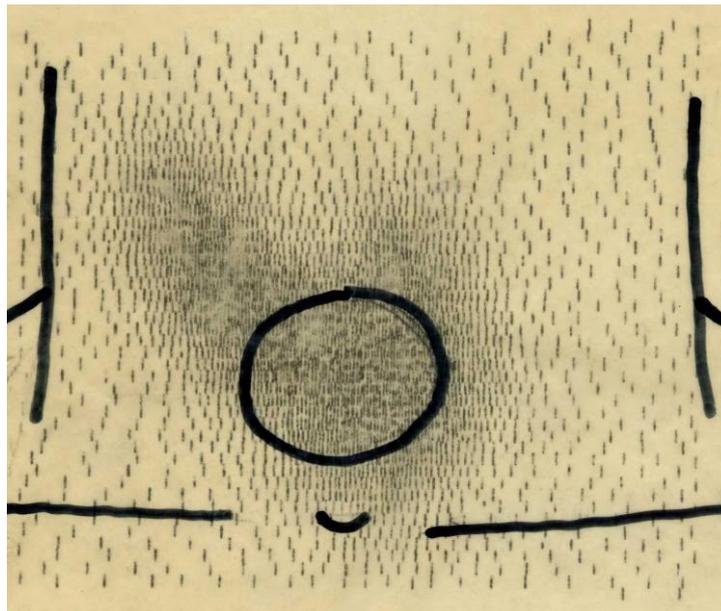


## Einleitung

### Zur Geschichte der Universitätsklinik für Nuklearmedizin an der Medizinischen Universität Innsbruck

- 1961: Einführung nuklearmedizinischer Verfahren in der Diagnostik und Therapie von Schilddrüsenerkrankungen im „Isotopenlabor“ der Chirurgischen Univ.-Klinik in Innsbruck (untergebracht im ehemaligen Tierstall der Medizinischen Klinik).
- 1964: Aufstellung der 1. Szintillationskamera in Österreich und Errichtung einer eigenen „Schilddrüsenambulanz“. Das Untersuchungsangebot der „Nuklearmedizin“ wird auf Erkrankungen der Niere, Leber, Lunge, des Gehirns und Skelettes ausgedehnt.
- 1968: Übersiedlung des Isotopenlabors und der Schilddrüsenambulanz in das Geschoß 01 im Neubau der Chirurgischen Universitätskliniken.
- 1969: Einrichtung der speziellen Therapiestation im Geschoß 1 Süd der Chirurgischen Univ.-Kliniken zur Behandlung von Patienten mittels offener radioaktiver Stoffe.
- 1973: Aus dem Isotopenlabor wird die erste österreichische „Lehrkanzel für Nuklearmedizin“ unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Georg RICCABONA. Die Untersuchungstechniken werden laufend erweitert, die Zahl nuklearmedizinischer Untersuchungsmethoden und der Bedarf an Isotopenbehandlungen steigt.



Historisches Schilddrüsen-szintigramm aus dem Jahre 1961, durchgeführt mit Jod-131.

- 1976: Die Lehrkanzel für Nuklearmedizin wird „Univ.-Klinik für Nuklearmedizin“.
- 1987: Vorlage eines Organisationsvorschlages für den zukünftigen Diagnostikbereich der Univ.-Klinik für Nuklearmedizin mit dem Ziel, dringend notwendige Erweiterungen für „Schilddrüsen-Ambulanz“ und „Nuklearmedizinische Ambulanz“ sowie Laborräume zu realisieren.
- 1990 – 1993: Erweiterung und Ausbau der Ambulanzen im Geschöß 01 des Flachbaues im Osten des Chirurgiegebäudes. Aussiedelung der „Zentralsterilisation“ in das zentrale Versorgungsgebäude. Die erforderlichen Mittel von ca. 50 Mio ATS werden von Bund (40%) und Land (60%) getragen.

Mit einem Personalstand von 6 Ärzten, 11 medizinisch/radiologisch-technischen Assistentinnen, 4 diplomierte Pflegekräfte, 4 nichtmedizinischen Mitarbeitern und 3 Sekretärinnen werden in der Ambulanz 11000 Patienten mit 14000 Ambulanzbesuchen betreut. Im RIA-Labor werden pro Jahr 70 000 Bestimmungen durchgeführt.



Historischer Speicher-messplatz für Radiojod (Uptake-Messung)

- 2000: Nach eingehenden Planungsarbeiten für das Zentrum für Positronenemissions-Tomographie (PET) wird die Phase I (Vollring PET-Scanner) im Dezember in Betrieb genommen.
- 2002: Univ.-Prof. Dr. G. RICCABONA emeritiert. Die Therapiestation wird im Dezember 2002 geschlossen.



zEingang zur historischen Therapiestation der Univ.-Klinik für Nuklearmedizin und Jodkapselausgabe an eine Patientin durch O.Univ.-Prof.emer.G.Riccabona

- 2003: Frau Univ.-Prof. Irene VIRGOLINI wird neuer Vorstand der Univ.-Klinik für Nuklearmedizin. 2002/2003 laufende Verhandlungen zum Neubau der nuklearmedizinischen Therapiestation, die nach Feng-Shui-Richtlinien ausgestattet wird.
- 2004: Der Personalstand der Univ.-Klinik für Nuklearmedizin beträgt 15 Ärzte, 7 naturwissenschaftliche Akademiker, 14 diplomierte Pflegekräfte (Ambulanz und Therapiestation), 14 medizinisch/radiologisch-technische Assistenten (RTAs/MTAs), 7 Schreibkräfte.

**Im Oktober 2004 nimmt die nuklearmedizinische Therapiestation ihren Betrieb wieder auf.**

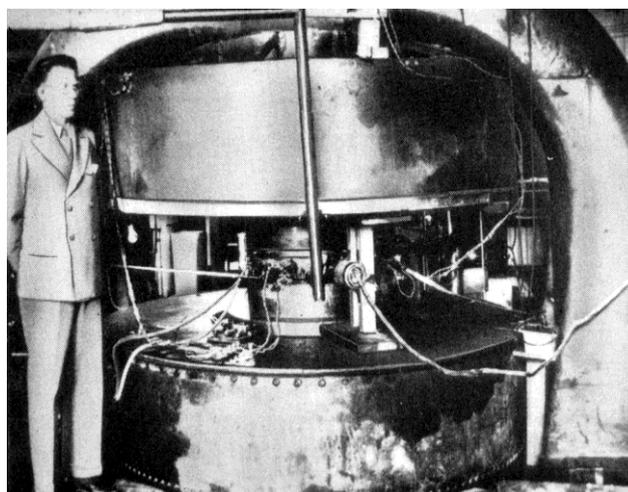


1961 gab's das Radiojod ja schon,  
 Aber wir hatten keine Therapiestation!  
 Deshalb an einem Wintermorgen mit viel Schnee  
 Ich eine Therapiepatientin auf dem Weg zu der Kappelle seh.  
 Ich frag: "Ja, Mutterl, wo denn gehst Du hin?"  
 Die antwortet: "Die Schwester meint, das in der Kirsch  
 ich heut gut aufgehoben bin!"

## 1. Radiopharmaka für die Therapie mit offenen Radionukliden

### I.) Historische Entwicklung und erste klinische Anwendung

Die erste Anwendung offener radioaktiver Stoffe am Menschen geht auf den Beginn des 20. Jahrhunderts zurück, basierend auf den Forschungen von Pierre und Marie Curie, die 1898 die radioaktiven Elemente Polonium und Radium entdeckten. Zu dieser Zeit war es noch nicht möglich, künstlich radioaktive Elemente herzustellen. Man war daher auf natürliche Radioisotope angewiesen; angewandt wurde im wesentlichen Radium. Bereits 1901 soll Dr. Danlos im Saint-Louis Hospital in Paris Radium äußerlich verwendet haben. Die erste Publikation, die die Verwendung radioaktiven Materials für medizinische Zwecke beschreibt stammt aus dem Jahre 1910. Beschrieben ist die Therapie von Hautkrankheiten (Wickham L, Degrais P. Traitement des cheloides par le Radium. In: Congres (3) International de Physiotherapie, Paris, 1910, Comptes rendus et communications. Paris, p.693 (1911)).



**Pioniere der Produktion von Radionukliden, Marie Curie (links) und Ernest Lawrence mit dem ersten Zyklotron in Berkeley (rechts)**

Im Jahre 1934 gelang es Joliot und Curie (Joliot F., Curie I. Artificial production of a new kind of radioelement. Nature. 133: 201 (1934)) erstmals künstlich Radionuklide herzustellen. Mit den Weiterentwicklungen in der Atomphysik (Zyklotron ab 1936, Reaktornuklide ab 1946), wurden sehr schnell die Möglichkeiten für die medizinische Anwendungen erkannt. Chiewitz und von Hevesy hatten bereits 1935 gezeigt, dass man physiologische Prozesse mit radioaktiven Elementen sichtbar machen kann (Chiewitz, O., G. von Hevesy: Radioactive indicators in the study of phosphorus metabolism in rats. Nature (London) 136: 754 (1935)). Sie verwendeten  $^{32}\text{P}$  Phosphor zur Darstellung des Phosphatstoffwechsels in der Ratte. Dazu verwendetenes  $^{32}\text{P}$  Phosphor erhielten sie von Niels Bohr, der dieses Radionuklid durch Bestrahlung mit einer 600 mg Radium-Quelle erzeugen konnte, die ihm von seinen Freunden zum 50. Geburtstag geschenkt worden war. John H. Lawrence, der Bruder des Erfinders des Zyklotrons, führte die erste therapeutische Anwendung mit einem künstlich hergestelltem Radionuklid durch. Er verwendete  $^{32}\text{P}$  Phosphor zur Behandlung von Leukämie (Lawrence JH. Nuclear Physics and Therapy:

preliminary report on a new method for the treatment of leukaemia and polycythemia. Radiology. 35: 51 (1940)).

Die Entwicklung schritt schnell voran. Bereits 1938 wurde das Potential von radioaktivem Iod zur Untersuchung des Schilddrüsenstoffwechsels erkannt und 1942 die ersten Therapieversuche am Menschen durchgeführt (Hertz S, Roberts A. Application of radioactive iodine in the therapy of Graves'disease. J. Clin. Invest. 21: 624 (1942)). Im selben Jahr erkannte man, dass Radiojod auch in Schilddrüsen-Karzinomzellen gespeichert wird. Über **die erste erfolgreiche Therapie eines Schilddrüsenkarzinoms wurde 1946 berichtet** (Seidlin SM, Marinelli LD, Oshry E. radioactive iodine therapy: effect on functioning metastases of adenocarcinoma of the thyroid. J.Amer.Med.Ass. 132: 838 (1946)). Gleichzeitig begann in den USA bereits die Firma Abbott mit der ersten kommerziellen Produktion von Radionukliden zu medizinischen Zwecken.

## II.) Grundlagen

In der Nuklearmedizin werden offene radioaktive Stoffe zu therapeutischen Zwecken angewandt, man spricht dabei von radioaktiven Arzneimitteln oder **Radiopharmaka**. Die Eigenschaften der Radiopharmaka sind einerseits gegeben durch das verwendete Radionuklid, andererseits durch seine chemischen Eigenschaften, die für die biologische Verteilung verantwortlich sind. Die unten angeführte Tabelle zeigt die heute therapeutisch verwendeten Radionuklide. Es werden in erster Linie überwiegend Beta-Strahler, z.T. mit begleitender Gamma-Strahlung, mit Halbwertszeiten im Bereich von wenigen Tagen eingesetzt. Die Produktion der Radionuklide erfolgt heute in kommerziellem Maßstab, die Verarbeitung zum Radiopharmakon jedoch zum Teil auch vor Ort im Labor der Univ.-Klinik für Nuklearmedizin.

Übersicht über wichtige in der nuklearmedizinischen Therapie verwendeten Radionuklide und deren Eigenschaften

Radionuklid	HWZ	Zerfallsart	Beta-Energie	Produktion
<sup>131</sup> I	8d	β, γ	0,8MeV	Reaktor
<sup>90</sup> Y	2,7d	β	2,30MeV	Reaktor
<sup>32</sup> P	14,3d	β	1,7MeV	Reaktor
<sup>89</sup> Sr	51d	β	1,5MeV	Reaktor
<sup>153</sup> Sm	46,3h	β,γ	0,81MeV	Reaktor
<sup>177</sup> Lu	6,7d	β,γ	0,5MeV	Reaktor

### III.) Herstellung und Zubereitung von Radiopharmaka

Die Produktion Beta-strahlender Radionuklide erfolgt heute überwiegend in speziellen kleinen Forschungsreaktoren. Dort werden durch Neutronenbestrahlung stabile Elemente in Radionuklide umgewandelt. Diese werden in weiteren Schritten chemisch aufgereinigt und zu Vorstufen oder dem fertigen Radiopharmakon weiterverarbeitet. Anschließend werden die Produkte an nuklearmedizinische Abteilungen versandt. Die kurzen Halbwertszeiten sowie der komplexe Verarbeitungsprozess machen eine gute Logistik notwendig, damit das Radiopharmakon am richtigen Tag, zur richtigen Zeit, in der notwendigen Menge und Form für die Therapie zur Verfügung steht.

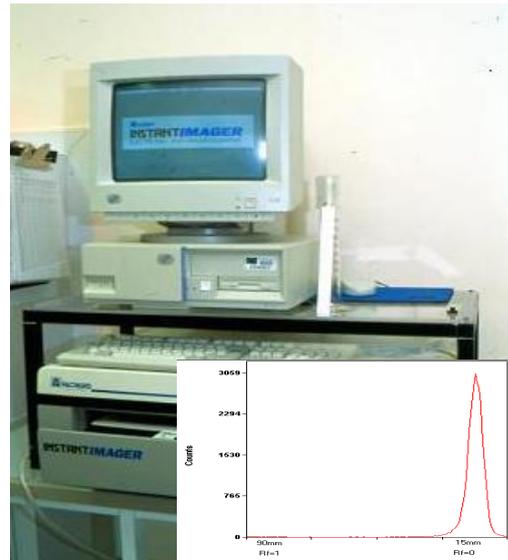
Die Dosierung erfolgt dosisorientiert und patientenbezogen. Zubereitung und Dosierung erfolgen in speziell dafür eingerichteten Arbeitsbereichen, die ein hohes Maß an Strahlenschutz aufweisen und den geforderten Hygieneanforderungen entsprechen (Laminar Flow).

Die Haltbarkeit der verwendeten Radiopharmaka ist nicht zuletzt auf Grund der kurzen Halbwertszeiten der Radionuklide in der Regel auf wenige Stunden bis maximal wenige Tage beschränkt. Daher kommt auch den qualitätssichernden Maßnahmen wesentliche Bedeutung zu. Diese umfassen die Qualitätskontrolle inklusive der Bestimmung von Reinheitskriterien und pharmazeutischen Parametern.

Insgesamt bedarf es bei der Durchführung einer nuklearmedizinischen Therapie einer genauen zeitlichen Planung, um das Radiopharmakon in entsprechender Menge und Qualität für die therapeutische Anwendung zur Verfügung zu haben.



Forschungsreaktor zur Produktion von therapeutisch verwendeten Radionukliden (links, kommerzielle Verarbeitung von Radionukliden für die medizinische Anwendung in sog. heißen Zellen (rechts)



Verschiedene Spritzenabschirmungen für die Applikation radioaktiver Arzneimittel (links), Gerät zur Qualitätskontrolle von Radiopharmaka mittels chromatographischer Methoden

## IV.) Radiopharmaka zur nuklearmedizinischen Therapie

### $^{131}\text{I}$ -Natriumiodid, Kapseln zur Radioiodtherapie

$^{131}\text{I}$ -Natriumiodid ist das für therapeutische Zwecke am häufigsten angewandte Radiopharmakon.  $^{131}\text{I}$  wird schnell und quantitativ resorbiert und kann daher oral angewandt werden. Nach oraler Verabreichung reichern sich 30-60% der applizierten Dosis in der Schilddrüse an. Diese Speicherung über einen längeren Zeitraum wird für die gezielte Zerstörung von Schilddrüsengewebe bei benignen aber auch malignen Schilddrüsenerkrankungen genutzt. Die Anwendung erfolgt durch orale Applikation in Form einer Kapsel, die Dosierung individuell. Durch die spezielle Verpackung in Bleiabschirmung erreicht man mit dieser Art der Verabreichung einen hohen Grad an Strahlenschutz und eine Vermeidung von unbeabsichtigten Kontaminationen.



Bleiabschirmungen und  $^{131}\text{I}$ -Natriumiodid Kapsel zur Radioiodtherapie

### **<sup>153</sup>Samarium-EDTMP, Lösung** zur Radionuklidtherapie bei schmerzhaften Knochenmetastasen

<sup>153</sup>Sm-EDTMP ist ein Chelatkomplex von einem Metall (radioaktives Samarium-153) und einem Polyphosphonat (Ethylendiamintetraphosphorsäure). In dieser Form weist das Präparat eine hohe Affinität zum Skelettsystem auf und wird vor allem in Läsionen angereichert, die auch im Knochenszintigramm eine vermehrte Traceranreicherung zeigen. Im Normalfall reichern sich mehr als 40% der applizierten Aktivität in kurzer Zeit im Knochen an; die Bindung an den Knochen ist dann über mehrere Tage hin stabil. Die von <sup>153</sup>Sm ausgesandte Gamma-Strahlung kann zur post-therapeutischen Bildgebung herangezogen werden. Die Therapie wird in Form einer intravenösen Injektion verabreicht. Alternativ werden auch <sup>186</sup>Re-EDTMP oder <sup>89</sup>Strontium-Chlorid für diese Indikation eingesetzt.

### **<sup>90</sup>Yttrium, <sup>186</sup>Rhenium, <sup>169</sup>Erbium, in kolloidaler Form** zur Radiosynoviorthese, lokale Strahlenanwendung zur Behandlung schmerzhafter, entzündlicher Gelenkerkrankungen

Um eine hohe Strahlendosis in erkranktem Gewebe zu erreichen kann ein Radiopharmakon auch lokal appliziert werden. Dies geschieht z.B. bei der sogenannten Radiosynoviorthese. Dabei werden Radionuklide in Form von Kolloiden (Teilchengröße < 1µm) **intraartikulär** appliziert. Teilchen dieser Größe werden von den Synovialzellen phagozytiert. Die Bestrahlung bleibt daher lokal beschränkt, da die verwendeten Radionuklide Strahlung emittieren, die eine maximale Reichweite von wenigen Millimetern aufweist. Die in der Gelenksinnenhaut (Synovialis) erzielte Dosis ist abhängig von der applizierten Aktivität, Energie und der Halbwertszeit der verwendeten Beta-Strahler. Um eine adäquate Dosis in Abhängigkeit von der Dicke der Synovialis zu erreichen, werden unterschiedliche Radionuklide eingesetzt.

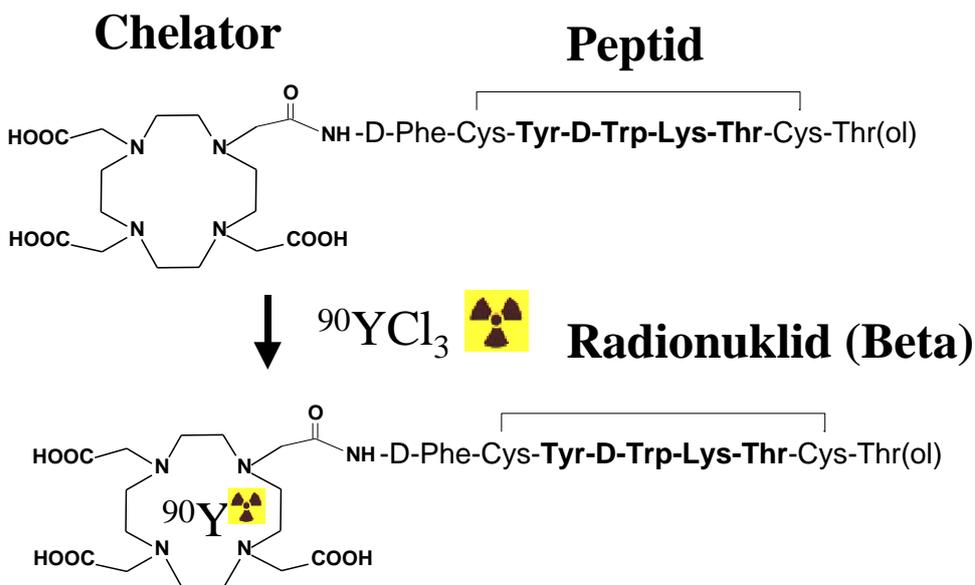
Die Höhe der Aktivität des radioaktiven Arzneimittels bei **intraartikulärer** Injektion und Art des Radionuklids richtet sich nach der Größe des Gelenkes und dem Ausmaß der entzündlichen Aktivität:

Radiopharmaka	β-Energie	Anwendung
<sup>90</sup> Y-Kolloid (Yttriumcitrat)	2.27MeV	große Gelenke
<sup>186</sup> Re-Kolloid (Rheniumsulfid)	1.1MeV	mittlere Gelenke
<sup>169</sup> Er-Kolloid (Erbiumcitrat)	0.3MeV	kleine Gelenke

### **Radioaktiv markierte Peptide** zur Peptidrezeptor-medierten Radionuklid-Therapie

Bei der Radiopeptid-Therapie werden rezeptorspezifische Peptide als hochspezifische Träger („Carrier“) genutzt, um die Radioaktivität direkt an oder in die Krebszellen zu bringen, um diese mit ihrer Strahlung gezielt zu zerstören. Peptid Analoga können über chemische Konjugatoren (Chelatoren) an therapeutische Radionuklide - wie Yttrium-90 und Lutetium-177 – gebunden werden. Hauptsächlich kommen Somatostatinanaloga vom Typ des Octreotids zur

Anwendung. Die Dosierung erfolgt individuell nach Dosimetrie. Die Therapiesubstanz wird langsam als Infusion intravenös verabreicht. Innerhalb weniger Minuten nach Infusion dockt das Radiopeptid an den Rezeptoren an, und kann dort über Tage verbleiben, die Tumorzellen bestrahlen und dadurch vernichten. Zur Vermeidung einer Schädigung der Nieren, die die radioaktive Therapiesubstanz ausscheiden, werden diese im unmittelbaren Zeitraum vor und nach der Injektion durch Aminosäure-Infusionen geschützt. Die Therapie wird im allgemeinen nach einem größeren Zeitabstand mehrmals wiederholt.



Struktur eines Peptids für die Markierung mit Yttrium-90 ( $^{90}\text{Y}$ ) zur Therapie Somatostatin-Rezeptor-positiver Tumore.  $^{90}\text{Y}$  wird an einem Chelator gebunden, die Beta-Strahlung des  $^{90}\text{Y}$  sorgt für die therapeutische Wirkung, das Peptid bringt diese an den Ort der Wirkung (Rezeptor).

### Radioaktiv markierte Antikörper zur Radioimmuntherapie

Radioaktiv markierte Antikörper können für die sogenannte Radioimmuntherapie eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist  $^{90}\text{Y}$ -Ibritumomab Tiuxetan (Zevalin<sup>®</sup>), das zur Behandlung des follikulären B-Zell-Non-Hodgkin-Lymphom eingesetzt werden kann. Der radioaktiv markierte Antikörper „erkennt“ dabei bestimmte Oberflächenstrukturen der Krebszelle (Antigene), bindet daran und der am Antikörper gebundene Betastrahler Yttrium-90 kann die Zelle zerstören. Die Markierung des Antikörpers mit  $^{90}\text{Y}$  zur Therapie sowie die Qualitätskontrolle des fertigen Radiopharmakons erfolgt vor Ort, kurz vor der Applikation. Die Dosierung erfolgt patientenindividuell, die Applikation in Form einer Kurzinfusion intravenös.

Für die nuklearmedizinischen Therapie stehen heute eine Reihe von Radiopharmaka für verschiedenste Indikationen zur Verfügung. Die Entwicklung in der Nuklearmedizin lässt erwarten, dass in naher Zukunft neue Radionuklide eingesetzt werden können, die eine gezieltere Bestrahlung von Zellen und damit nebenwirkungsärmere Therapien ermöglichen. Darüber hinaus werden spezifischere Radiopharmaka vor allem auf Antikörper- und Peptidbasis entwickelt, die neue Therapieoptionen, vor allem in der Onkologie, eröffnen.

## 2. Strahlenschutz

### I. Ausstattung der nuklearmedizinischen Therapiestation

Die neue Radionuklid-Therapiestation beherbergt 5 Einzelzimmer für Patienten mit Therapien unter Verwendung von hauptsächlich Jod-131 in Form von Natriumjodid, einem beta/gamma-strahlenden Radiopharmakon. Weiters zur Verfügung stehen 2 Doppelzimmer für Kurzzeit-Therapien mit Betastrahlern und drei Doppelzimmer („kalte“, normale Betten).



r Patientenzimmer für Radionuklid-Hochdosistherapie.

Alle fünf - im internen Sprachgebrauch sogenannten „heißen“ Einbettzimmer - sowie die „warmen“ Zweibett-Zimmer besitzen je eine eigene Nasszelle; weiters Fernsehgeräte, Telefonanschluss und Schwesternruf in beiden Richtungen. Aus Strahlenschutzgründen sind die Oberflächen von Boden, Wänden und Möbeln leicht abwischbar ausgeführt. Die notwendigen Funktionsräume umfassen u.a. Patientenwarteraum, Schwesternstützpunkt, Medikation, Ärztedienstzimmer, eine spezielle Zutrittsschleuse, Applikationsraum, Abfallagerraum.

r Farbgebung der Böden, Decken und Wände, und Teile der Ausstattung sind nach Feng Shui-Richtlinien ausgeführt.



Kristall in einem Patientenzimmer

## **II. Allgemeine Strahlenschutzaspekte**

Wegen der speziellen Vorgangsweise in der Nuklearmedizin, der Verabreichung von Radiopharmaka an den Patienten, sind auch besondere Strahlenschutzvorkehrungen zu treffen. Dazu zählen die Hospitalisierung der Patienten mit einer Dauer bis zu einigen Tagen, eine Abschirmung der Patientenzimmer gegen die übrige Station, eine besondere Behandlung der flüssigen und festen Abfälle sowie eine spezielle Schulung und Überwachung des Personals.

### **Schleusenbereich**

Die Patientenzimmer und die zugehörigen Funktionsräume sind durch eine spezielle Schleuse vom Rest der Station getrennt und dürfen nur von dazu berechtigten Personen betreten werden.

Generell ist aus Strahlenschutzgründen kein Besuch erlaubt.



Schleuse  
und  
Gang Sicht

In der Schleuse wird Schutzkleidung wie zum Beispiel Handschuhe, andere Schuhe oder Arbeitsmantel angelegt. Nach Beendigung der Tätigkeit im Strahlenbereich ist eine Messung mit einem Hand-, Fuß-, Kleidermonitor obligat, sowie eine Dokumentation des Messergebnisses. Für eventuell kontaminierte Handschuhe steht ein abgeschirmter Abfallbehälter zur Verfügung.

### **Strahlungsmessgeräte**

Ionisierende Strahlung lässt sich durch eine Reihe verschiedener Effekte nachweisen. Für den quantitativen Nachweis bekannter Nukliden im Strahlenschutz können 2 Typen von Messgeräten unterschieden werden:

- Messgeräte, welche die Anzahl der Kernumwandlungen pro Sekunde, im Sprachgebrauch, meist Kernzerfälle genannt, in der Einheit Becquerel zu messen gestatten, sowie
- Messgeräte, welche die Wirkung ionisierende Strahlung in Form der sogenannten Äquivalentdosis angeben, in der Einheit Sievert

Im Stationsbereich verteilt befinden sich hochempfindliche mobile Kontaminationsmonitore, die unerwünschte radioaktive Verunreinigungen von Kleidung, Haut, Fußböden oder anderen Oberflächen zu messen gestatten. Die Messgröße ist Aktivität pro Fläche mit der Dimension Becquerel pro  $\text{cm}^2$  ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ ).

In der Schleuse hilft ein stationärer Hand-, Fuß-, Kleidermonitor eventuelle Kontaminationen hochempfindlich und rasch zu erkennen.

Die durch ionisierende Strahlung aufgenommene Dosis - als Maß für die Wirkung auf biologisches Gewebe wird die sogenannte Äquivalentdosis verwendet – muss im Allgemeinen mit Hilfe von Modellen berechnet werden und kann in einfachen Fällen mit Hilfe von Dosismessgeräten quantifiziert werden.

Messgröße ist die pro Masseneinheit aufgenommene Energie mit der Dimension Joule pro kg. Die dafür verwendete Einheit ist das Sievert (Sv).

Unter dem Begriff Dosisleistung versteht man die Messgröße Dosis pro Zeiteinheit mit der Dimension Sievert pro Stunde.



Strahlungsmessgeräte

Im Stationsbereich verteilt sind weiters mobile Dosisleistungsmessgeräte, welche die Dosisleistung externer Gammastrahlung in der Dimension  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  zu messen gestatten. Obligat für jeden Mitarbeiter ist das Tragen eines sogenannten Thermolumineszenzdosimeters (TLD), das als offizielles, nicht direkt ablesbares Dosimeter die monatlich aufgenommene Äquivalentdosis bestimmt. Für besondere Messaufgaben stehen direkt ablesbare, elektronische Personaldosimeter zur Verfügung. Darüber hinaus werden bei höherbelastenden Tätigkeiten wie Radiopharmakonvorbereitung oder Radionuklidtherapie Fingerringdosimeter getragen.

### **III. Strahlenschutz für den Patienten**

#### **Patientendosimetrie**

Wenn die Indikation für eine Radionuklidtherapie gestellt worden ist, wird damit gleichzeitig eine (Radioaktivitäts-) Dosis vorgegeben, mit der Zellen des Zielvolumens in ihrer Funktionstüchtigkeit eingeschränkt oder eliminiert werden können. Eine Aufgabe des Strahlenschutzes für den Patienten besteht dann in der Bestimmung der dafür benötigten Aktivitätsmenge. Das wird durch die sogenannte Dosimetrie erreicht.

#### **Radionuklidtherapie mit beta-, gammastrahlenden Radiopharmaka**

Bei der am weitesten verbreiteten, sogenannten Radiojodtherapie werden die Radiopharmaka meist in Form von Kapseln vom Patienten geschluckt. Die Radiopharmaka induzieren einen Entzündungsprozess, der schließlich zur beabsichtigten Zerstörung der Zellen des therapierten Gewebes führt. Die dabei applizierten Aktivitätsmengen werden zum Teil aus Standardvorgaben bestimmt, zum Teil werden individuell auf den Patienten abgestimmte Aktivitätsmengen appliziert. Die lokalisierte interne Bestrahlung des Patienten führt zu einer gewissen Strahlenbelastung des restlichen Körpers. Diese kann jedoch aus einem Kosten/Nutzen-Aspekt gut akzeptiert werden.

#### **Radionuklidtherapie mit betastrahlenden Radiopharmaka**

Bei anderen Therapieformen werden flüssige Radiopharmaka appliziert. Zum Beispiel bei der sogenannten Radiosynoviorthese zur Therapie entzündlich-rheumatischer Gelenkerkrankungen. Hierbei kommt es wegen der lokal beschränkten Anwendung und der kurzen Reichweite der Betastrahlung im Gewebe zu keiner Strahlenbelastung des restlichen Körpers. Es ist auf einen kontaminationsfreien Umgang zu achten, um auch das Stationspersonal keiner unnötigen Strahlenbelastung auszusetzen.

### **IV. Strahlenschutzvorkehrungen für das Ärzte- und Pflegepersonal**

#### **Maximal zulässige Strahlenbelastung des Personals**

Die Patienten auf der Radionuklid-Therapiestation sind Quellen einer externen Bestrahlung sowie potentielle Quellen für eine Kontaminations- und Inkorporationsbelastung des Personals.

Für das Stationspersonal kommt jedoch kein Kosten/Nutzen-Aspekt wie für Patienten zum Tragen, sodass der Gesetzgeber für beruflich strahlenexponierte Personen Obergrenzen der zulässigen Strahlenexposition pro Jahr vorgegeben hat. Die Einhaltung dieser gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte der Strahlenbelastung wird mit eigenen Strahlenmessgeräten - zum Beispiel Thermolumineszenzdosimeter (TLDs), Fingerringdosimeter, elektronische Personaldosimeter und Ganzkörperzähler - überwacht. Für alle im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz auftretenden Fragen ist ein eigener Strahlenschutzbeauftragter mit mehreren Vertretern vorgesehen.

## Bleiabschirmungen

Ein beträchtlicher Teil der Strahlenschutzvorkehrungen dient dem Schutz des auf der Therapiestation tätigen Personals. Dazu zählen in die Zimmerwände und in die Wand neben dem Bett eingebrachte Bleiabschirmungen mit Stärken bis zu 4 cm zur Reduktion der Gammastrahlung.



Nasszelle im Rohbau

## Applikationsraum

Die gelieferten, auf einen definierten Zeitpunkt kalibrierten Radionuklide werden bis zu deren Verwendung in einem abgeschirmten Schrank gelagert.

Zur Vorbereitung von Radiopharmaka, die in flüssiger Form appliziert werden, dient ein Laminarflow-Arbeitsplatz, an dem unter sterilen Bedingungen gearbeitet werden kann.

Im vorderen Teil des Raumes befindet sich ein Therapiekapsel-Ausgabeplatz. Die für die Radionuklidtherapie mit I-131 Natriumjodid (abgekürzt Radiojod) benötigten Aktivitäten werden i.a. in Form von Kapseln verabreicht, die leicht geschluckt werden können.



Therapiekapsel-Ausgabeplatz

Vor der Applikation wird die Aktivität in einem sogenannten Aktivimeter bestimmt. Der behandelnde Arzt erklärt dem Patienten die Vorgangsweise und beobachtet dann hinter einem Bleiglasfenster den Vorgang. Anschließend wird der Patient in sein Zimmer geleitet, das der Aufenthaltsort für die nächsten Tage sein wird.

### Ortsdosisleistungsüberwachung in den Patientenzimmern

Zur Abschätzung der vom Patienten inkorporierten Radioaktivität dient ein Messsystem, das in die Zimmerdecke der Patientenzimmer eingebaute Detektoren verwendet. Damit wird es möglich das Datum der Entlassung des Patienten vorherzusagen.



Strahlungsdetektor  
in der  
Zimmerdecke

Mithilfe dieses ODL-Systems wird weiters eine Bewertung des Strahlungspegels in den verschiedenen Patientenzimmern vorgenommen und gangseitig durch die Farben grün, gelb, rot dargestellt, so dass das

Betreuungspersonal seine frei wählbare Aufenthaltszeit in den Patientenzimmern grob danach richten kann. Dazu werden die während des nächtlichen Aufenthaltes des Patienten im Bett gewonnenen, gemittelten Daten auf die jeweilige Tageszeit extrapoliert.

## **V. Strahlenschutzvorkehrungen für die Umwelt**

### **Dosisbegrenzung**

Die EU-Richtlinien 96/29/EURATOM mit dem Kurztitel Sicherheitsnormen und 97/45 EURATOM mit dem Kurztitel Patientenrichtlinie enthalten Vorgaben, die durch nationales Recht exekutiert werden müssen, u.a. auch für den Strahlenschutz der Allgemeinbevölkerung:

Der Grenzwert der Effektivdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt 1 mSv pro Jahr. Das heißt, alle Tätigkeiten oder Handlungen, die eine Exposition der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung zur Folge haben können, haben in einer Weise zu erfolgen, dass die Einhaltung des Grenzwertes der Effektivdosis von 1 mSv/Jahr sichergestellt ist.

### **Entlassungsaktivität**

Der Zeitpunkt der Entlassung eines Patienten hängt neben klinischen Erwägungen beim Einsatz beta-, gammastrahlender Radiopharmaka auch von der noch inkorporierten Radioaktivitätsmenge ab. Die „Entlassungsaktivität“ wird durch gesetzliche Vorgaben vorgeschrieben. Dadurch wird sichergestellt, dass das Expositionsrisiko der Bevölkerung ausreichend niedrig bleibt.

Die in den Zimmerdecken eingebauten Strahlungsdetektoren ermöglichen die Vorausbestimmung des Entlassungsdatums.

Eine Messung der Entlassungsaktivität mit geeichten Messgeräten erfolgt im sogenannten Inkorporationsmessraum im Ambulanzbereich der Klinik für Nuklearmedizin.

### **Wäschefreigabe-Messplatz**

Die vom Patienten inkorporierte Radioaktivität wird teilweise in den Harn, aber auch über die Atemluft, Schweiß oder Speichel abgegeben. Dadurch kann es zum Beispiel zur Kontamination der Bettwäsche kommen.

In diesem Falle wird die gebrauchte Patientenwäsche in einem eigenen Lagerregal ausreichend lange zum Abklingen zurückgehalten. Die Strahlenschutzverordnung gibt zur Freigabe ehemals kontaminierter Wäsche einzuhaltende Grenzwerte an. Mit einem dafür vorgesehenen Messplatz kann die Aktivität von Wäschesäcken oder auch Abfallbehältern bestimmt und dokumentiert werden.

## Geschirrspülraum

Ähnlich wie die Patientenwäsche wird auch das Patientengeschirr vor der Retournierung an die Klinikküche von eventuellen Kontaminationen durch die Therapiepatienten befreit. Das Spülwasser wird in Abklingtanks gemeinsam mit anderen Abwässern gesammelt.

## Abklinganlagen

Eine weitere Begrenzung des Strahlenrisikos der Bevölkerung neben der schon angesprochenen Hospitalisierung der Therapiepatienten wird durch ein geeignetes Abfallmanagement erreicht. Alle in der Therapiestation anfallenden Abfälle werden vorerst zurückgehalten, das Abklingen erfolgt in einer kontrollierten Umgebung.

Alle in der Station anfallenden Abwässer gelten als flüssiger radioaktiver Abfall und werden in einer Tankanlage gesammelt. Die durchschnittliche Standzeit der einzelnen Tanks beträgt mehrere Monate, sie sind daher dementsprechend dimensioniert.



Tank 1 der  
Abklinganlage  
THERAPIE

## Ausguss- und Abfallagerraum

Die Ausstattung des Raumes besteht aus Schüsselspüler, Ausgussbecken für das Putzpersonal, Arbeitstisch, Mop-Waschmaschine, Lagerregalen für geringgradig kontaminierte Wäsche und einem abgeschirmten Lagerregal für höheraktive Abfälle.

Zum Beispiel können kontaminierte Schuhe oder Kleidung des Pflegepersonals oder andere Gegenstände hier zum Abklingen gelagert werden. Dieser Raum ist auch Standplatz für den nur innerhalb der Station benutzten Putzwagen sowie einen abgeschirmten Transportwagen für die angelieferten radioaktiven Quellen oder die Abfallbehälter. In analoger Weise wie beim Umgang mit flüssigen Abwässern werden feste radioaktive Abfälle vorerst in abgeschirmten Lagerregalen gesammelt und können dort solange abklingen, bis die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Aktivität pro Behälter unterschritten sind. Die Abfälle werden nach deren Freigabe als Klinikmüll entsorgt.

Sollte mehr fester Abfall anfallen als lokale Lagerkapazität zur Verfügung steht, kann auf das klinikweite Radioaktivitätslager zurückgegriffen werden.



Lagerregale für geringgradig kontaminierte Wäsche

### **Abluftfilterung**

Ein Teil der inkorporierten Aktivität der Radiojod-Therapiepatienten wird abgeatmet und damit die Raumluft bis zu einem gewissen Grad kontaminiert. Die Patientenzimmer werden daher belüftet, der Einstrom der Frischluft erfolgt nahe der Eingangstüre, die Entlüftung über dem Patientenbett. Die gesamte Fortluft aus der Therapiestation wird vor Abgabe an die Umwelt über Filter geleitet, die das radioaktive Jod zurückhalten.

### **Strahlenbereich vor den Fenstern der Patientenzimmer**

Ein Teil der im 1. Stock liegenden Patientenzimmer ist nach Westen mit Fenstern zum Innenhof des Zubaus West des Chirurgiegebäudes situiert. Dieser Innenhof ist jedoch nur als Notausgang vorgesehen, so dass keine Personen sich dort länger aufhalten. Eine Absperrung mit einer Kennzeichnung markiert den Beginn des Strahlenbereiches in unmittelbarer Nähe der Patientenzimmer.



Abschirmung weiterer Fenster im Innenhof