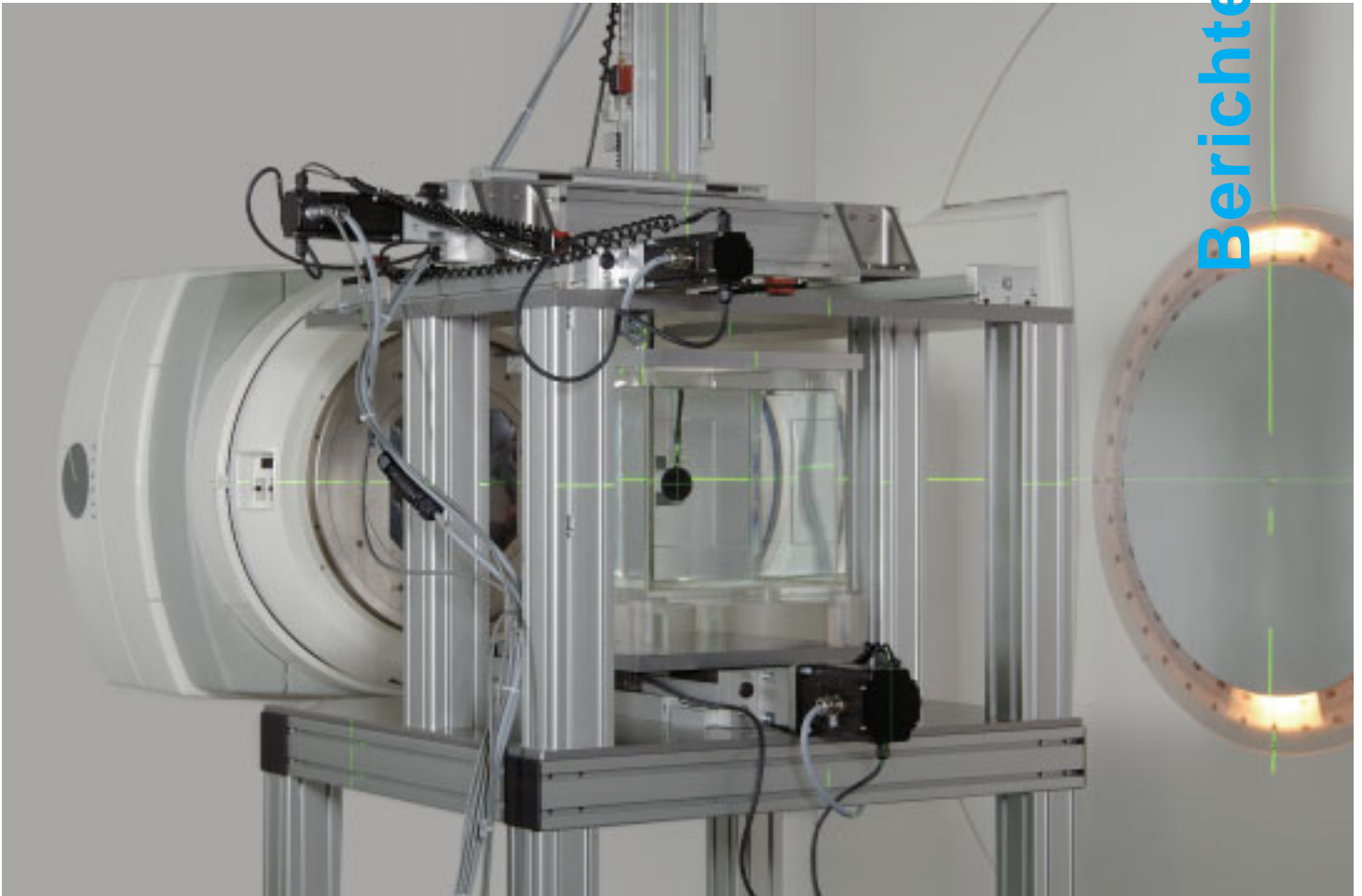


Ionisierende Strahlung



Abteilung



6

Ionisierende

Die Arbeiten zum Thema Ionisierende Strahlung sind in sechs Fachbereichen organisiert. Zu den Basisaufgaben gehören die Darstellung und die Weitergabe der SI-Einheiten der Aktivität, der Teilchenfluenz, der Luftkerma, der Energiedosis und der Äquivalentdosis. Für diesen Zweck werden Primär- und Transfornormale entwickelt und bereitgestellt, welche die heutigen und die für die Zukunft absehbaren Anforderungen erfüllen. Dafür betreibt die PTB aufwendige Einrichtungen zur Erzeugung von Referenzstrahlungsfeldern mit zum Teil einzigartigen Feldeigenschaften.

In diesem Jahr konnte die neue Elektronenbeschleuniger-Anlage mit ihren drei Beschleunigern in Betrieb genommen werden. Neben der aufwendigen Charakterisierung der Strahlungsfelder an den beiden medizinischen Beschleunigern wird die Anlage zur Entwicklung dosimetrischer Methoden und geeigneter Normale für moderne Bestrahlungsmethoden der Tumorthherapie eingesetzt. Die besonderen Herausforderungen an die Dosimetrie ergeben sich aus der Nutzung kleiner Strahlungsfelder mit starken Dosisgradienten. Dieses international als besonders wichtig eingestufte Forschungsprogramm wird im Rahmen des ERA-NET-PLUS Programms durch die Europäische Kommission gefördert.

Im Folgenden werden einige besondere Entwicklungen und wichtige Ergebnisse zum Themenbereich Ionisierende Strahlung vorgestellt.

Titelbild:

Wasserphantom mit Ionisationskammer zur Dosismessung vor dem neuen klinischen Elektronenbeschleuniger „Elekta Precise“. Die grünen Laserstrahlen kreuzen sich am Messort im Wasser.

Photonenreferenzstrahler für die Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren

Oberflächenkontaminationsmonitore stellen ein grundlegendes Werkzeug für den praktischen Strahlenschutz dar. Sehr häufig werden gasgefüllte Detektoren oder Szintillationszähler als mobile Handsonden oder als Hand-Fuß-Kleider-Monitore eingesetzt, um potentielle Kontaminationen aufspüren zu können. Um zuverlässige und aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen, ist eine regelmäßige Kalibrierung und Überprüfung der Geräte mit Hilfe von Referenzstrahlern erforderlich.

In der PTB werden seit langem Kalibrierungen flächenhafter Referenzstrahler hinsichtlich der Aktivität, der Emissionsrate sowie des Alpha- bzw. Beta-Teilchenflusses an der Quellenoberfläche durchgeführt. Eine Möglichkeit, flächenhafte Photonenstrahler gemäß der ISO-Norm 8769 zu charakterisieren, besteht bisher nicht. Aufgrund der zunehmenden Nachfrage nach entsprechenden Kalibrierungen entwickelt die PTB in Zusammenarbeit mit einem namhaften Hersteller kommerzieller Kalibrierquellen einen neuen Messplatz, der Photonenfluss- und Aktivitätsbestimmungen flächenhafter Quellen rückführbar auf die Aktivitätsnormale der PTB gestattet. Mit einem Blendensystem sollen die Quellen außerdem hinsichtlich der Homogenität der Aktivitätsverteilung (*uniformity*) untersucht werden können. Als Ergänzung dazu kann die Homogenität auch mit Hilfe eines digitalen Autoradiographiesystems untersucht werden. Nach Abschluss des Projekts wird die PTB als erstes nationales Metrologie-Institut entsprechende Kalibrierungen von Klasse-1-Photonenreferenzstrahlern nach der ISO-Norm 8769 anbieten können.

e Strahlung

Internationales Forum für Umweltradioaktivität in der PTB

Vom 22. bis 26. September fand in der PTB die fünfte *International Conference on Radionuclide Metrology – Low-Level Radioactivity Measurement Techniques* (ICRM-LLRMT) statt, an der 120 Wissenschaftler aus 25 Ländern teilnahmen (Bild 1). Im Fokus der Konferenz standen Mess-, Analyse- und Kalibrierverfahren für die genaue Bestimmung kleinster Mengen an Radionukliden in Umweltproben, Industrieprodukten und speziellen Proben aus dem Bereich der Grundlagenforschung. Weitere Themen waren nationale und internationale Vergleichsmessungen zur Verbesserung der Qualität von Radioaktivitätsmessungen. Wie auch die Vorgängerkonferenzen diente diese Veranstaltung dem wissenschaftlichen Austausch zwischen den Teilnehmern aus unterschiedlichen Bereichen wie nationalen Metrologieinstituten, Universitäten, Forschungszentren und Radioaktivitäts-Messlaboratorien.



Bild 1: Teilnehmer der ICRM-LLRMT-Konferenz

Kalorimetrische Bestimmung der Wasser-Energiedosis im Nahfeld von ¹⁹²Ir-Brachytherapiequellen

Messgröße in der Dosimetrie von Brachytherapiequellen ist die Wasser-Energiedosisleistung, \dot{D}_w , in 1 cm Abstand vom Aktivitätsschwerpunkt des Strahlers senkrecht zur Quellenachse. Bislang wird diese Messgröße indirekt über die Messung der Reference Air Kerma Rate in 1 m Abstand vom Aktivitätsschwerpunkt des Strahlers und unter Verwendung eines meist berechneten Dosiskonversionskoeffizienten bestimmt. Dieses Verfahren führt zu Standardmessunsicherheiten für \dot{D}_w von mehreren Prozent. Mit Hilfe eines Wasserkalorimeters lässt sich die gewünschte Messgröße direkt und mit geringerer Standardmessunsicherheit bestimmen. Als erster Schritt wurde ein in der PTB existierendes Wasserkalorimeter für die Anwendung mit ¹⁹²Ir-Brachytherapiequellen so modifiziert, dass die Wasser-Energiedosisleistung im Nahfeld der Quelle bestimmt werden konnte.

Das verwendete Wasserkalorimeter wird bei einer Wassertemperatur von 4 °C betrieben und ist weitgehend baugleich mit dem in der PTB als Primärnormal-Messeinrichtung für die Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis bei ⁶⁰Co-Strahlung verwendeten Kalorimeter. Mit Hilfe eines Afterloaders wird die Brachytherapiequelle durch einen Teflon-Katheter in das Kalorimeter-Außengehäuse und weiter bis in das Wasserphantom des Kalorimeters transportiert. Der Teflon-Katheter führt im Bereich des kalorimetrischen Detektors zu einer am Ende geschlossenen Edelstahlnadel, die mit Hilfe von zusätzlichen Plexiglasstreben vor bzw. hinter dem wassergefüllten Glaszylinder des Detektors fixiert werden kann. So können zwischen der Edelstahlnadel und den in den Spitzen von Glaspipetten eingeschmolzenen Thermistoren des Detektors Abstände von 24,35 mm bis ca. 48 mm realisiert werden (siehe Bild 2).

Bei der kalorimetrischen Bestimmung der Wasser-Energiedosisleistung müssen die während der Messungen auftretenden Wärmeleitungseffekte korrigiert werden. Ursache der Wärmeleitungseffekte sind sowohl die Absorption der Strahlung innerhalb der Quelle und ihrer Kapselung, die z. B. für eine 350 GBq ^{192}Ir -Quelle zu einer Eigenheizung mit ca. 21 mW führt, als auch die steile Tiefendosisverteilung im Bereich des Messortes. Um diese Effekte zu untersuchen und mit Hilfe von Finite-Elemente-Rechnungen zu verifizieren bzw. zu korrigieren, wurden Bestahlungsmessungen von nominell 60 s, 90 s und 120 s Dauer in drei unterschiedlichen Messpositionen durchgeführt. Um den Einfluss von zufälligen Positionsänderungen der Quelle (Außendurchmesser: 1,1 mm) innerhalb der Edelstahlnadel auf das Endergebnis zu minimieren, mussten für jede Bestahlungsdauer und für jede Messposition ca. 100 Messungen mit dem Kalorimeter durchgeführt werden.

Mit dem hier vorgestellten Messverfahren konnte erstmals gezeigt werden, dass die Bestimmung der Wasser-Energiedosisleistung von ^{192}Ir -Brachytherapiequellen im klinisch relevantem Abstand mit Hilfe eines Wasserkalorimeters möglich ist. Die relative Standardmessunsicherheit des kalorimetrischen Verfahrens beträgt weniger als 1 %.

Internationaler Vergleich der Primärnormal-Messeinrichtungen zur Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis von Beta-Brachytherapiequellen

Mit der Fertigstellung einer neuen Primärnormal-Messeinrichtung, der Multi-elektroden-Extrapolationskammer, ist die PTB seit 2005 in der Lage, eine räumlich aufgelöste 3D-Dosisverteilung im klinisch relevanten

Nahfeld von Beta-Brachytherapiequellen absolut darzustellen, ohne auf ein zusätzliches sekundäres Dosimetriesystem zurückgreifen zu müssen. 2006 wurde ein bilateraler Vergleich mit dem NIST im Nahfeld einer $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -Linienquelle, die baugleich in der Gefäß-Strahlentherapie eingesetzt wird, erfolgreich durchgeführt. Im weiteren Bemühen, die Vergleichbarkeit der Primärnormal-Messeinrichtungen unter Beweis zu stellen, wurde 2008 ein internationaler Vergleich der Wasser-Energiedosis im Nahfeld einer ^{106}Ru -Flächenquelle durchgeführt. Quellen ähnlichen Typs finden in der Augentumor-Strahlentherapie Anwendung. Für den Vergleich wurde eine speziell angefertigte Flächenquelle in eine Halterung eingebaut und in einer wasseräquivalenten Tiefe von 1 mm jeweils in der PTB, beim NIST und beim niederländischen NMI vermessen.

In der PTB wurde die Quelle mit der neuen Primärnormal-Messeinrichtung, einer Multi-elektroden-Extrapolationskammer (MEK), vermessen. Diese Messeinrichtung basiert auf einer Extrapolationskammer mit einer segmentierten Sammelelektrode, die mit Hilfe lithographischer Verfahren im Reinraumzentrum der PTB auf einem Silicium-Wafer hergestellt wurde. Mit dieser neuartigen Sammelelektrode kann simultan an 28 Messpunkten mit einer Ortsauflösung von 1 mm x 1 mm gemessen werden. Beim NIST und beim NMI wurde die Wasser-Energiedosis im Dosismaximum ebenfalls mit einer Extrapolationskammer absolut bestimmt. Um eine bessere räumliche Auflösung zu erhalten, wurde am NIST zusätzlich eine zweidimensionale Dosisverteilung mit Radiochrom-Film

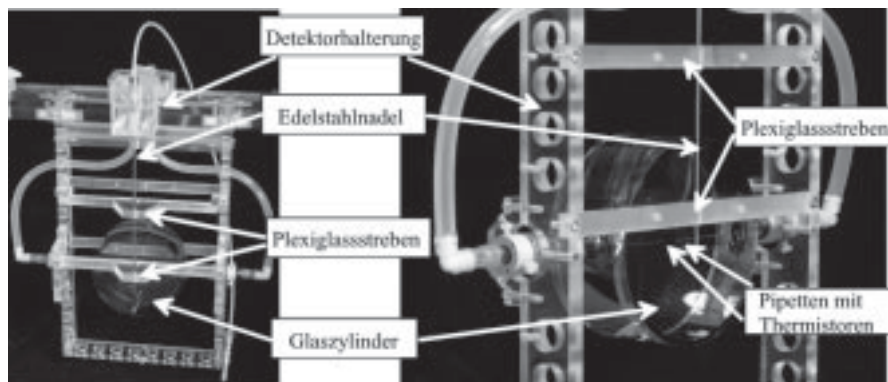


Bild 2: Detektorhalterung mit zusätzlichem Plexiglassstreben zur Fixierung der Edelstahlnadel vor bzw. hinter dem Glaszylinder des Detektors (links: 48 mm Abstand zu den Thermistoren; rechts: 24,35 mm Abstand). Die ^{192}Ir -Quelle wird mit Hilfe des Afterloaders bis in die Spitze der Nadel transportiert.

bestimmt (siehe Bild 3). Der Vergleich der Wasser-Energiedosisleistung im Dosismaximum bei einer Mittelung über eine Fläche von 4 mm Durchmesser ergab eine relative Differenz von 1 % zwischen PTB und NIST und 4 % zwischen PTB und NMi bei einer Mittelung über eine Fläche von 1 mm Durchmesser. Die relative Standard-Messunsicherheit der PTB und des NMi betrug hierbei 3 %, die des NIST lag bei 3,5 %.

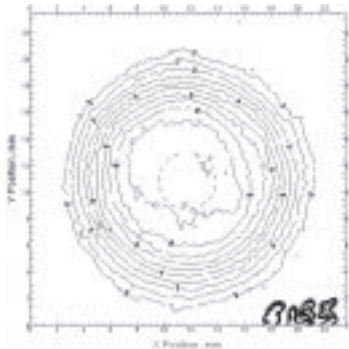


Bild 3: Isodosen der ^{90}Ru -Flächenquelle in 1 mm Wassertiefe. Die Messung wurde am NIST mit Radiochromic-Film durchgeführt (Intervalle der Isodosen: 5 mGy $^{-1}$).

PTB-Alanin-Dosimetriesystem für die Qualitätssicherung in Belgien

Eine seit längerem bestehende Zusammenarbeit zwischen der PTB und dem Ziekenhuis Middelheim, Antwerpen, Belgien, auf dem Gebiet der Alanindosimetrie wurde im letzten Herbst durch einen Kooperationsvertrag geregelt und erweitert. Als Partner hinzugekommen ist die Xios Hoogeschool in Limburg, Belgien. Ziel der Zusammenarbeit ist die Entwicklung von Dosismessverfahren für moderne Strahlentherapieformen wie die intensitätsmodulierte Strahlentherapie (IMRT) oder Tomotherapie mittels Alanin und Elektronen-Spin-Resonanz (ESR). Mittelfristig soll mit Hilfe dieser Technik ein System zur Qualitätssicherung in der Dosimetrie für diese Strahlentherapieformen in Belgien implementiert werden.

Untersuchungen der PTB zeigen, dass ein zur Zeit auf dem Markt erhältliches kompaktes Tischgerät (ESR-Spektrometer) noch zu hohe Unsicherheiten für die gestellten Anforderungen liefert. Daher wurden von belgischer Seite Mittel eingeworben, um ein adäquates Messsystem anschaffen zu können. Die Mittel werden zum Teil durch die Europäische

Union (Europees fonds voor regionale ontwikkeling – Limburg), zum Teil durch die Xios Hoogeschool bereitgestellt. Die Auswahl des Messgerätes und die Planung erfolgten in Zusammenarbeit mit der PTB, deren Messsystem voraussichtlich Ende 2008 im NuTec Zentrum (Dienstleistungszentrum für Strahlenschutz und Kerntechnik) der Xios Hoogeschool in Limburg mit Unterstützung der PTB dupliziert werden wird.

Exemplarstreuung der Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens von Ionisationskammern

Entsprechend der Norm DIN 6800-2 wird das unterschiedliche Ansprechvermögen einer Ionisationskammer bei der Kalibrierung im ^{60}Co -Strahlungsfeld und bei der Messung im hochenergetischen Photonenstrahlungsfeld durch den Korrekturfaktor k_Q korrigiert. Dieser Korrekturfaktor hängt sowohl von der Strahlungsqualität der Photonenstrahlung als auch vom Aufbau und den Abmessungen der verwendeten Ionisationskammer ab.

Die in der Norm DIN 6800-2 angegebenen Werte des Korrekturfaktors k_Q wurden zum größten Teil aus Modellrechnungen und Monte-Carlo-Simulationen abgeleitet, denen der nominelle Aufbau des jeweiligen Ionisationskammertyps zu Grunde gelegt wurde. Eventuelle exemplarspezifische Variationen (z. B. infolge von Fertigungstoleranzen) wurden dabei nicht berücksichtigt. Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen bestand darin, die Schwankung der individuellen k_Q -Faktoren für einzelne Kammern der Typen PTW 30013 und PTW 31013 experimentell zu bestimmen.

Die PTB Braunschweig verfügt über mehrere Sekundärnormal-Ionisationskammern, für die individuelle k_Q -Werte durch direkten Vergleich mit dem Primärnormal für die Einheit der Wasser-Energiedosis bestimmt wurden. Unter Verwendung dieser Sekundärnormalkammern wurden die individuellen k_Q -Faktoren von jeweils 10 Ionisationskammern der Typen PTW 30013 und PTW 31013 in den 8 MV- und 16 MV-Photonenfeldern des Linearbeschleunigers der PTB Braunschweig bestimmt.

Dazu wurden zunächst alle Kammern im ^{60}Co -Referenzstrahlungsfeld der PTB kali-

briert. Anschließend wurden unter Referenzbedingungen in den hochenergetischen Photonenstrahlungsfeldern die Anzeigeverhältnisse der zu untersuchenden Kammer und mehrerer Sekundärnormal-Ionisationskammern bestimmt. Unter der Annahme, dass die mit der Sekundärnormal-Ionisationskammer und dem jeweiligen Prüfling in demselben Photonenstrahlungsfeld gemessene Dosisleistung gleich ist, wurde der Strahlungsqualitäts-Korrektionsfaktor k_Q des Prüflings ermittelt.

Die Tabelle (Bild 4) enthält eine summarische Zusammenfassung der experimentell erhaltenen k_Q -Werte; in Bild 5 sind die für jede einzelne Kammer erhaltenen k_Q -Werte bei beiden Photonenenergien dargestellt.

Die hier vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass die exemplarspezifische Variation der k_Q -Werte – zumindest für die hier untersuchten Kammertypen PTW 30013 und PTW 31013 – höchstens etwa 0,3 % beträgt. Damit können experimentell bestimmte kammertypspezifische k_Q -Werte mit einer relativen Standard-Messunsicherheit von 0,28 % angegeben werden. Diese Messunsicherheit, in der bereits die exemplarspezifische Variation der k_Q -Werte berücksichtigt ist, ist deutlich geringer als die bislang in der Norm DIN 6800-2 verwendete Messunsicherheit von 1,0 %. Die durchgeführten Untersuchungen bieten daher Potential zur weiteren Verbesserung der in der Norm DIN 6800-2 enthaltenen Daten.

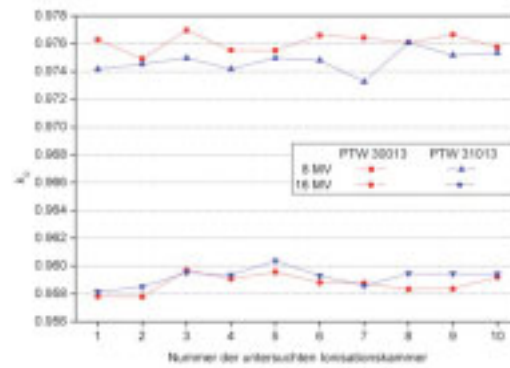


Bild 5: Experimentell bestimmte k_Q -Werte für die hier untersuchten Kammer der Typen PTW 30013 und PTW 31013 in den 8 MV- und 16 MV-Photonenstrahlungsfeldern des PTB-Linearanbeschleunigers.

Energieselektive Neutronen-Radiographie für die Inspektion von Gepäck und Frachtgut

Mit den heute überwiegend benutzten Verfahren für die Kontrolle von Gepäck und Frachtgut mit Röntgen- oder Gammastrahlung können Materialien aus leichten Elementen kaum unterschieden werden. Die sichere Bewertung der Bilder erfordert vom Bedienpersonal eine große Erfahrung. Dagegen ist die Radiographie mit schnellen Neutronen – Fast-Neutron Resonance Radiography (FNRR) – eine vielversprechende Methode für den vollautomatischen Nachweis und die Identifizierung von Waffen, Sprengstoff und anderen Gegenständen, die in Gepäckstücken oder Frachtgut versteckt wurden. Dabei wird ausgenutzt, dass die Wechselwirkung von Neutronen stark von deren Energie und der Elementzusammensetzung des untersuchten Transportguts abhängt. Dies ist in Bild 6 grafisch veranschaulicht, in dem berechnete Transmissionskoeffizienten für den Durchgang von Neutronen durch verschiedene Materialien gezeigt sind.

Kammertyp	PTW 30013		PTW 31013	
Nominelle Beschleunigungsspannung	8 MV	16 MV	8 MV	16 MV
Strahlungsqualitätsindex Q	0,716	0,762	0,716	0,762
Mittelwert aller individuellen k_Q -Werte	0,9761	0,9587	0,9748	0,9592
Relative Schwankungsbreite der individuellen k_Q -Werte (bezogen auf den jeweiligen Mittelwert)	0,21 %	0,20 %	0,29 %	0,23 %
Relative Standard-Messunsicherheit	0,28 %	0,28 %	0,28 %	0,28 %

Bild 4

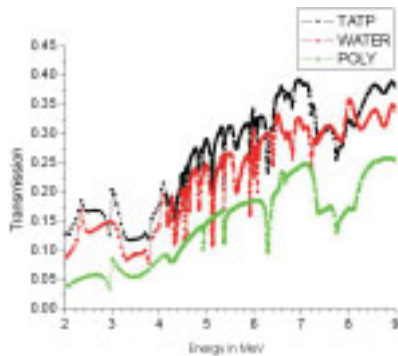


Bild 6: Berechnete Transmissions-Koeffizienten für Neutronen beim Durchgang durch 10 cm dicke Materialien. TATP: Tri-Aceton Tri-Peroxid (ein aus Haushalts-Chemikalien herstellbarer Sprengstoff); WATER: Wasser; POLY: Polyethylen

Zunächst wird bei der FNRR-Methode das Neutronenbild über einen Szintillations-Schirm in ein optisches Bild gewandelt, das mit Hilfe einer speziellen elektro-optischen Nachweiskette ein Transmissionsbild für eine wohldefinierte, wählbare Neutronenenergie liefert. Das schmale Energiefenster wird dabei über die Laufzeit der Neutronen aus einem breitbandigen gepulsten Neutronenstrahl definiert, mit dem der untersuchte Gegenstand bestrahlt wird. Aus einer Reihe von Bildern eines Gegenstandes, die bei verschiedenen Neutronenenergien aufgenommen wurden, kann dann ein materialspezifisches Abbild gewonnen werden. Sukzessive Messungen bei verschiedenen Neutronenenergien sind jedoch zeitraubend und ineffizient. Deshalb geht die aktuelle Detektorentwicklung zu Systemen, die gleichzeitig mehrere Bilder eines Gegenstandes aufnehmen können. Ein solches System mit vier Kanälen für verschiedene Neutronenenergien, das unter Beteiligung der PTB aufgebaut wurde, ist schematisch in Bild 7 gezeigt. Hier wurde die einkanalige Nachweiskette durch einen großflächigen optischen Vorverstärker (OPA) und vier Hochgeschwindigkeits-Verstärkerkameras ersetzt. Damit können gleichzeitig Bilder bei vier verschiedenen Neutronenenergien aufgenommen werden. Mit der nun verfügbaren kürzesten Belichtungszeit von 4 ns kann entweder die Energieauflösung gegenüber früheren Systemen verbessert oder die Laufzeit der Neutronen verkürzt und damit die Größe des Gerätes verkleinert werden.

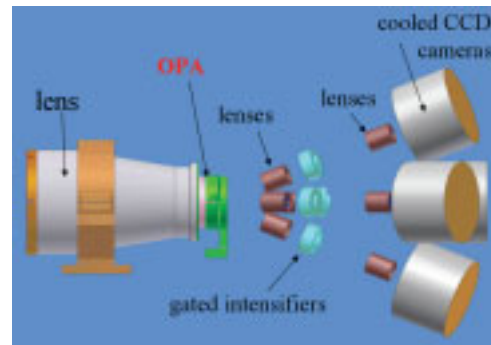


Bild 7: Schematische Darstellung eines Vierkanal-Detektorsystems für die energieselektive Neutronen-Radiographie mit optischem Vorverstärker (OPA) und unabhängig voneinander steuerbaren Hochgeschwindigkeits-Verstärkerkameras (ICCD).

Zur Skalierbarkeit von Spurstrukturen ionisierender Strahlung in nanometrischen Volumina

Eine grundlegende Aufgabe der experimentellen Nanodosimetrie ist die Untersuchung von Spurstrukturen ionisierender Strahlung in nanometrischen biologischen Volumina, wie z. B. in DNA-Segmenten, im Hinblick auf die Erzeugung von Strahlenschäden, die auf direkte Ionisationsereignisse zurückzuführen sind. Die wesentliche Kenngröße einer derartigen Spurstruktur ist die Häufigkeitsverteilung der Größe von Ionisationsclustern, das sog. nanometrische Spektrum. Ein Volumenelement, welches für diese Art von Untersuchung als geeignet angesehen werden kann, ist ein DNA-Segment, bestehend aus etwa 20 Basenpaaren, d. h. ein Zylinder mit einem Durchmesser von ca. 4 nm und einer Höhe von ca. 8 nm bei einer Dichte von 1 g/cm^3 . Nanometrische Spektren, die einem solchen Volumenelement zuzuordnen sind, können in einem ionenzählenden Nanodosimeter gemessen werden, das mit einem geeigneten Gas gefüllt ist und in dem die durch die ionisierende Strahlung erzeugten Ionen nach ihrer Drift durch das Gas nachgewiesen werden. Da als Ersatztarget für ein DNA-Segment ein Zylinder aus flüssigem Wasser dient, benötigt man ein Verfahren, um die in gasförmigen Medien gemessenen nanometrischen Spektren so umzuskalieren, dass sie äquivalent zu den nanometrischen Spektren eines Targets aus flüssigem Wasser mit nanometrischen Dimensionen sind. Ein solches Skalierungsverfahren beruht auf dem Verhältnis der mittleren freien Weglängen, die die ionisierenden Teilchen in dem jeweiligen

Ionisierende Strahlung

Medium haben. Die mittlere freie Weglänge eines Teilchens in einem Material ist wiederum umgekehrt proportional zum Wirkungsquerschnitt.

An den Beschleunigeranlagen der PTB wurden nanometrische Spektren in monoenergetischen Protonen- und Alphateilchenstrahlen im Energiebereich von 0,1 MeV bis 20 MeV gemessen. Als Messgase dienten C_3H_8 und N_2 . Die aus den Wirkungsquerschnitten von C_3H_8 und N_2 resultierenden mittleren freien Weglängen ergeben Druckverhältnisse von 0,55 mbar C_3H_8 und 1,2 mbar N_2 für Alphateilchen und 0,5 mbar C_3H_8 und 1,2 mbar N_2 für Protonen. Im Experiment wird die beste Übereinstimmung für Druckverhältnisse von 0,46 mbar C_3H_8 und 1,2 mbar N_2 für Alphateilchen und 0,425 mbar C_3H_8 und 1,2 mbar N_2 für Protonen erzielt. Der Grund für diesen Unterschied liegt in den großen Unsicherheiten der zur Zeit in der Literatur vorhandenen Wirkungsquerschnitte für Alphateilchen und Protonen in den verwendeten Gasen.

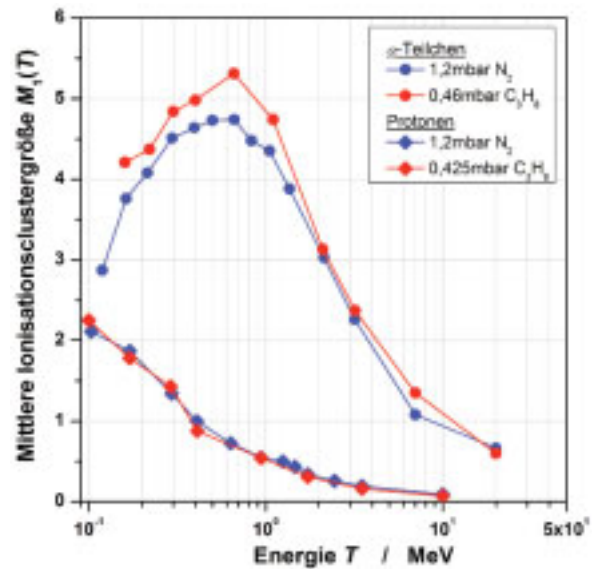


Bild 8: Vergleich der mittleren Ionisationsclustergröße $M_1(T)$ für die gemessenen Häufigkeitsverteilungen der Ionisationsclustergröße für primäre Protonen- und Alphateilchenstrahlen verschiedener Energien T für die jeweilige Kombination der beiden Messgase.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(auch im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Bestimmung der Aktivität und der Photonenemissionswahrscheinlichkeiten von Antimon-124

Im Rahmen des internationalen EUROMET-Projektes 907 hat sich die Arbeitsgruppe „Aktivitätseinheit“ der PTB erfolgreich der Darstellung der Aktivitätseinheit von ^{124}Sb und der Bestimmung von 41 Photonenemissionswahrscheinlichkeiten gestellt. Dieses Projekt war gleichzeitig Anlass, neue Verfahren zu etablieren und bestehende zu modernisieren. (O. Ott, FB 6.1, oliver.ott@ptb.de)

Bestimmung der Halbwertszeit des primordialen Isotops Samarium-147

In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München hat die PTB die Halbwertszeit des für die Geochronologie wichtigen langlebigen Radionuklids ^{147}Sm bestimmt. Die Unsicherheit konnte im Vergleich zu früheren Messungen deutlich reduziert werden. (K. Kossert, FB 6.1, karsten.kossert@ptb.de)

Kalorimetrische Bestimmung der Wasser-Energiedosis im Nahfeld von Iridium-192-Brachytherapiequellen

Messgröße in der Dosimetrie von Brachytherapiequellen ist die Wasser-Energiedosisleistung, \dot{D}_w , in 1 cm Abstand vom Aktivitätsschwerpunkt des Strahlers senkrecht zur Quellenachse. Mit Hilfe eines Wasserkalorimeters lässt sich die gewünschte Messgröße direkt und mit geringer Standardmessunsicherheit bestimmen. Als erster Schritt wurde ein in der PTB existierendes Wasserkalorimeter für die Anwendung mit ^{192}Ir -Brachytherapiequellen so modifiziert, dass die Wasser-Energiedosisleistung im Nahfeld der Quelle in einem minimalen Abstand von 24,35 mm bestimmt werden konnte. Dabei wurde eine relative Standardmessunsicherheit kleiner als 1 % erreicht. (Achim Krauss, FB 6.2, achim.krauss@ptb.de)

Erste Messungen der Wasser-Energiedosis für die interstitielle Brachytherapie

Es wurde eine neue Extrapolationskammer aus einem wasseräquivalentem Material gebaut, mit deren Hilfe die Wasser-Energiedosis im Phantom in Abwesenheit eines Hohlraums bestimmt werden kann. Dabei werden die bei verschiedenen Plattenabständen erzeugten Ladungsmengen mittels Monte-Carlo-Rechnungen in die Wasser-Energiedosis umgerechnet. Die Bedingungen sind so gewählt, dass Elektronentransportphänome in den Monte-Carlo-Rechnungen nicht berücksichtigt werden müssen. (Th. Schneider, FB 6.2, thorsten.schneider@ptb.de)

Digitales Datenaufnahmesystem für die Spektrometrie mit Szintillationsdetektoren

Ein von der ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Frascati) entwickeltes digitales Datenaufnahmesystem wurde in Betrieb genommen und im Einsatz an den Neutronenreferenzfeldern der PTB-Beschleunigeranlage getestet. Im Vergleich zu dem bisher benutzten System sind jetzt spektrometrische Messungen praktisch ohne Qualitätsverluste bei bis zu einem Faktor 10 höheren Signalraten möglich. (A. Zimbal, FB 6.5, andreas.zimbal@ptb.de)

Initiative zur Verbesserung des Datensatzes für den Elektronentransport im Wasser

Die Unsicherheiten in der Berechnung der Ionisationscluster-Erzeugung durch niederenergetische Elektronen in einem für die Dosimetrie wichtigen Material sind sehr stark von der Qualität der Ionisationsquerschnitte abhängig. Um deren Einfluss zu bestimmen, wurde mit Hilfe zweier unterschiedlichen Monte-Carlo-Programme (das Monte-Carlo-Programm des Fachbereiches 6.6 und GEANT4-DNA) die Ionisationscluster-Erzeugung durch Elektronen in Wasser simuliert. Diese Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit Marion Bug (Centre for Medical Radiation Physics, University of Wollongong) durchgeführt und ist der erste Schritt einer umfangreicheren Initiative, die eine Verbesserung des Datensatzes für den Elektronentransport im Wasser ermöglicht und diese Daten der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung stellen wird. (E. Gargioni, FB 6.6, elisabetta.gargioni@ptb.de)

Teilchenspur-Rekonstruktion wichtig für Messungen der Ionisationscluster von Primärelektronen mit Hilfe eines ionenzählenden Nanodosimeters

Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem Fachbereich 6.6 und dem Loma Linda University Medical Center (LLUMC, San Bernardino, USA) wurde die Ionisationscluster-Verteilung für Primärelektronen mit Hilfe eines ionenzählenden Nanodosimeter gemessen und mit Monte-Carlo-Simulationen verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass wegen der im Vergleich zu Ionen sehr großen Streuung und breiten Winkelverteilung der Primärelektronen die Teilchenspur-Rekonstruktion eine wesentliche Rolle in der Datenanalyse spielt. Daher ist es wichtig, das ionenzählende Nanodosimeter mit einem geeignetem System für Teilchenspurstruktur-Nachweis und Triggerung der Elektronen aufzurüsten. (E. Gargioni, FB 6.6, elisabetta.gargioni@ptb.de)

Spektrometrie von Röntgenstrahlungsfeldern

Die Charakterisierung der im Fachbereich 6.6 realisierten Röntgenstrahlungsfelder beinhaltet die spektrometrische Bestimmung der Energieabhängigkeit der Photonenfluenz. Hierzu werden die Pulshöhenspektren der Strahlungsfelder mit einem HPGe-Detektor gemessen und entfaltet. Zusätzlich zu den gefilterten Spektren der verschiedenen Spektrenserien wurden ungefilterte Spektren für alle in den Spektrenserien vorkommenden Anodenspannungen aufgenommen. Diese ungefilterten Spektren erlauben durch nachträgliche numerische Filterung mit beliebigen Filtern die Erzeugung der verschiedensten Röntgenspektren. (W. Y. Baek, FB 6.6, woonyong.baek@ptb.de)

Doppelt differentielle inelastische Elektronenstreuquerschnitte von DNA-Bausteinen

Es ist allgemein bekannt, dass DNA das strahlensensitive Target innerhalb einer Zelle darstellt und die biologische Wirksamkeit ionisierender Strahlung nicht nur von der Energiedosis, sondern auch von deren Spurstruktur abhängt. Zur Berechnung solcher Spurstrukturen sind die Wechselwirkungsquerschnitte zwischen den DNA-Bausteinen und Elektronen, die meist in großer Menge als Sekundärteilchen beim Durchgang ionisierender Strahlung im Gewebe freigesetzt werden, unentbehrlich.

Angesichts dieser Tatsache wurden die doppelt differentielle inelastischen Elektronenstreuquerschnitte als Funktion des Streuwinkels und der Sekundärelektronenenergie von Tetrahydrofuran (C_4H_8O), welches eine nahezu identische Struktur wie Deoxyribose besitzt, experimentell bestimmt. (G. Hilgers, FB 6.6, gerhard.hilgers@ptb.de)

Experimentelle Überprüfung der Skalierbarkeit von Spurstrukturen ionisierender Strahlung in nanometrischen Volumina

Bei der Modellierung nanometrischer Spektren dient ein Zylinder aus flüssigem Wasser als Ersatztarget für ein DNA-Segment. Deshalb benötigt man ein Verfahren, um die in gasförmigen Medien gemessenen nanometrischen Spektren so umzuskalieren, dass sie äquivalent zu den nanometrischen Spektren eines Targets aus flüssigem Wasser mit nanometrischen Dimensionen sind. Ein solches Skalierungsverfahren beruht auf dem Verhältnis der mittleren freien Weglängen, die die ionisierende Teilchen in dem jeweiligen Medium haben.

An den Beschleunigeranlagen der PTB wurden nanometrische Spektren in monoenergetischen Protonen- und Alphateilchenstrahlen im Energiebereich von 0,1 MeV bis 20 MeV gemessen. Als Messgase dienten C_3H_8 und N_2 . (G. Hilgers, FB 6.6, gerhard.hilgers@ptb.de)

Bestimmung des Massen-Energieabsorptionskoeffizienten von Luft im harten Röntgenbereich

Aus den Ergebnissen mehrerer Vergleichsmessungen der Freiluft-Ionisationskammer PK100 mit dem in der Arbeitsgruppe 7.13 *Röntgenradiometrie* für den harten Röntgenbereich weiterentwickelten Kryoradiometer SYRES I wurde der Massen-Energieabsorptionskoeffizient von Luft für Photonen mit Energien zwischen 10 keV und 90 keV experimentell ermittelt. (H. Rabus, FB 6.6, hans.rabus@ptb.de)

Vergleich der ionometrischen und kalorimetrischen Bestimmung der Wasser-Energiedosis bei Co-60-Gammastrahlung

Kalorimetrie und Ionometrie sind zwei komplementäre Methoden zur Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis bei Co-60-Gammastrahlung. Ein Vergleich beider Methoden ergab einen signifikanten Unterschied von $1,4 \% \pm 0,4 \%$. Wahrscheinlichste Ursache dafür sind die Literaturwerte für das Bremsvermögen von Elektronen in Grafit, die bei der Umrechnung des gemessenen Ionisationsstromes der Grafit-Hohlraum-Ionisationskammer in die Wasser-Energiedosisleistung verwendet werden. (L. Büermann, FB 6.6, ludwig.bueermann@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Klein, schwarz, schnell: PTB präsentiert autarken Datenlogger im Taschenformat

Ob ionisierende Strahlung, Umdrehungen, Durchflussmengen – alles, was sich in Impulsen ausdrückt, kann er zählen, und zwar schnell: der neu entwickelte Datenlogger der PTB. Dabei passt er mit seinen 9 cm x 6 cm x 2 cm in jede Hosentasche. An den kleinen Kasten können vier Geräte gleichzeitig angeschlossen werden und die vier schnellen unabhängigen Zähler können bis zu 100 Millionen Impulse pro Sekunde (100 MHz) erfassen. Der Datenlogger speichert seine Messergebnisse auf eine handelsübliche SD-Speicherkarte und hebt dadurch die bisherige Begrenzung interner Speicher auf. Er eignet sich besonders für Langzeitmonitoring an Orten, die – aufgrund von Gefahren für die menschliche Gesundheit – schwer zugänglich sind. Gleichzeitig ist er in der Lage, Messwerte auf seinem brillanten OLED-Bildschirm grafisch darzustellen. (F. Langner, FB 6.4, frank.langner@ptb.de)

Messung von Wirkungsquerschnitten für die Streuung von Neutronen an Blei, Bismut und Tantal im Energiebereich von 2 MeV bis 4 MeV

Messungen von Neutronen-Streuquerschnitten für Blei, Bismut und Tantal im Energiebereich von 2 MeV bis 4 MeV wurden am Flugzeitspektrometer der PTB durchgeführt. Die $^{15}N(p,n)$ -Reaktion wurde als Quelle für monoenergetische Neutronen eingesetzt. Differentielle und winkelintegrierte Wirkungsquerschnitte für die elastische und inelastische Streuung konnten mit großer Präzision bestimmt und mit anderen Daten verglichen werden. Oberhalb von 3 MeV zeigen sich dabei signifikante Abweichungen zu den aus Photoemissionswirkungsquerschnitten berechneten inelastischen Streuquerschnitten für die niedrigsten Anregungszustände. (E. Pönitz, FB 6.4, erik.poenitz@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Thoron-Folgeproduktkammer nimmt den Kalibrierbetrieb auf

Im Rahmen eines zweijährigen Drittmittelprojektes wurde die Thoron-Folgeproduktkammer fertig instrumentiert und steht jetzt zur Darstellung der Einheit Bq/m^3 von $^{220,222}\text{Rn}$ und $^{220,222}\text{Rn}$ -Folgeprodukten zur Verfügung. (A. Röttger, FB 6.1, annette.roettger@ptb.de)

Moderne Methoden zur Bestimmung von Strontium-89 und Strontium-90 bei der Umweltüberwachung veröffentlicht

Die Radionuklide Sr-89 ($T_{1/2} = 50,5 \text{ d}$) und Sr-90 ($T_{1/2} = 28,4 \text{ a}$) werden bei der Kernspaltung mit relativ hoher Spaltausbeute erzeugt. Nach einer Freisetzung können sie in die Umwelt und auf Grund der chemischen Ähnlichkeit des Strontiums mit dem Calcium in die menschliche Nahrungskette gelangen und in den Knochen eingelagert werden. Daher ist Sr-90 mit seiner effektiven Halbwertszeit von 17,5 Jahren besonders für Kinder dosisrelevant. Da die Dosiskoeffizienten der Nuklide unterschiedlich sind, ist für eine Abschätzung einer Strahlenexposition des Menschen eine genaue Unterscheidung zwischen den Aktivitätskonzentrationen von Sr-89 und Sr-90 erforderlich. (H. Wershofen, FB 6.1, herbert.wershofen@ptb.de)

Machbarkeitsstudie für Low-Level-Radon-Referenzkammer abgeschlossen

Da die Radon-Messtechnik zur Zeit verstärkt an gesellschaftlicher Bedeutung (Gesundheitsvorsorge, Energiesparmaßnahmen und radiologische Sicherheitstechnik) gewinnt, ist der Aufbau einer Low-Level-Radon-Referenzkammer (LL-RRK) im Rahmen einer Machbarkeitsstudie geprüft worden. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist die Darstellung der Einheit mit einer Unsicherheit von 5 % ($k = 2$) für diesen Aktivitätsbereich möglich. (A. Röttger, FB 6.1, annette.roettger@ptb.de)

Richard-Glocker-Bau eingeweiht

Mit drei neuen Elektronenbeschleunigern erweitert die PTB ihre Messmöglichkeiten für die Dosimetrie in der Strahlentherapie. Am 11. Juli 2008 haben Prof. Ernst O. Göbel und Staatssekretär Jochen Homann aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie den Richard-Glocker-Bau, der die Beschleuniger beherbergt, auf dem Braunschweiger PTB-Gelände offiziell eingeweiht. Zu den Kernaufgaben der Anlage zählen das Bereitstellen von Normalen der Einheit Gray für die Wasser-Energiedosis sowie das Prüfen, Verbessern und Entwickeln von Dosimetern und Dosismessverfahren für die klinische Praxis. Schwerpunkt der dosimetrischen Grundlagenforschung bildet die Untersuchung der Wechselwirkung von Strahlung mit diversen Materialien, biologische Systeme eingeschlossen. (K. Derikum, FB 6.2, klaus.derikum@ptb.de)

Exemplarstreuung der Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens von Ionisationskammern

Für je 10 Ionisationskammern der Typen PTW 30013 und PTW 31013 wurden individuelle Ansprechvermögen in den hochenergetischen Photonenstrahlungsfeldern des Linearbeschleunigers der PTB relativ zum Ansprechvermögen im ^{60}Co -Strahlungsfeld bestimmt. Die Variation der erhaltenen k_Q -Faktoren aller Kammern beträgt weniger als 0,3 % (bezogen auf den Mittelwert aller k_Q -Faktoren). Die durchgeführten Untersuchungen bieten Potential zur weiteren Verbesserung der in der Norm DIN 6800-2 enthaltenen Daten. (R.-P. Kapsch, FB 6.2, ralf-peter.kapsch@ptb.de)

Bestimmung der radialen Anisotropie des Strahlungsfeldes von Iridium-192- und Cobalt-60-Brachytherapiequellen

^{192}Ir - und ^{60}Co -Brachytherapiequellen zeigen trotz ihres rotationssymmetrischen Aufbaus eine teilweise nicht zu vernachlässigende radiale Anisotropie ihres Strahlungsfeldes senkrecht zur zentralen Achse der Quellen. Seit Beginn des Jahres 2008 wird diese Anisotropie bei Kalibrierungen der Quellen mitbestimmt und im Kalibrierschein aufgeführt. (H.-J. Selbach, FB 6.2, hans-joachim.selbach@ptb.de)

PTB-Alanin-Dosimetriesystem für die Qualitätssicherung in Belgien

Eine Kopie des PTB-Messsystems für die Dosimetrie mittels Alanin und Elektronenspinresonanz wird gegen Ende 2008 an der belgischen Xios Hoogeschool Limburg im Rahmen einer Zusammenarbeit installiert werden. Mit dem Verfahren soll ein Qualitätssicherungssystem für die Dosimetrie für moderne Strahlentherapieformen wie IMRT für Belgien implementiert werden. (M. Anton, FB 6.2, mathias.anton@ptb.de)

NAVIDOS seit dem 15.08.2008 in einem Airbus A340 der Lufthansa im Messbetrieb

Nach einer ausführlichen Erprobungsphase wurde das von der PTB und der Christian-Albrechts-Universität Kiel entwickelte Dosimetriesystem NAVIDOS im August 2008 von Lufthansa Technik in einen Airbus A340-300 der Lufthansa eingebaut und ist am 15. August 2008 in Betrieb gegangen. Ziel der Messungen sind die Untersuchungen der Einflüsse wie zum Beispiel der Sonnenaktivität oder der Veränderung des Erdmagnetfeldes auf die Ortsdosisleistung in Flughöhen. Darüber hinaus dienen die Messungen auch zur Qualitätssicherung der Dosiermittlung für das fliegende Personal. (F. Wissmann, FB 6.4, frank.wissmann@ptb.de)

Neutronenmonitor für gepulste Strahlung

In der PTB wurde ein neuer Monitor zur Messung gepulster Neutronenstrahlung basierend auf dem Nachweis von β -Strahlung aus Aktivierungsreaktionen am Silber entwickelt. Die Entwicklung wurde von der PTB zum Patent angemeldet. (M. Luszik-Bhadra, FB 6.5, marlies.luszik-bhadra@ptb.de)

Energieselektive Neutronenradiographie für die Inspektion von Gepäck und Frachtgut

Schnelle Neutronen haben die Fähigkeit, größere Objekte zu durchdringen und dabei Informationen über die chemische Zusammensetzung der Probe zu liefern. Innerhalb eines binationalen Projektes mit dem NRC Soreq/Israel wurde ein hochauflösendes Neutronenradiographiesystem entwickelt, mit dem Schmuggelware und Sprengstoff in Gepäck und Luftfrachtcontainern aufgespürt werden kann. (V. Dangendorf, FB 6.5, volker.dangendorf@ptb.de)

Bayes'sche Analyse spektrometrischer Messungen in hochenergetischen Neutronenfeldern

Die Messunsicherheit eines erweiterten Bonnerkugel-Spektrometers bei Anwendungen in hochenergetischen Neutronenfeldern wurde mit Bayes'schen Verfahren analysiert. Es wurde gezeigt, dass das Spektrum unterhalb von etwa 1 MeV gut bestimmt werden kann, während die Information aus den Messergebnissen nicht ausreicht, um den Hochenergie-Bereich des Spektrums mit geringer Unsicherheit zu bestimmen. (M. Reginatto, FB 6.5, marcel.reginatto@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

VERMI-Workshop zum Thema „Quellenpräparation in der Radionuklidmetrologie“

Im Rahmen des Virtual European Radionuclide Metrology Institute (VERMI) wurde in der PTB ein Workshop zum Thema „Quellenpräparation in der Radionuklidmetrologie“ veranstaltet. Die Teilnehmer vom NPL, LNE-LNHB, IRMM und PTB hatten dabei die Gelegenheit, Erfahrungen in Theorie und Praxis auszutauschen. (K. Kossert, FB 6.1, karsten.kossert@ptb.de)

Die PTB war Gastgeberin der fünften internationalen ICRM-LLRMT-Konferenz

Vom 22. bis 26. September war die PTB Gastgeberin für die *5th International Conference on Radionuclide Metrology Low-Level Radioactivity Measurement Techniques*. Im Fokus der Konferenz standen Mess-, Analyse- und Kalibrierverfahren für die genaue Bestimmung kleinster Mengen an Radionukliden sowie nationale und internationale Vergleichsmessungen zur Verbesserung der Qualität von Radioaktivitätsmessungen. (D. Arnold, FB 6.1, dirk.arnold@ptb.de)

Bestimmung der Aktivität von Cer-139 und Yttrium-88 im Rahmen internationaler Vergleichsmessungen

Die Arbeitsgruppe Aktivitätseinheit hat zu Vergleichszwecken radioaktive Lösungen der Nuklide ^{139}Ce und ^{88}Y an das internationale Referenzsystem SIR beim BIPM geschickt und ist damit den Verpflichtungen aus dem Mutual Recognition Arrangement (MRA) nachgekommen. Gleichzeitig sind diese beiden Nuklide für den Test und die Weiterentwicklung von Rechenmodellen im Bereich der Flüssigszintillationszählung nach der CIEMAT/NIST- und TDCR-Methode wichtig und stützen die Neu- und Weiterentwicklung dieser Messmethoden in der PTB. (O. Nähle, FB 6.1, ole.j.naehle@ptb.de)

Internationaler Vergleich der Primärnormal-Messeinrichtungen zur Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis von Beta-Brachytherapiequellen.

Zusammen mit dem National Institute of Standards and Technology (NIST) und dem Nederlands Meetinstituut (NMI) wurden die Primärnormal-Messeinrichtungen zur Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis von Beta-Brachytherapiequellen verglichen. Gegenstand des Vergleichs war die Bestimmung der Wasser-Energiedosis im Nahfeld einer ^{106}Ru -Flächenquelle. Quellen ähnlichen Typs finden in der Augentumor-Strahlentherapie Anwendung. Der Vergleich ergab eine Übereinstimmung der Ergebnisse im Rahmen der Unsicherheiten. (M. Bambynek, FB 6.2, markus.bambynek@ptb.de)

