3	35 – 30
mangelhaft	2	29 – 25
mangelhaft minus	1	24 – 18
ungenügend	0	17 – 0