

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

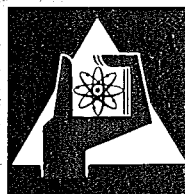
Oktober 1973

GF 1046

Medizinische Abteilung und
Labor für Elektronik und Meßtechnik

Aufbau und Funktion eines medizinischen Wundmeßplatzes

L. Ohlenschläger, O. Fromhein



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

Sonderdruck

Strahlentherapie

Archiv für klinische und
experimentelle Radiologie

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks,
der photomechanischen Wiedergabe
und der Übersetzung, vorbehalten.
© Urban & Schwarzenberg
München-Berlin-Wien 1973

Urban & Schwarzenberg

Aufbau und Funktion eines medizinischen Wundmeßplatzes

L. Ohlenschläger, O. Fromhein

Kernforschungszentrum Karlsruhe, Medizinische Abteilung / Labor für Elektronik und Meßtechnik

Es wird über den Aufbau und die Funktion eines medizinischen Wundmeßplatzes berichtet. In diesem Rahmen werden die bei der Behandlung kontaminierter Verletzungen wichtigen meßtechnischen Vorgänge erörtert und die Integrierung der dabei verwendeten Detektoren zu einem mobilen und transportablen Meßplatz mit zentraler Bedienung besprochen. Auf Grund von Versuchsmessungen wird die Leistungsfähigkeit der verwendeten Szintillationszähler diskutiert.

Medizinische Aspekte bei der Ausmessung und Behandlung radioaktiv kontaminierter Verletzungen

Einleitung

Die zunehmende Verwendung von Radioisotopen in Industrie, Technik, Medizin und Biologie sowie in Chemie und Physik erhöht das Unfallrisiko mit kontaminierter Verletzung

Dabei wird aus therapeutisch-prognostischer Sicht zwischen kontaminierten Verletzungen mit mittel- und kurzlebigen Isotopen, wie sie beispielsweise im Rahmen nuklearmedizinischer Maßnahmen Verwendung finden, und langlebigen, hochradio-toxischen Radionukliden unterschieden. Diese fallen vorwiegend in der kernbrennstoffverarbeitenden Industrie sowie bei der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen an. Der in diesem Rahmen tätige Personenkreis kann als potentiell gefährdet gelten. Hinzu kommen noch die Reparatur- und Wartungstrupps von Kernkraftwerken, die bei Inspektions- und Wartungsarbeiten ebenfalls einem erhöhten Verletzungsrisiko mit Kontamination ausgesetzt sind. Obgleich die Zahl der Unfallereignisse, die zu kontaminierten Wunden führt, im Vergleich zu konventionellen Verletzungen verhältnismäßig klein ist, verdient sie dennoch beson-

dere medizinische Beachtung. Die Möglichkeit der Resorption radioaktiven Materials über eröffnete Lymphspalten und Blutgefäße beinhaltet die Gefahr einer Inkorporation mit Schädigung des Gesamtorganismus. Dies gilt besonders für die langlebigen und radiotoxischen Isotope der Transurane, die neben denen der Erdalkalien und einigen seltenen Erden als Knochensucher gefürchtet sind.

Der Nachweis dieser Radionuklide in der Wunde ist nur durch die meßtechnische Erfassung ihrer Strahlungen mit geeigneten Detektoren möglich, da bereits nicht mehr wägbare Mengen strahlenbiologische Grenzwerte darstellen.

Die erfolgreiche ärztliche Behandlung einer kontaminierten Verletzung ist nur durch eine optimale Erfassung der Strahlung an der Wunde gewährleistet.

Messung der radioaktiven Strahlung an der Wunde

Während der Nachweis einer Strahlung auf der Oberfläche des Körpers im allgemeinen mit ausreichender Sicherheit möglich ist, ergeben sich bei der Wundausmessung Probleme. Durch das Fehlen geeigneter Detektoren für Messungen in der Wunde ist die Erfassung der Wundaktivität noch immer auf die Messung der Strahlung an der Wunde

begrenzt. Daraus ergeben sich Nachteile für die Lokalisation von in die Tiefe verlagerten Aktivitätsdepots, besonders bei α -Strahlern. Das chirurgische Vorgehen bei der Behandlung einer kontaminierten Verletzung wird bestimmt durch die Art und Größe der Verletzung sowie die Höhe, Ausdehnung und Art der Aktivität. Hinzu kommt noch die Lokalisation des Depots. Daraus leitet sich die Indikation zu konservativ oder aktiv chirurgischem Vorgehen ab [6].

Der Nachweis von mittelharten und harten β -Strahlern sowie γ -Strahlern stellt meßtechnisch keine Schwierigkeit dar, da sie im Gewebe durch geringere Strahlenabsorption ein größeres Durchdringungsvermögen besitzen. Für die Erfassung der α -Strahlung aus der Wunde ergeben sich dagegen aufgrund von stärkerer Strahlenabsorption in Gewebe, Blut und Blutkoagula sowie durch Selbstabsorption gewisse Unsicherheiten des Nachweises. Die Reichweite der korpuskulären α -Strahlung im Gewebe beträgt ca. 40 μm bei einer Energie von etwa 5 MeV. Hier muß stets eine Zusatzmessung über die bei α -Strahlern vorhandene weiche Röntgen- oder γ -Strahlung vorgenommen werden.

Die Dauer der Meßzeit muß aus Gründen eines zügigen und reibungslosen Ablaufs der therapeutischen Maßnahmen kurz gehalten werden. Sie wurde von uns unter Inkaufnahme einer begrenzten Meßgenauigkeit auf sechzig Sekunden und bei Benutzung des Vielkanalanalysators auf hundert Sekunden festgelegt.

Medizinische Anforderungen an einen Wundmeßplatz

Ein medizinischer Wundmeßplatz sollte den für die Wundausmessung ärztlicherseits erhobenen Kriterien entsprechen (Abbildung 1). Er muß mit den für eine Wundausmes-

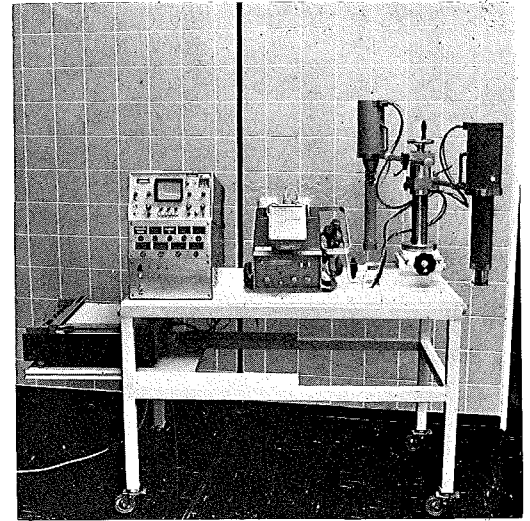


Abbildung 1. Integrierter medizinischer Wundmeßplatz mit α - β -Handzählrohr, 2 Szintillationszählern, einem Vielkanalanalysator und einem XY-Schreiber.

sung erforderlichen Detektoren in handlicher und leicht zu bedienender Form ausgestattet sein. Der Meßplatz sollte mobil und transportabel sein.

Der Meßvorgang an der Wunde besteht aus vier Einzelmessungen, an denen sich die Auswahl der verwendeten Detektoren orientieren muß. Da in den meisten Fällen erfahrungsgemäß auch mit einer Oberflächenkontamination der die Wunde umgebenden Hautabschnitte zu rechnen ist, beginnen wir mit der Ausmessung der Wundumgebung mit dem Argon-Methan-gespülten α - β -Handzählrohr.

Danach folgt zur Einkreisung der Aktivität die Messung direkt an der Wunde, wobei wir ebenfalls den ca. 150 cm^2 großen Durchflußzähler mit Plexiglasauflage und Aussparung für die Wunde verwenden.

Entsprechend der Art der Verletzung, werden 8 mm dicke Plexiglasplatten mit länglichen Aussparungen, beispielsweise für die Finger, verwendet oder solche mit runden Perforationen verschiedenen Durchmessers

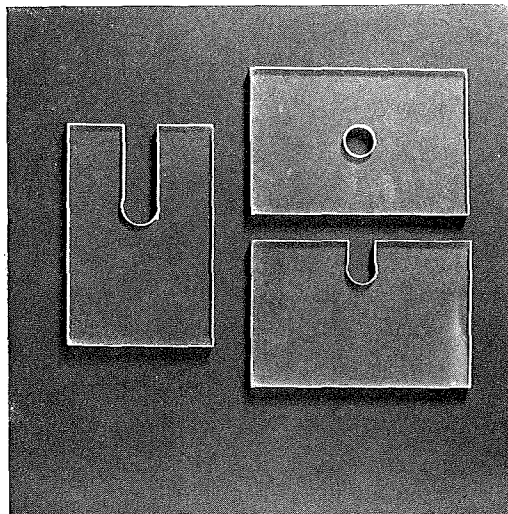


Abbildung 2. Drei 8 mm dicke Plexiglasplatten mit verschiedenen Einkerbungen und einer zentralen Perforation.

für Stichverletzungen im Bereich der Fingerbeere. Auf diese Weise kann die Aussage des Meßergebnisses unmittelbar an die Wunde projiziert werden (Abbildung 2).

Zum Ausschluß eines in der Tiefe des Gewebes befindlichen α -Depots schließt sich die Messung mit einem Szintillationszähler an [7].

Handelt es sich um eine Wundkontamination mit unbekanntem Spaltprodukten, so stellt sich aus ärztlicher Sicht die Frage nach der Zusammensetzung des Isotopengemisches. Die Art der Behandlung wird dabei weitgehend vom Vorhandensein hochradioaktiver Radionuklide, wie etwa von Transuranen oder anderen Knochensuchern, bestimmt. Im ungünstigsten Falle könnte sich bei einer solchen Verletzung beispielsweise im Finger-Hand-Bereich die Indikation zur Amputation ergeben.

Das Meßverfahren zur Aufschlüsselung eines Isotopengemisches in der Wunde trägt zur Erleichterung der chirurgischen Indikationsstellung bei. Unter Verwendung eines

Vielkanalanalysators ist es möglich, im Rahmen einer Messung zur Ausschlußdiagnostik die Frage nach dem Vorhandensein von Transuranen befriedigend zu klären.

Der gesamte radiochirurgische Meßplatz sollte in übersichtlicher und für den Mediziner in handlicher Form konzipiert sein. Für die Dokumentation der Meßergebnisse als wichtige Bestandteile des ärztlichen Befundberichtes müssen die gewonnenen Meßdaten und Meßkurven ausgedruckt und aufgezeichnet werden können, so daß Drucker und XY-Schreiber in die Meßplatzordnung einzubeziehen sind.

Darüber hinaus sollte der Meßplatz mobil und transportabel sein. Die Mobilität ergibt sich aus der Notwendigkeit, gegebenenfalls von allen Seiten an dem Verletzten Messungen vornehmen zu können, insbesondere im Operationssaal.

Die Transportabilität sollte durch Abnahme der Meßplatte gewährleistet sein, um im Notfall auch die Meßeinrichtung im Sanitätskraftwagen mitführen zu können. Zu diesem Zweck wurden die Detektoren und der Vielkanalanalysator mit Drucker auf einer 115 cm \times 60 cm großen Platte mit vier Tragholmen installiert, die abnehmbar auf einem fahrbaren Untersatz montiert wurde (Abbildungen 3 und 4).

Der Transport dieser Meßplatte kann für den Fall schwerer kontaminierter Verletzungen, die einer stationären Behandlung bedürfen, notwendig werden.

Der Wundmeßplatz ist für die Ausmessung aller bei einer kontaminierten Verletzung auftretenden Strahlungen vorgesehen. Da aber die meßtechnische Erfassung von hochradioaktiven Isotopen der Transuranreihe besondere Schwierigkeiten bereitet, ist die Detektion dieser Strahlungen medizinisch-prognostisch von großer Bedeutung. Daher wurde bei der physikalisch-technischen Konzeption des Wundmeßplatzes ein Schwer-

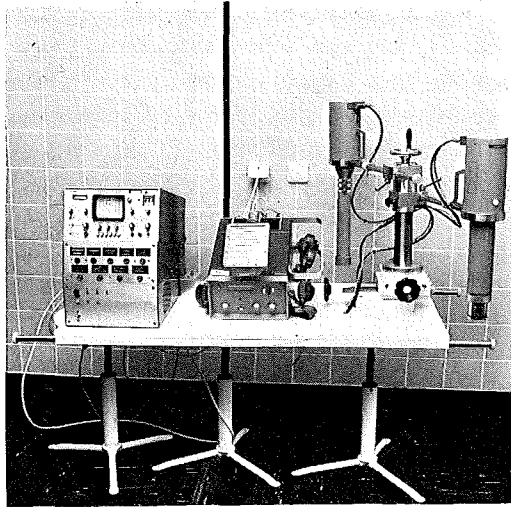


Abbildung 3. Tragbare Einheit des medizinischen Wundmeßplatzes.

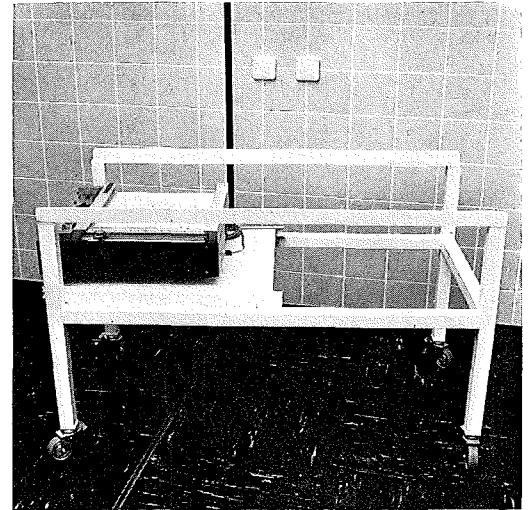


Abbildung 4. Fahrbarer Untersatz des medizinischen Wundmeßplatzes mit XY-Schreiber.

punkt auf die instrumentelle Ausstattung zur Erfassung dieser Strahlungen gelegt.

Physikalisch-technische Aspekte beim Aufbau eines Wundmeßplatzes

Vorbemerkungen

Die technischen Anforderungen zur Erkennung von Nukliden in Nuklidgemischen ergeben sich aus den Eigenschaften der als besonders gefährlich geltenden radioaktiven Stoffe, mit denen in Laboratorien umgegangen wird. Im wesentlichen wird damit der gesamte Energiebereich von niederenergetischer Röntgenstrahlung bis zu etwa 2 MeV- γ -Strahlung angesprochen.

In diesem Rahmen kommt der Erkennung von Plutonium-239 in Nuklidgemischen eine besondere Bedeutung zu, da sich hieraus auch die meßtechnischen Grenzen für den unteren Einsatzbereich des Meßgerätes ergeben. Zur Erläuterung der Meßmethode soll kurz auf die Zerfallseigenschaften von Plutonium-239 eingegangen werden.

Der Zerfall von Plutonium-239 führt durch

Abstrahlung von α -Teilchen unter anderem zu angeregten Zuständen von Uran-235. Nur ein sehr kleiner Bruchteil (0,01%) dieser angeregten Zustände zerfällt durch γ -Abstrahlung. Der überwiegende Teil zerfällt durch interne Konversion, wobei einige L-Röntgenstrahlen von Uran-235 entstehen. Bei 100 α -Zerfällen werden im Mittel vier Röntgenstrahlen erzeugt, die energetisch bei verschiedenen Linien im Bereich von 13 keV bis 21 keV verteilt liegen [9, 10], (Abbildung 5).

Im Rahmen dieser Betrachtungen kann man davon ausgehen, daß wegen des begrenzten Auflösungsvermögens das resultierende Maximum der L-Röntgenstrahlen bei 17 keV gemessen wird (Abbildung 6). Für den Nachweis von Plutonium-239 kann also je nach Lage des aktiven Depots eine α -Messung oder eine Messung der X-Strahlen durchgeführt werden.

An der Oberfläche einer Wunde wäre es daher möglich, mit einer Zählung der ausgestrahlten α -Partikel 20- bis 25mal mehr Impulse zu registrieren als bei einer Messung

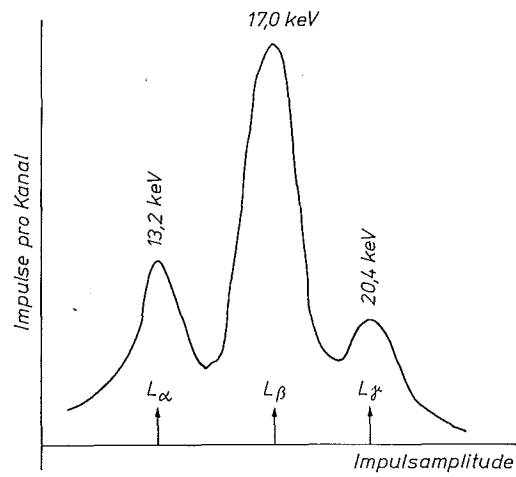


Abbildung 5. Amplitudenverteilung der L-X-Strahlung von Plutonium-239 nach [10].

der weichen Röntgenstrahlen. Falls aber das aktive Depot von Gewebeflüssigkeit umgeben ist, wird wegen der begrenzten Reichweite von ca. 40 μm kein α -Teilchen mehr detektiert werden können. In diesem Fall stellt die Messung der 17-keV-Röntgenstrahlung einen entscheidenden Vorteil dar, und sie würde auch bei Einlagerung des Depots im tieferen Gewebe noch anwendbar sein. Abgesehen von der Nuklidbestimmung, ist es in diesem Zusammenhang wichtig, Angaben oder auch nur Abschätzungen über die absolute Menge der Aktivität zu machen. Diese Aufgabe ist mit diesen Geräten nur sehr langwierig zu lösen und bleibt wegen der Geometrieverhältnisse äußerst fraglich.

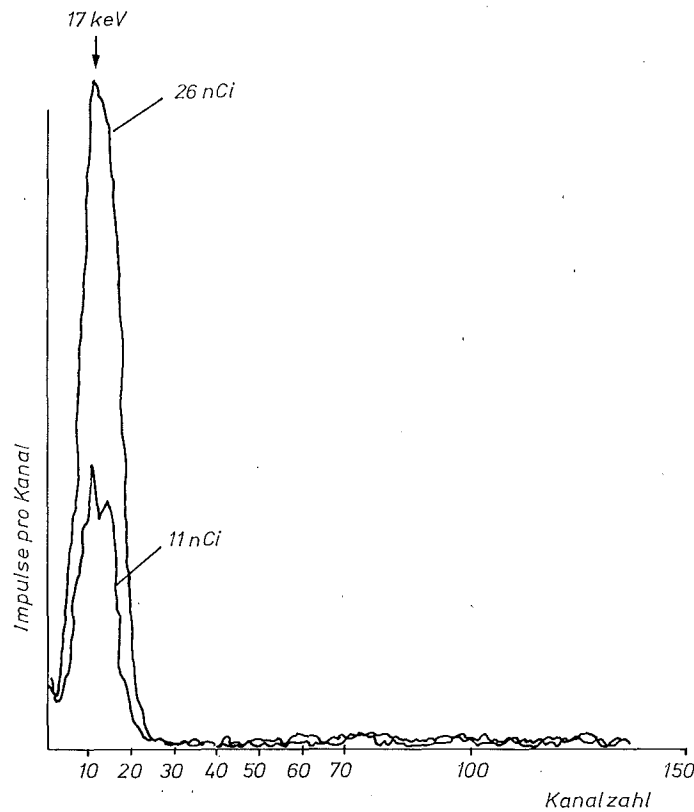


Abbildung 6. Amplitudenverteilung der L-X-Strahlung von Plutonium-239, ausgemessen mit einem dünnen (1 mm) NaJ-Kristall. - Meßzeit 100 sec.

Für den Fall von punktförmigen Quellen ist die Situation wesentlich günstiger. Zumindest kann durch eine Vergleichsmessung mit einem bekannten Präparat eine erste Abschätzung der Höhe der Aktivität durchgeführt werden.

Die maximal zulässige Körperbelastung beträgt nach den Empfehlungen der ICRP 2/1959¹ für Plutonium-239 40 nCi. Entsprechende Werte für eine Wundkontamination bestehen nicht. Jedoch werden im Schrifttum Richtwerte empfohlen, die für Transurane etwa bei einem Zehntel der maximalen Körperbelastung liegen, bezogen auf das kritische Organ [1, 5]. Die Strahlung eines Depots, das in einer Tiefe von 1 cm eingelagert ist, wird wegen des ungünstigen geometrischen Wirkungsfaktors und der Absorption durch das Gewebe etwa um den Faktor 10 abgeschwächt, so daß bei dieser genannten Nachweisgrenze das Gewebe bereits einer Grenzbelastung ausgesetzt ist.

Systembeschreibung

Um die Störbeeinflussung durch die Hintergrundstrahlung so gering wie möglich zu halten, müssen für die Detektion von niederenergetischer Röntgenstrahlung besonders dünne Absorptionsschichten eingesetzt werden. Ein mit Thallium aktivierter Natrium-Jodid-Kristall mit einer Dicke von 1 mm und einem Durchmesser von 30 mm ist für diese Zwecke ausgewählt worden. Wegen der günstigen Durchlässigkeit für niederenergetische γ -Strahlen dient eine 0,2 mm dicke Schicht aus Beryllium als Fenstermaterial. Die Durchlässigkeit ist für Beryllium und Aluminium für verschiedene Schichtdicken als Funktion der Energie in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt.

¹ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP-Publication 2) Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation (1959).

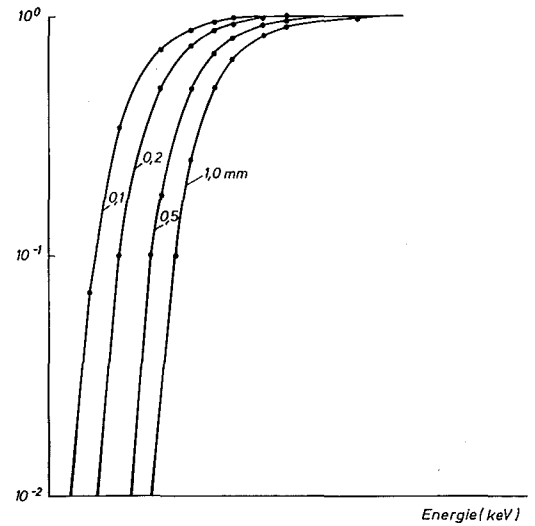


Abbildung 7. Durchlässigkeit von Berylliumsschichten nach [8].

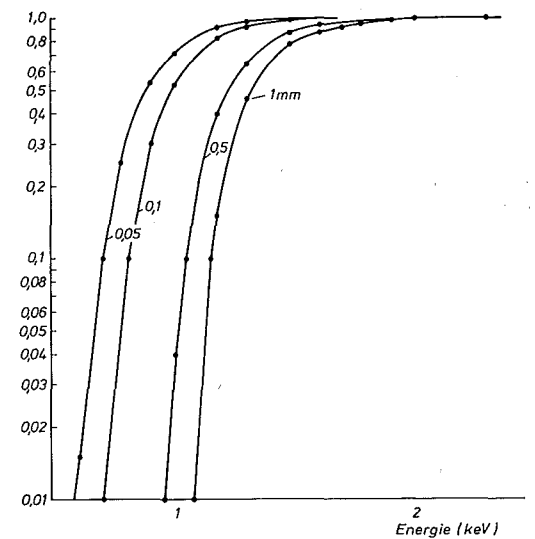


Abbildung 8. Durchlässigkeit von Aluminiumschichten nach [8].

Der dünne NaJ-Kristall besitzt ein hohes Absorptionsvermögen von 99% bei 20 keV und etwa 89% bei 60 keV sowie ein geringes Absorptionsvermögen bei größeren Energien, ca. 45% bei 100 keV und 33% bei 120 keV (Abbildung 9).

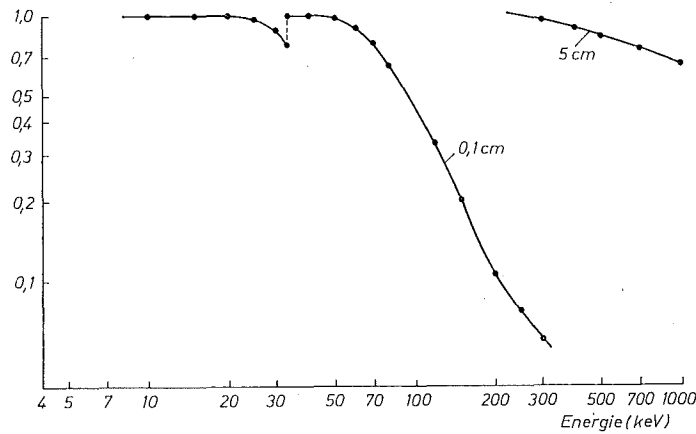


Abbildung 9. Absorptionsvermögen von NaJ-Kristallen nach [4].

Die Eigenschaften der Berylliumschicht und des dünnen NaJ-Kristalls ergänzen sich in der Weise, daß mit dieser Detektoranordnung ein Energiebereich von ca. 6 keV bis ca. 60 keV bei einem Wirkungsgrad von ca. 90% erfaßt wird. Das Auflösungsvermögen eines Detektors dient als Maß für die Verbreiterung einer monoenergetischen Linie. In diesem Zusammenhang wird das Auflösungsvermögen definiert als die Energie, gemessen in keV, die bei der halben Amplitude des monoenergetischen Maximums gemessen wird [3].

Ein zweiter Detektor, ebenfalls mit einem Natrium-Jodid-Kristall ausgestattet (Dicke 50 mm), ist für die Spektrometrie für Energien größer als 60 keV vorgesehen. Aus der Darstellung der Durchlässigkeit für 1 mm Aluminium als Fenstermaterial und dem Absorptionsvermögen für einen 5 cm NaJ-Kristall ergibt sich ein Einsatzbereich von 45 keV bis ca. 400 keV bei einem Wirkungsgrad von 90%.

In Abbildung 10 ist die experimentelle Bestimmung des Auflösungsvermögens in Abhängigkeit von der γ -Energie für die Detektoren I und II dargestellt. Die Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit Messungen, die in der Literatur bekannt geworden sind [3].

Die Ausgangssignale beider Detektoren werden einem 256-Kanal-Analysator wahlweise zugeführt und in der Form eines Spektrogramms ausgewertet. Eine schnelle und eindeutige Bestimmung der Nuklidzusammensetzung läßt sich oft aus zeitlichen Gründen nicht immer erreichen. In kritischen Fällen muß dies auch nicht das Ziel der Untersuchung sein, sondern es genügt auch schon, in bestimmten Fällen das Nichtvorhandensein eines bestimmten Nuklids nachzuweisen.

Eine übersichtliche Darstellung des Spektrogramms auf einem Schirmbild mit geeichten Einblendmarken erleichtert die Auswertung. Für eine relativ sichere Ausschlußdiagnose hat sich ein Vergleich mit den Energielinien bekannter Nuklide als sehr wirkungsvoll und zeitsparend erwiesen. Zu diesem Zweck werden die Spektrogramme des unbekanntes Nuklidgemisches und die des bekannten Radionuklids wegen der vergrößerten Darstellung mit einem XY-Schreiber aufgezeichnet. Das bekannte Nuklid grenzt den Bereich ein, dem aus diagnostischen Gründen das besondere Interesse gilt. Der eingerichtete Meßplatz enthält neben einem XY-Schreiber auch einen Miniaturdrucker, der die gewünschten Kanalinhalt ausdrückt

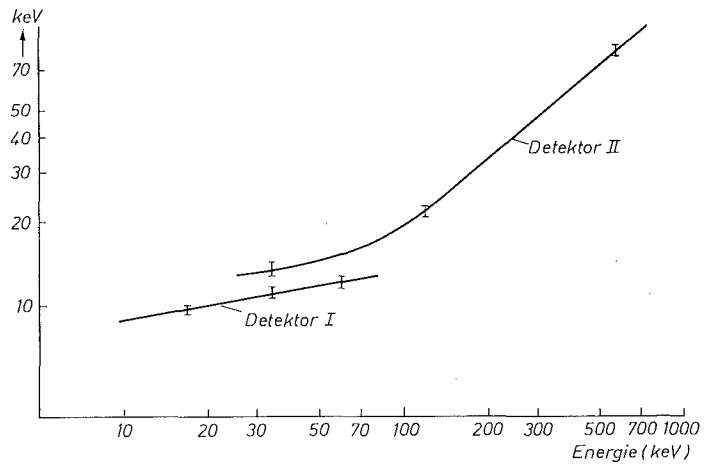


Abbildung 10. Auflösungsvermögen von NaI-Detektoren; Detektor I und II.

und bei einem Einsatz außerhalb der Strahlenunfallambulanz den Beleg für das Ergebnis der medizinischen Behandlung liefert. Die technische Handhabung aller Geräte, die zu dem Meßplatz zusammengefaßt worden sind, ist so einfach wie möglich ausgelegt worden, damit die ganze Aufmerksamkeit dem Verletzten gewidmet werden kann und keine Zeit für eine komplizierte Bedienungstechnik verschwendet wird. Bei einem akuten Fall muß die Handhabung von untergeordneter Bedeutung sein. Für eine zentrale Benutzung des Meßplatzes ist ein übersichtliches Tasten- und Anzeigefeld konzipiert worden, welches zugleich über ein rötlches Leuchtfeld den im Betrieb befindlichen Zustand des Meßplatzes erkennen läßt (Abbildung 11). Fehlbedienungen werden von einer Steuer- und Kontrollelektronik erkannt und nicht weitergeleitet. Prinzipiell muß jeder aktiven Phase, womit der Meßvorgang oder die Aufzeichnung gemeint ist, eine Vorbereitung vorausgehen, ohne die ein Start für die eigentliche Durchführung nicht ausgelöst werden kann. Je ein Tastenfeld kontrolliert die Vorbereitung für den Meßvorgang, die Aufzeichnung auf dem XY-Schreiber oder den Druck auf

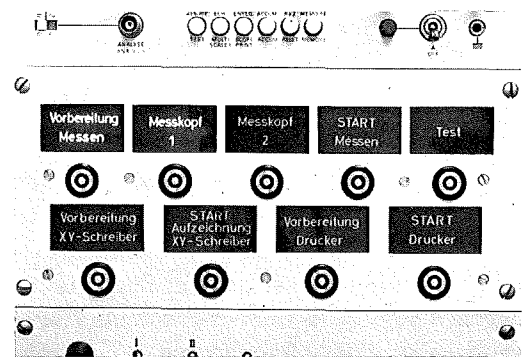


Abbildung 11. Tasten- und Anzeigefelder für die Steuer- und Kontrollelektronik.

einem Schreibstreifen. Weitere drei Tastenfelder steuern den Einsatz der zwei Meßköpfe für die jeweils interessierenden Energiebereiche und stellen die Einsatzbereitschaft des Vielkanalanalysators für den Testvorgang her. Schließlich sind noch drei Tastenfelder vorhanden, die den Start für die Messung, die Aufzeichnung oder den Druck auslösen. Nach dem Einschalten der Versorgungsspannung wird ein definierter Schaltzustand eingenommen, der in der ersten Phase die Vorbereitung für eine Messung vorsieht. Während des Betriebs bleibt die Spannungs-

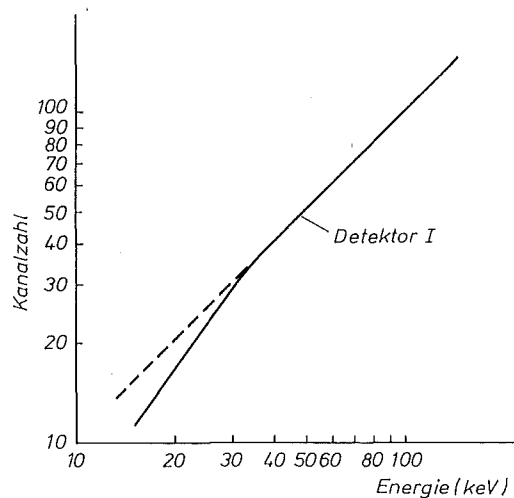


Abbildung 12. Impulshöhe als Funktion der Energie von Detektor I.

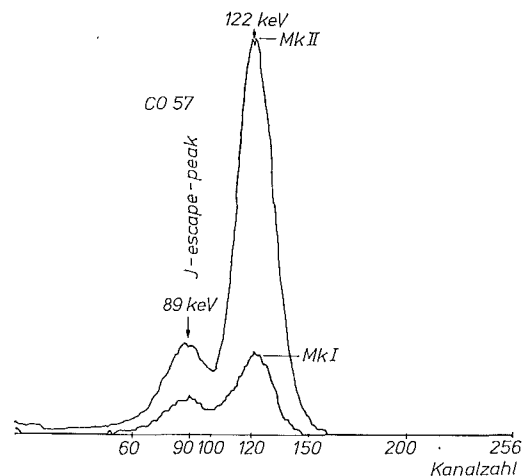


Abbildung 13. Amplitudenverteilung der γ -Strahlung von Kobalt-57, ausgemessen mit Detektor I und II. Meßzeit 100 sec.

versorgung der Meßköpfe ständig angeschlossen, so daß bei einem Wechsel die Anwärmzeit wegfällt und eine Messung ohne Zeitverlust oder Einbuße an Genauigkeit durchgeführt werden kann. Die Eingabe der Befehlsfunktionen erfolgt über Berührungstasten. Es möge in diesem Zusammenhang genügen, daß der Meßplatz mit dem Berühren der Taste „Vorbereitung Messung“ so programmiert ist, daß er nach dem Start, nämlich durch Berühren der Taste „Start Messung“, unter Berücksichtigung einer Totzeitkompensation nach 100 sec die Analyse der γ -Strahlung beendet. Die Ausgabe des Spektrogramms auf dem XY-Schreiber oder dem Schreibdrucker wird in entsprechender Weise durch Berührung des entsprechenden Sensors eingeleitet.

Eichung und Meßergebnisse

In der Literatur ist bekannt geworden, daß die Auslösung von Photonen in NaJ(TL)-Kristallen unterhalb von 80 keV nach einem nichtlinearen Zusammenhang erfolgt [2]. Die Auswertung von Spektrogrammen in

dem genannten Bereich muß daher diese Nichtlinearität berücksichtigen, um bei einem Vergleich der Energiemaxima mit Tabellenwerten zu einer richtigen Interpretation zu gelangen. Diese Abhängigkeit ist für den Detektor I mit verschiedenen bekannten Präparaten ausgemessen worden. Wie aus der Darstellung in Abbildung 12 zu ersehen ist, stimmt die Proportionalität bis hinunter zu 50 keV bzw. bleibt innerhalb der meßtechnischen Grenzen. Der Kurvenverlauf zeigt gerade in dem niederenergetischen Bereich bei 20 keV eine Abweichung von der Linearität um ca. 23%.

In dem konkreten Fall würde für Plutonium-239 das resultierende Maximum der Röntgenlinien nicht bei 17keV bestimmt werden, sondern bei 13 keV (Abbildung 12). Diese Aussage gilt allerdings unter der Voraussetzung, daß die Eichung mit einem Präparat vorgenommen wurde, dessen Photopeak in dem linearen Bereich liegt, z. B. der 122 keV-Peak bei Kobalt-57 (Abbildung 13).

Bei der Auswertung der Energielinien von Americium-241 ist für den 60 keV-Peak

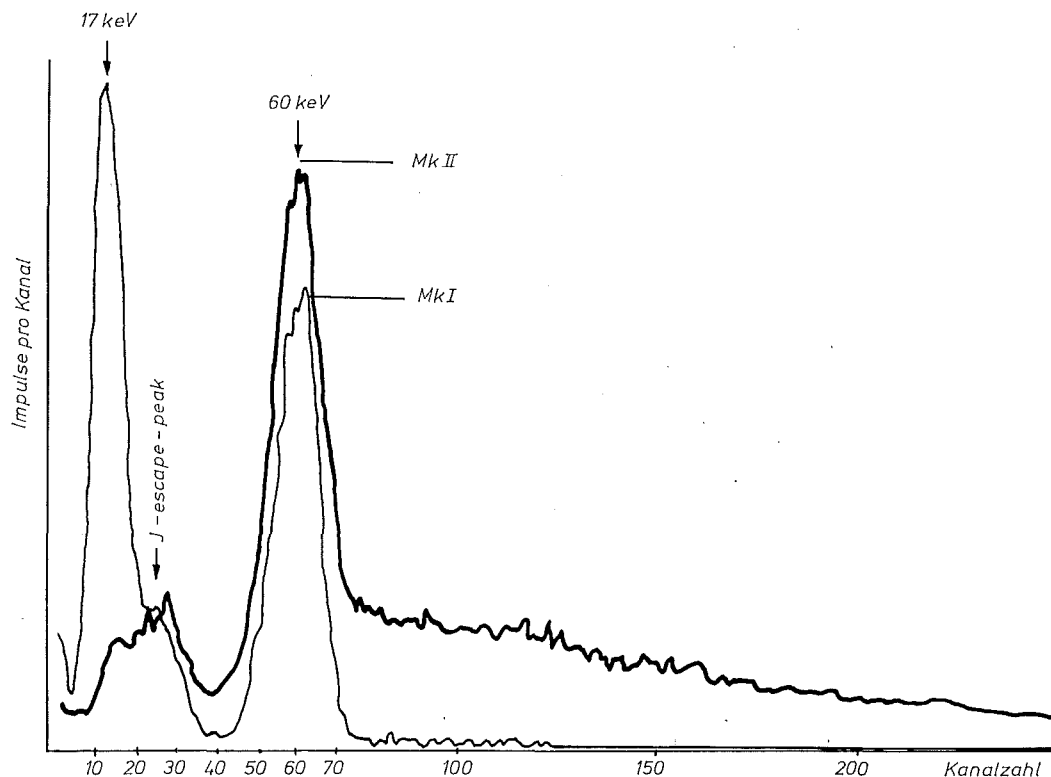


Abbildung 14. Amplitudenverteilung der γ -Strahlung von Americium-241, ausgemessen mit Detektor I und II. Meßzeit 100 sec.

noch keine Korrektur erforderlich. Das Amplitudenspektrum läßt auch den Einfluß der unterschiedlichen Wirkungsgrade der beiden Detektoren erkennen (Abbildung 14).

Die Darstellung des nichtlinearen Zusammenhangs in Abbildung 12 könnte zugleich als eine Eichfunktion dienen, mit der die abgelesenen Werte korrigiert werden.

Für die folgenden Meßergebnisse dienten als Plutonium-Quellen auf Platinblech elektrodeponierte Präparate mit folgender Gewichtszusammenstellung:

Pu-238	0.007
Pu-239	94.915
Pu-240	4.893
Pu-241	0.174
Pu-242	0.011

Die Messungen sind etwa bei gleichen geometri-

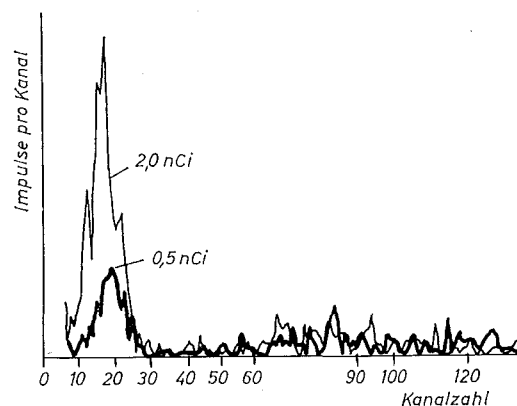


Abbildung 15. Amplitudenverteilung der L-X-Strahlung von Plutonium-239, ausgemessen mit einem dünnen (1 mm) NaJ-Kristall). Meßzeit 100 sec.

schen Verhältnissen durchgeführt worden, nämlich ca. 5 mm von der Oberfläche des Detektors entfernt. Die untere Nachweisgrenze beträgt für

eine Meßzeit von 100 sec etwa 0,5 nCi, wobei in der Zählrate der halbe Beitrag durch die Hintergrundstörung enthalten ist.

In Abbildung 15 sind die Spektren zweier punktförmiger Plutonium-239-Quellen mit Aktivitäten von 0,5 und 2,0 nCi wiedergegeben.

Um eine hohe Impulsrate pro Aktivitätseinheit anzustreben und um gleichzeitig die Absorptionsverluste durch das Gewebe gering zu halten, wird der Detektor so dicht

wie möglich, etwa 2 bis 3 mm, an die Wunde herangebracht, ohne diese zu berühren. Die Ausmessung einer kontaminierten Wunde mit tiefer liegendem Depot erfährt eine erhebliche Minderung in der zuverlässigen unteren Nachweisgrenze, bedingt durch die Unterschiede in den geometrischen Verhältnissen und durch die Absorption im Gewebe. Für derartige Verletzungsfälle wird an einem anderen Konzept gearbeitet, das sicherere Ergebnisse erwarten läßt.

Structure and function of a medical measuring system for wounds

Operational and technical features of a measuring system for the determination of radio-nuclides in contaminated wounds are described. Special consideration is given to the integration of different detectors and devices into a mobile and portable measuring unit with central control. Experimental results give proof of the system performance.

Structure et fonction d'un banc médical pour le mesurage de blessures

On rapporte sur la structure et la fonction d'un banc médical pour le mesurage de blessures. Dans ce contexte, on discute des événements métrologiques qui sont importants en ce qui concerne le traitement de blessures contaminées aussi bien que l'intégration des détecteurs employés constituant un banc de mesure mobile et transportable avec commande centrale. On se réfère à des mesures expérimentales pour discuter le rendement des compteurs à scintillation employés.

Literatur

1. Guzak, St. V.: Rocky flats methods of treating acute plutonium cases. RFP-453 (1964).
2. Hieberger, P. T., E. C. O. Bonacalza, H. Ryde: Experimental study of the influence of non-proportional response of NaJ (TL) scintillation crystals upon the energy resolution for γ -rays. Nucl. Instr. Meth. 14 (1961), 225-230.
3. Israel, H. J., D. W. Lier, E. Storn: Comparison of detectors used in measurement of 10 to 300 keV X-ray spectra. Nucl. Instr. Meth. 91 (1971), 141-157.
4. National Bureau of Standards, Gladis White Grodstein, X-ray attenuation coefficients from 10 keV to 100 keV.
5. Norwood, W. D.: Removal of plutonium and other transuranic elements from man. Diagnosis and treatment of radioactive poisoning, p. 307 bis 317 IAEA, Vienna 1963.
6. Ohlenschläger, L.: Beitrag zur chirurgischen Versorgung radioaktiv kontaminierter Wunden. Schriftenreihe Arbeitsmed. Sozialmed. Arbeits-hyg. Bd. 24, Gentner, Stuttgart.
7. Ohlenschläger, L.: Bericht über eine mit Americium-241 kontaminierte Stich-Schnittverletzung am linken Zeigefinger. Strahlentherapie 142 (1971), 73-79.
8. Philips: Transmission of high-energy photons through various materials.
9. Rogosa, G. L., W. F. Peed: L X-ray energies of Np, Pu, and Am. Phys. Rev. 101 (1956).
10. West, D., J. K. Dawson: Soft radiations from ^{239}Pu . Proc. physiol. Soc. (1951), 576-587.

Verfasser: Dr. med. L. Ohlenschläger, Medizinische Abteilung, Dr. Ing. O. Fromhein, Labor für Elektronik und Meßtechnik, Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., 75 Karlsruhe, Postfach 3640.