



Model United Nations
Schleswig-Holstein 2026
Wirtschafts- und Sozialrat

**Nuklearmedizin:
lebensrettende
Technologie oder Risiko
für Mensch und Umwelt?**

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Inhaltswarnung	2
Zusammenfassung	3
Punkte zur Diskussion	4
Einleitung	4
Hintergrund und Grundsätzliches	5
Isotope und warum sie so nützlich sind	5
Der Transport von Isotopen	6
Die Herstellung von Isotopen	7
Aktuelles	8
Fachkräftemangel	8
Umweltbelastung durch Nuklearmedizin	9
Gesamte Lage	10
Probleme und Lösungsansätze	11
Zentrale Produktionsstandorte und Abhängigkeit	11
Fachkräftemangel	12
Strahlen- und Umweltrisiken	12
Hinweise zur Recherche	13
Nationale Quellen:	13
Internationale Quellen:	14
Glossar/Lexikon	14
Wichtige Dokumente und Quellen	17

Inhaltswarnung

Dieser Gremientext benennt unter anderem die Themen Krebserkrankung, Umweltverschmutzung und Einsatz von Atomwaffen. Bei manchen Personen lösen diese Themen starke Emotionen aus. Falls Sie zu den betroffenen Personen gehören, entscheiden Sie bitte selbst, ob Sie gerade in der Lage sind, sich mit dem Thema / diesen Themen zu beschäftigen, ob Sie das lieber zu einem späteren Zeitpunkt tun oder vorher bestimmte Maßnahmen ergreifen wollen.

Zusammenfassung

Die *Exposition* von Patient*innen in den USA durch *nukleare Strahlung* ist in 32 Jahren seit 1980 um ca 600% gestiegen. Der medizinische Sektor war 2006 für fast 50% der *Pro-Kopf-Bestrahlungsdosis* in den Vereinigten Staaten verantwortlich. Immer wieder kommt es zu Versorgungsengpässen bei gängigen *Isotopen* wie *Technetium-99m*, welches ca 80% aller im nuklearmedizinischen Bereich genutzten Isotope ausmacht. Dennoch gibt es nur wenige *Reaktoren* und *Zyklotronen* auf der Welt, die versuchen, den Bedarf zu decken. Einige davon sind bereits Jahrzehnte alt. Beispielsweise wird *Molybdän-99* von 6 Reaktoren auf der ganzen Welt hergestellt, von denen 5 Stück über 50 Jahre alt sind. Der Bedarf an Bestrahlung und nuklearmedizinischen Untersuchungen hingegen steigt und ist so groß wie noch nie.

Dazu gehören unter anderem nukleare Medikamente, die bei Körperscannern die Sichtbarkeit des Gewebes erhöhen. So können mithilfe von geringen Mengen an nuklearen Strahlern wie Technetium-99m Gewebeschäden sichtbar gemacht werden. Auch werden Strahler in der Bestrahlung von Krebspatienten verwendet, um zielgerichtet mutiertes Gewebe zu zerstören.

Der Bedarf sollte langfristig und flächendeckend gedeckt werden, jedoch sind Reaktoren, Zyklotronen und die Herstellung selbst sehr kostspielig. Aber auch der Transport der entsprechenden Isotope ist sehr aufwändig, da einige Isotope nur wenige Stunden benutzbar sind und Spezialtransporte verwendet werden müssen. Die wenigen Produktionsstandorte verschärfen dieses Problem, denn die Isotope müssen deswegen teilweise sehr weit transportiert werden. So wie in vielen Branchen, gibt es derzeit einen weltweiten Personalmangel im nuklearmedizinischen Bereich. Ohne die nötigen Fachkräfte, kann sowohl die Produktion, als auch die Behandlung in den Kliniken nicht umgesetzt werden.

Punkte zur Diskussion

- Wie wirkt sich der globale Fachkräftemangel im internationalen Kontext aus? Wie kann dieses Problem angegangen werden?
- Wie kann dafür gesorgt werden, dass weltweit eine ausreichende Versorgung mit nuklearmedizinischen Isotopen gewährleistet ist, um Diagnostik und Therapie ohne Unterbrechungen durchführen zu können?
- Wie kann der internationale Wissenstransfer verbessert werden, um die Sicherheit und Effizienz der nuklearmedizinischen Infrastruktur global zu steigern?
- Wie kann ein umfassendes Entsorgungs- und Abfallmanagement etabliert werden, um Umweltbelastungen durch nuklearmedizinische Präparate zu minimieren?
- Wie kann die Abhängigkeit von *hoch angereichertem Uran (HEU)* reduziert werden, um Risiken für nukleare Sicherheit und Waffenverbreitung zu verringern?
- Wie kann sichergestellt werden, dass nuklearmedizinische Medikamente kosteneffizient produziert und für Patienten weltweit zugänglich bleiben?

Einleitung

Der Bedarf an nuklearer Medizin steigt immer weiter. Nicht nur in der Krebsbehandlung spielen nukleare Medikamente und Bestrahlungstherapien eine große Rolle. Untersuchungen verschiedener Organe und auch die Krebsfrüherkennung wurden durch den Einsatz von Nuklearmedizin weiter verbessert. Dafür wird eine Variation an *Isotopen* benötigt, die in verschiedenen Anwendungszwecken Nutzen bringen. Durch die mangelnden *Reaktoren* und *Zyklotrone* ist die Herstellung von nuklearmedizinischen Isotopen stark eingeschränkt. Da die Nuklearmedizin immer weiter Aufmerksamkeit gewinnt, aber regelmäßig Versorgungsengpässe zu

beklagen hat, liegt es nun an der internationalen Staatengemeinschaft, eine globale Versorgung aufzubauen.



Behälter für nukleare Präparate in Kuba | Quelle: Wikimedia Commons, Alejandra Silva / IAEA

Der Wirtschafts- und Sozialrat hat sich dieses Thema auf die Tagesordnung gesetzt, um sich mit den verschiedenen Aspekten der Nuklearmedizin zu beschäftigen. Neben Umweltaspekten, wie der richtigen Handhabung, Verwendung und Entsorgung, gibt es auch Problematiken in der Verfügbarkeit von Fachkräften und dem Zugang zu notwendigen Technologien außerhalb von Industrieländern. Dabei sollte alles möglichst kosteneffizient sein, da Medikamente nicht endlos teuer sein dürfen, die Produktion der Isotope jedoch sehr kostspielig und aufwändig ist.

Hintergrund und Grundsätzliches

Isotope und warum sie so nützlich sind

Kurz gesagt ist ein Isotop ein *Element*, welches eine geänderte Anzahl an *Neutronen* zum ursprünglichen Element hat. In der Nuklearmedizin werden eine Reihe von Isotopen für verschiedene Anwendungszwecke gebraucht. Das meistgenutzte Isotop ist *Technetium-99m*. Es macht circa 80% des Isotop-Bedarfs in der Medizin aus und wird verwendet, um die Sichtbarkeit von Skeletten und Herzmuskeln in computergestützten Scans zu verbessern. Weiter wird es auch immer wieder für die Diagnostik im Gehirn, der Lunge, Leber, Niere und weiteren Organen und Geweben verwendet.

Bismut-213, mit einer *Halbwertszeit* von 46 Minuten, wird für gezielte *Alpha-Bestrahlung* verwendet. Dabei wird mit der Alpha-Strahlung das mutierte Gewebe zerstört. Eine ausführliche Auflistung von verschiedenen Isotopen und ihrer Verwendung findet sich bei der World Nuclear Foundation:
<https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine#supply-of-radioisotopes> . Je nach Art der *emittierten Strahlung* und der Halbwertszeit der Isotope müssen andere Sicherheitsvorkehrungen im Umgang mit den Strahler umgesetzt werden. Das gilt für Transport, Herstellung, Verwendung und Entsorgung.

Der Transport von Isotopen

Die Halbwertszeit von Technetium-99m liegt bei 6 Stunden, das heißt, dass nach 6 Stunden die Hälfte des Technetium-99m zerfallen ist. In diesem Zustand müsste das Technetium-99m vor Ort angewendet werden, um eine Nutzbarkeit zu gewährleisten. Die Transportzeit kann jedoch erhöht werden, indem stattdessen *Molybdän-99* hergestellt wird. Molybdän-99 hat eine Halbwertszeit von 66 Stunden und zerfällt zu Technetium-99m. So kann Technetium-99m an Orten verwendet werden, die weit von den Produktionsstandorten entfernt sind. Das Molybdän-99 wird von Fachfirmen in Spezialbehältern zu den Verwendungsstandorten gebracht. Um das Technetium-99m schlussendlich verwenden zu können, muss dieses aus den Transportbehältern gespült und vom Molybdän-99 getrennt werden.

Auch bei anderen Isotopen ist es bewährte Praxis, ein Isotop herzustellen, das eine höhere Halbwertszeit hat und zum gewünschten Isotop zerfällt. Die zentralisierte Produktion hat zwangsläufig zur Folge, dass es sehr lange Transportwege gibt. Durch die Art der zu transportierenden Materialien müssen sie auch gesondert durch Fachfirmen transportiert werden, da der Transport und die Lagerung von strahlenden Produkten meist unter strengen Regeln steht. Aufgrund der verschiedenen Halbwertszeiten spielt die Zeitkritikalität dabei eine große Rolle. Das heißt, dass aufwändige Individual-Transporte notwendig sind, um die Produkte schnell von wenigen Produktionsstätten an die vielen Nutzungsorte zu transportieren.

Die Herstellung von Isotopen

Es gibt verschiedene Verfahren, um die benötigten Isotope herzustellen. In der gezielten Alphastrahlung wird unter anderem Bismut-213 mit einer Halbwertszeit von 46 Minuten verwendet. Um Bismut-213 zu erhalten, wird Actinium-225 hergestellt und das Bismut-213 daraus gewonnen, um wie bei Technetium-99m den Transport zu ermöglichen. Um Actinium-225 herzustellen, wird unter anderem Uran-233 verwendet. In der Vergangenheit wurde Uran-233 erfolgreich für die Herstellung von atomaren Massenvernichtungswaffen getestet. Das Uran-233 muss dafür jedoch bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Die Thorium Energy Alliance hat dazu ein Papier geschrieben, wie man die Waffenfähigkeit von Uran-233 definieren könnte:

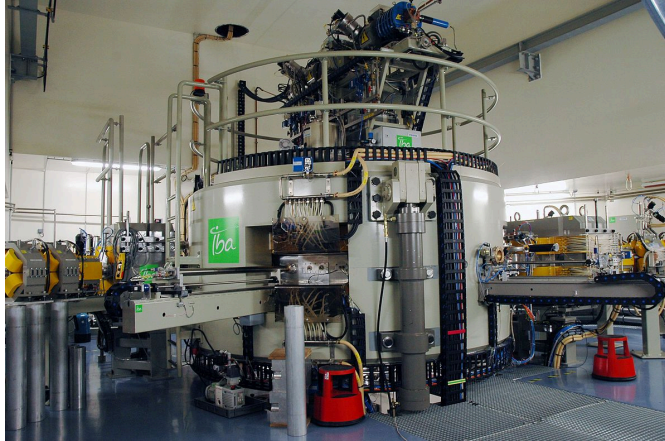
<https://thoriumenergyalliance.com/wp-content/uploads/2020/02/weapons-usable-u-233-ORNL-TM-13517.pdf> .

Aktuell wird medizinisch verwendbares Actinium-225 nur an wenigen Orten hergestellt. Beispielsweise im US-Energieministerium, im Oak Ridge National Laboratory oder in der Direktion für nukleare Sicherheit und Sicherung des Gemeinsamen Forschungszentrums der Europäischen Kommission in Karlsruhe. Der stetig steigende Bedarf für Actinium-225 kann von den wenigen Produktionsstätten nicht gedeckt werden.

Wenn Molybdän-99 und Technetium-99m in einem Reaktor hergestellt werden, wird dafür *schwach angereichertes Uran (LEU)* verwendet. Das LEU kann jedoch mit großem Aufwand weiter zu *hoch angereichertem Uran (HEU) angereichert* werden. HEU ist der Hauptbestandteil der *Atombomben*, die 1945 von den Vereinigten Staaten von Amerika auf Hiroshima und Nagasaki in Japan abgeworfen wurden und Stand 2024 insgesamt 543.091 Menschen das Leben kostete. Derzeit gibt es Bemühungen, HEU in LEU zu verarbeiten, um den Bestand an waffenfähigem Material zu verringern und das Uran für friedliche Zwecke einzusetzen, wie z.B. die Herstellung von nuklearmedizinischen Medikamenten.

Molybdän-99 und Technetium-99m können auch mithilfe von Zyklotronen hergestellt werden. Der Vorteil dabei ist, dass dann kein LEU benötigt wird und somit die Risiken, die die LEU mit sich bringt,

wegfallen. Jedoch ist der Betrieb von Zyklotronen sehr energieintensiv und aufwändig. Der Ertrag aus Zyklotronen ist auch deutlich geringer als aus Reaktoren. Dabei können sie nicht alle Produkte herstellen, die notwendig sind.



Cyclotron 70 MeV an der Universität von Nantes (Frankreich) | Quelle: Wikimedia Commons, Popocatomar

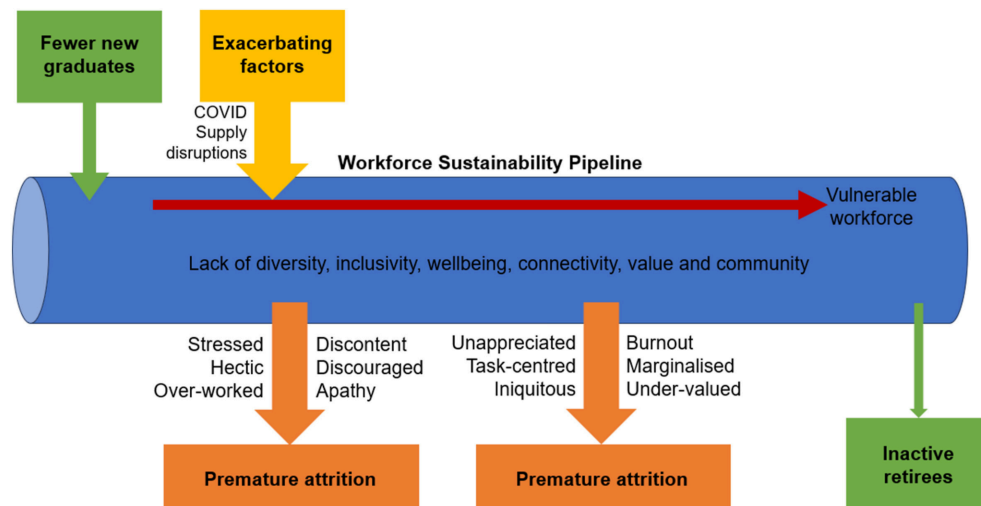
Aktuelles

Fachkräftemangel

Für die Arbeit an Reaktoren und Zyklotronen und den Transport von nuklearem Material sind Fachkräfte und entsprechend ausgebildete Personen unumgänglich. Auch im medizinischen Teil der Nuklearmedizin braucht es medizinisches und technisches Personal, das sich auf die Verwendung von nuklearmedizinischen Mitteln und Medikamente spezialisiert hat.

In Deutschland haben 46 % der Einrichtungen Schwierigkeiten, [Radiologietechnologen](#) zu rekrutieren, und bis 2030 wird ein Anstieg des derzeitigen Personals um schätzungsweise 50% benötigt. Viele Behandlungsmethoden sind sehr arbeitsintensiv, können aber gleichzeitig bei Fehlern schwere Schäden an den Patienten anrichten. Auch der Umgang mit den nuklearen Präparaten und Mitteln benötigt oft komplizierte und aufwendige Vorgänge. Dieser Fachkräftemangel

führt zwangsläufig dazu, dass Produktionsstandorte zukünftig die Produktion nicht in voller Auslastung aufrechterhalten können. Gleichzeitig wird der Einsatz am Patienten ausbleiben, da kein Personal zur Verfügung steht, um entsprechende Behandlungen durchzuführen.



Die Nachhaltigkeit der Personalentwicklung | Quelle: G.M. Currie, K.E. Hawk, E.M. Rohren

Umweltbelastung durch Nuklearmedizin

In einer Untersuchung in der chinesischen Provinz Guangdong wurde im Guangzhou Teil des Pearl Rivers erhöhte Strahlung festgestellt. Infolge der Untersuchung wurden auch die Abwasserauslässe von Krankenhäusern beprobt. Festgestellt wurde eine erhöhte Strahlenbelastung von *Iod-131*. Die Schlussfolge daraus ist, dass die Belastung im Pearl River auf die Nuklearmedizin in den Krankenhäuser zurückzuführen ist. Das Iod-131 gelang durch die Ausscheidungen von Patienten in das Abwasser.

Iod-131 hat eine Halbwertszeit von 8 Tagen. Genug Zeit, um durch den gesamten Stoffwechsel bis ins Abwasser zu gelangen. Der Einsatz von nuklearen Präparaten braucht somit auch ein Entsorgungsmanagement, welches sich nicht nur um nicht verwendete Medikamente und über wiederverwendbare Transportbehälter dreht, sondern auch den Patienten mit all seinen Aspekten und auch verwendetes, verstrahltes Werkzeug berücksichtigt. Dazu gibt es ein Papier der *Internationalen*

Atomenergie-Organisation (IAEA), die ausführlich alle Bereiche des Abfallmanagement beleuchtet:
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1183_prn.pdf

Gesamte Lage

Die Nuklearmedizin befindet sich derzeit an einem kritischen Punkt, der weltweite Bedarf an Isotopen steigt immer weiter. Lieferengpässe sind bereits seit Jahren regelmäßig ein Problem. Erst 2024 wurde der HFR-Reaktor in Petten (Niederlande), einer der wenigen Großproduzenten von Molybdän-99, wegen strukturellen Schäden außer Betrieb genommen. Die bereits zu diesem Zeitpunkt sehr angespannte Versorgungslage wurde damit deutlich verschärft.

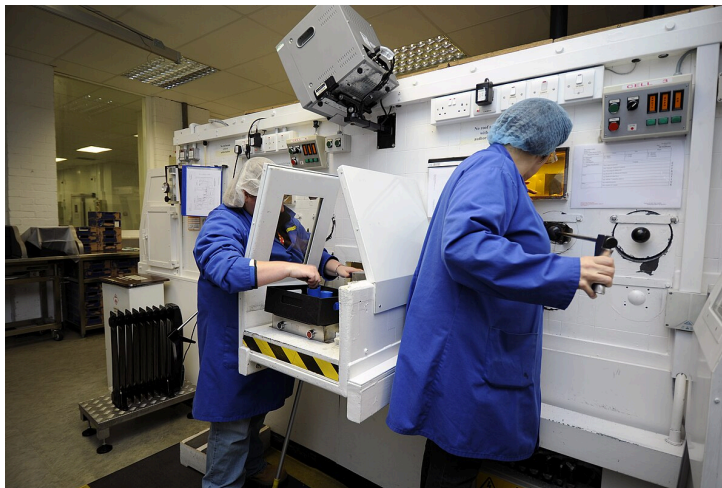
Die IAEA betreibt seit Jahrzehnten große Anstrengungen, um die Nuklearmedizin sicherer zu gestalten und einen umfassenden Wissenstransfer zu ermöglichen. Dazu werden neben Schulungsangeboten auch Konferenzen organisiert, um die Probleme der Nuklearmedizin weiter zu beleuchten. In der GC(66)/RES/DEC(2022) der Generalkonferenz der IAEA hat die IAEA erneut festgehalten, dass die IAEA ihre Bemühungen in der Nutzung von Radioisotopen und Strahlung für die Medizin weiter ausbauen möchte. Unter der Initiative "Rays of Hope" fördert die IAEA weltweit den Ausbau von nachhaltigen Zugang zu Nuklearmedizin, um die Bekämpfung von nicht übertragbaren Krankheiten wie Krebs weiter zu stärken.

Die Pharmabranche zeigt aktuell ein immer größeres Interesse an der Nuklearmedizin. Neben dem neuen, sehr lukrativen Wirtschaftsfeld, können so auch neue Behandlungsmethoden in die Produktpalette aufgenommen werden. Dabei liegt der Fokus vor allem auf Radiopharmaka, also Medikamenten, welche mit entsprechenden Isotopen versetzt sind. Die Medikamente können, wie oben ausgeführt, wegen des Zerfalls nicht gelagert werden, aber die restlichen Bestandteile des Medikamentes können vorproduziert und dann mit dem Isotop versetzt werden. Durch diesen Umstand kommt es, dass verschiedene Pharmaunternehmen stark in Nuklearmedizin investieren.

Probleme und Lösungsansätze

Zentrale Produktionsstandorte und Abhängigkeit

Der Großteil der nuklearmedizinischen Isotope wird derzeit nur in wenigen Forschungsreaktoren oder Zyklotronen hergestellt, was die Versorgung empfindlich macht: Ausfälle oder Wartungsarbeiten können schnell zu Engpässen führen. Lange Transportwege erhöhen dabei nicht nur die Kosten, sondern auch die Zeitkritikalität der Lieferungen und den CO₂-Ausstoß durch spezialisierte Transporte. Um diese Probleme zu verringern, könnten kleinere, regionale Zyklotron- oder Reaktorzentren aufgebaut werden, die die Transportwege verkürzen und die Versorgungssicherheit erhöhen.



Verpacken von Radiopharmazeutika | Dean Calma / IAEA

Um den internationalen Transport von nuklearem Material zu ermöglichen oder zu vereinfachen, sind weitere Abkommen und internationale Regeln und Standards nötig. Die IAEA als zuständige Institution der Vereinten Nationen hat dazu bereits weitreichende Papiere verfasst. (siehe Wichtige Dokumente)

Um das Missbrauchsrisiko von Uran-basierten Herstellungsmethoden zu verringern, sollte stark in die Forschung investiert werden, um Lösungen ohne den Einsatz von Uran zu finden. Ein internationaler Wissenstransfer kann zudem die Sicherheit der Anlagen weiter erhöhen, da dann der aktuelle technische Wissensstand global umgesetzt werden kann.

Fachkräftemangel

Nicht nur das Kontingent an Radiologietechnolog*innen, sondern auch Nuklearmediziner*innen, Physiker*innen und Laborpersonal ist knapp, was die effiziente Nutzung vorhandener Isotope stark einschränkt und wertvolle Ressourcen ungenutzt lässt. Die Schulung und Zertifizierung für den sicheren Umgang mit radioaktiven Substanzen ist aufwändig und zeitintensiv, sodass der Fachkräftemangel langfristig eine zentrale Herausforderung bleibt. Um dem entgegenzuwirken, sollten nationale und internationale Ausbildungsprogramme für Radiologietechnologen, Nuklearmediziner und Sicherheitspersonal etabliert werden, während Kooperationen zwischen Universitäten, Forschungseinrichtungen und Kliniken gezielt Nachwuchs fördern und auf die komplexen Anforderungen der Nuklearmedizin vorbereiten.

Hier muss dringend auch ein Fokus auf die Ausbildung außerhalb der Industrieländer gelegt werden, um einen sicheren Zugang und Einstieg in die Nuklearmedizin zu gewährleisten.

Strahlen- und Umweltrisiken

Nuklearmedizinische Präparate erzeugen zwangsläufig nuklear belastete Abfälle, sei es durch Ausscheidungen von Patienten, ungenutzte Medikamente oder Produktionsrückstände. Eine fehlende oder unzureichende Entsorgung kann dabei erhebliche Umweltschäden verursachen, wie etwa im chinesischen Guangdong im Pearl River deutlich wurde. Transport, Lagerung und Handhabung dieser Materialien erfordern besondere Sicherheitsmaßnahmen, deren Missachtung gesundheitliche und ökologische Folgen haben kann. Um diese Risiken zu minimieren, sollten standardisierte Verfahren für Sammlung, Transport, Lagerung und Entsorgung radioaktiver Abfälle weiterentwickelt und geschult werden. Auch hier ist ein internationaler Austausch ein Vorteil, da die Probleme weltweit identisch sind. Zusätzlich sollten fortschrittliche Filter- und Aufbereitungstechnologien in Krankenhäusern und ähnlichen Einrichtungen gefördert werden, um die Belastung von Wasser und Umwelt nachhaltig zu reduzieren.

Hinweise zur Recherche

Ein erster Anhaltspunkt in Ihrer Recherche sollte sein, ob Ihr Land Radiopharmaka selbst herstellt oder größtenteils Isotope importiert. Daraus lässt sich ableiten, wie unabhängig Ihr Land in der medizinischen Versorgung mit nuklearen Diagnostik- und Therapie-Isotopen ist.

Dann können Sie sich an folgenden Leitfragen in der weiteren Recherche orientieren:

- Welche nuklearmedizinischen Isotope sind für mein Land besonders relevant?
- Welche Produktionsverfahren werden genutzt: Reaktoren oder Zyklotrone?
- Ist Nuklearmedizin in meinem Land weit verbreitet oder nur in wenigen Zentren verfügbar?
- Wie steht es um den Fachkräftebestand: Gibt es genügend Radiologietechnolog*innen, Nuklearmediziner*innen, Physiker*innen und Laborpersonal?
- Welche Regelungen gibt es zur Entsorgung radioaktiver Abfälle und zum Umgang mit nuklearen Präparaten?
- Welche internationalen Abkommen oder Standards (z. B. IAEA, WHO) beeinflussen die Produktion, Nutzung und Sicherheit der Nuklearmedizin in meinem Land?

Folgende Quellen bieten einen guten Einstieg:

Nationale Quellen:

- Websites des Gesundheitsministeriums oder der nationalen Atom-/Strahlenschutzbehörde: Berichte zu nuklearmedizinischer Infrastruktur, Ausbildungsprogrammen, Abfallmanagement.
- Nationale Statistikämter: Daten zur Anzahl der Kliniken, Nutzern und durchgeführten nuklearmedizinischen Verfahren.

Internationale Quellen:

- IAEA: Management von radioaktiven Abfällen, Sicherheitsrichtlinien, globale Versorgungslage – <https://www.iaea.org/resources/hhc/nuclear-medicine>
- World Nuclear Forum: Informationen zu Isotopenproduktion und Anwendung in der Medizin – <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine>
- NEA (Nuclear Energy Agency): Analysen zur Versorgungskette und wirtschaftlichen Struktur der Nuklearmedizin – <https://www.oecd-neo.org>

Leider sind die meisten dieser Ressourcen oft nicht auf Deutsch verfügbar. Hier kann es sich aber lohnen, einen Übersetzer zu verwenden (z.B. DeepL) und mit den eigenen Englischkenntnissen das Übersetzte zu überprüfen. Ansonsten gibt es für Resolutionen u.ä. den Deutschen Übersetzerdienst der Vereinten Nationen. Für lange, offizielle UN-Dokumente, die vielleicht nicht nur das Thema von Interesse behandeln, lohnt sich auch immer eine Stichwortsuche über die Tastenkombination STRG F. Anstatt direkte inhaltliche Fragen an ChatGPT zu stellen, ist es auch oft hilfreicher, sich mögliche Quellenvorschläge zu einem Thema liefern zu lassen.

Glossar/Lexikon

Alpha-Strahlung: besteht aus schweren Heliumkernen, die nur eine sehr kurze Reichweite haben und schon durch Papier gestoppt werden. Gefährlich wird sie hauptsächlich dann, wenn alphastrahlende Stoffe in den Körper gelangen.

Anreichern: bedeutet, den Anteil eines bestimmten Isotops in einem Material zu erhöhen – bei Uran zum Beispiel wird der Anteil von Uran-235 gegenüber Uran-238 gesteigert. Dadurch wird der Stoff reaktiver und für Kernenergie oder andere Zwecke nutzbar.

Actinium-225: radioaktives Isotop, das vor allem in der Targeted Alpha Therapy (TAT) eingesetzt wird. Es zerfällt unter Abgabe von Alpha-Strahlung, hat eine Halbwertszeit von etwa 10 Tagen und eignet sich dadurch für gezielte Krebsbehandlungen.

Atomwaffen: Sprengsätze, die ihre enorme Energie durch Kernspaltung oder Kernfusion freisetzen und dadurch sofortige Zerstörung (Druckwelle, Feuer) sowie akute und langfristige Strahlenschäden verursachen.

Beta-Strahlung: besteht aus Elektronen oder Positronen, die beim Zerfall eines instabilen Atomkerns entstehen und deutlich weiter reichen als Alpha-Strahlung. Sie kann die Haut durchdringen, wird aber durch Materialien wie Aluminium zuverlässig abgeschirmt.

Bismut-213: radioaktives Isotop, das vor allem in der nuklearmedizinischen Therapie eingesetzt wird, z. B. in der Targeted Alpha Therapy (TAT). Es zerfällt unter Abgabe von Alpha-Strahlung, hat eine kurze Halbwertszeit von etwa 46 Minuten und eignet sich deshalb gut für sehr gezielte Behandlungen direkt am Tumor.

Endlager: speziell gebauter, dauerhaft sicherer Ort, an dem hochradioaktive Abfälle so gelagert werden, dass sie über tausende Jahre weder Menschen noch Umwelt gefährden. Dabei sollen sie tief unter der Erde in geologischen Formationen eingeschlossen bleiben.

Element: Grundstoff, dessen Atome alle die gleiche Anzahl an Protonen im Kern haben. Diese Protonenzahl bestimmt die chemischen Eigenschaften und den Platz des Elements im Periodensystem.

Exposition: Ausgesetztsein gegenüber einer Substanz oder Strahlung, zum Beispiel die Aufnahme von Schadstoffen oder radioaktiver Strahlung durch den Körper.

Emittierte Strahlung: Strahlung, die von einem radioaktiven Stoff oder einer Strahlenquelle abgegeben wird, z. B. Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung.

Halbwertszeit: die Zeit, in der die Hälfte der Atome eines radioaktiven Stoffes zerfällt. Sie zeigt also, wie schnell ein radioaktives Material seine Strahlung verliert.

Hoch angereichertes Uran (HEU): Uran, bei dem der Anteil des spaltbaren Isotops Uran-235 bei über 20 % liegt. Es ist sehr reaktiv und kann sowohl für Kernreaktoren als auch für Atomwaffen verwendet werden.

Internationale Atomenergie-Organisation (IAEA): spezialisierte Organisation der Vereinten Nationen, die den friedlichen Einsatz von Kernenergie fördert, Sicherheitsstandards festlegt und die Nichtverbreitung von Atomwaffen überwacht.

Isotop: Variante eines Elements, bei der die Atome die gleiche Anzahl an Protonen, aber unterschiedliche Neutronenzahlen im Kern haben. Dadurch ändern sich Masse und Eigenschaften, das chemische Verhalten bleibt meist gleich.

Iod-131: radioaktives Isotop, das in der Medizin vor allem zur Diagnose und Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen eingesetzt wird. Es zerfällt unter Abgabe von Beta- und Gammastrahlung und hat eine Halbwertszeit von etwa 8 Tagen.

Molybdän-99: radioaktives Isotop, das in der Medizin vor allem zur Herstellung von Technetium-99m verwendet wird. Molybdän-99 hat eine Halbwertszeit von etwa 66 Stunden.

Neutronen: ungeladene Teilchen im Atomkern, die zusammen mit Protonen die Masse des Atoms bestimmen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei Kernreaktionen und der Stabilität von Atomkernen.

Nukleare Strahlung: Energie oder Teilchenstrahlung, die beim Zerfall instabiler Atomkerne freigesetzt wird, z. B. Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung. Sie kann Materie durchdringen und ist für Menschen und Umwelt potenziell gefährlich.

Nuklearer Strahler: ein Stoff oder Objekt, das radioaktive Strahlung abgibt, also Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung emittiert. Solche

Strahler werden z. B. in Medizin, Forschung oder Energieerzeugung verwendet.

Pro-Kopf-Bestrahlungsdosis: gibt an, wie viel Strahlung im Durchschnitt auf jede Person einer Bevölkerung innerhalb eines bestimmten Zeitraums (z. B. pro Jahr) wirkt.

Reaktor: technische Anlage, in der kontrollierte Kernreaktionen ablaufen. Er wird genutzt, um Energie zu erzeugen, Wärme bereitzustellen oder bestimmte radioaktive Isotope herzustellen.

Radiologietechnologen: Fachkräfte, die in der Medizin Bildgebungsverfahren wie Röntgen, CT oder MRT durchführen, Patienten betreuen und dafür sorgen, dass die Strahlen sicher und korrekt angewendet werden.

Schwach angereichertes Uran (LEU): Uran, bei dem der Anteil des spaltbaren Isotops Uran-235 bei unter 20 % liegt. Es wird hauptsächlich als Brennstoff für Kernkraftwerke verwendet.

Technetium-99m: radioaktives Isotop, das vor allem in der medizinischen Diagnostik eingesetzt wird. Es zerfällt unter Abgabe von Gammastrahlung, hat eine sehr kurze Halbwertszeit von etwa 6 Stunden und ermöglicht so eine präzise Bildgebung bei geringer Strahlenbelastung.

Zyklotron: Teilchenbeschleuniger, der geladene Teilchen wie Protonen auf hohe Geschwindigkeiten bringt. In der Medizin wird er genutzt, um radioaktive Isotope für Diagnostik und Therapie herzustellen.

Wichtige Dokumente und Quellen

- World Nuclear Forum [ENG]: Radioisotope in der Medizin (2025)
<https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine>

- musstewissen Chemie: Kurzzusammenfassung über Isotope (2017) <https://www.youtube.com/watch?v=6DqCWFC4o6w>
- Internationale Atomenergie-Organisation IAEA [ENG]: IAEA-TECDOC-1183 Management radioaktiver Abfälle aus der Verwendung von Radionukliden in der Medizin (2000) https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1183_p rn.pdf
- Internationale Atomenergie-Organisation IAEA [ENG]: Erkundung und Umsetzung neuer Fortschritte in der Nuklearmedizin in Afrika mit Unterstützung der IAEA (2020) <https://www.iaea.org/newscenter/news/exploring-and-implementing-new-advances-in-nuclear-medicine-in-africa-with-iaea-support>
- IAEA: Informationen zu Wissenstransfer im nuklearmedizinischen Bereich: <https://www.iaea.org/resources/hhc/nuclear-medicine>
- IAEA: Rays of Hope Programm <https://iaea.shorthandstories.com/raysofhope/index.html>
- IAEA: Ansätze für internationale Standards zu Transport von nuklearem Material <https://www.iaea.org/resources/hhc/nuclear-medicine>
- Ausschuss für die Produktion medizinischer Isotope ohne hochangereichertes Uran [ENG]: Produktion medizinischer Isotope ohne hochangereichertes Uran (2009) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK215132/>
- Berufsverband Deutscher Nuklearmediziner e.V.: Engpässe bei Radionukliden (2022) <https://www.berufsverband-nuklearmedizin.de/presse/pressemitteilungen/meldung/news/engpaesse-bei-radionukliden/>
- C.Cutler, E. Bailey, V. Kumar, S. Schwarz, et. al. [ENG]: Globale Probleme beim Zugang zu und der Verfügbarkeit von

Radiopharmazeutika: Ein Projekt der Global Initiative für
Nuklearmedizin (2021)

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8049350/>

- C. Forsberg, C. Hopper, J. Richter, H. Vantine [ENG]: Definition of Weapons-Usable Uranium-233 (1998)
<https://thoriumenergyalliance.com/wp-content/uploads/2020/02/weapons-usable-u-233-ORNL-TM-13517.pdf>
- Europäische Kommission [ENG]: Medizinische Verwendung von Strahlung (2024)
https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclear-energy/radiological-and-nuclear-technology-health/medical-uses-radiation_en?pr_eLang=de&etrans=de#email
- G.M. Currie, K.E. Hawk, E.M. Rohren [ENG]: Herausforderungen für die Nachhaltigkeit in der nuklearmedizinischen Praxis (2024)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817424001044>
- K. Lichter, J. Anderson, A. Sim, C. Baniel, et. al. [ENG]: Übergang zu einer umweltverträglichen, klimafreundlichen Strahlentherapie (2022)
[https://www.redjournal.org/article/S0360-3016\(22\)00398-4/pdf](https://www.redjournal.org/article/S0360-3016(22)00398-4/pdf)
- M. Linet, T. Slovis, D. Miller, et. al. [ENG]: Krebsrisiken im Zusammenhang mit externer Strahlung durch diagnostische Bildgebungsverfahren (2012)
<https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.3322/caac.21132>
- Nuclear Energy Agency (NEA) [ENG]: Die wirtschaftliche Struktur der Versorgungskette für medizinische Isotope: die zugrunde liegende Erklärung für den Mangel (2010)
<https://www.oecd-neo.org/news/2010/2010-06.html>
- P. Veit-Haibach, K. Herrmann, R. Zimmermann, R. Hustin [ENG]: Grüne Nuklearmedizin und Radiotheranostik (2024)

<https://jnm.snmjournals.org/content/jnumed/66/3/340.full.pdf>

- R. Ravichandran, J. Binukumar, R. Sreeram, L. Arunkumar [ENG]: Ein Überblick über die Verfahren zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in einer nuklearmedizinischen Abteilung (2011) <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3119958/>
- T. Heye, R. Knoerl, T. Wehrle, et. al. [ENG]: Der Energieverbrauch in der Radiologie: Energie- und kostensparende Möglichkeiten beim Betrieb von CT- und MRT-Geräten (2020) <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2020192084>