

# In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter [www.ptb.de](http://www.ptb.de))

## Grundlagen der Metrologie

### **Gammaskpektrometrie zur Darstellung der Aktivitätseinheit: Modernisierung und Erweiterung des Aktivitätsbereiches**

Grundlage einer jeden Ausgabe von Quellen (Lösung oder Festpräparat) an Kunden ist die Aktivitäts- und Verunreinigungsbestimmung. Die Gammaskpektrometrie ist ein wichtiges Standbein des Fachbereiches *Radioaktivität* zur Weitergabe der Aktivitätseinheit neben LSC und Ionisationskammernmessungen. Entscheidend ist jedoch, dass die Gammaskpektrometrie das einzige Verfahren ist, das in der Lage ist Verunreinigungen zu erkennen und Isotopengemische zu quantifizieren. Damit kommt ihr eine Schlüsselrolle im hochfrequentierten Dienstleistungsbetrieb des Fachbereiches zu. Seit 2015 laufen deshalb intensive Infrastrukturmaßnahmen, begleitet von zahlreichen Machbarkeitsstudien zur strategischen Ausrichtung auf die hochwertigsten Dienstleistungen, um die Gammaskpektrometrie zukunftsfähig zu machen. (S. Röttger, FB 6.1, [stefan.roettger@ptb.de](mailto:stefan.roettger@ptb.de))

### **Kalorimetrische Bestimmung strahlungsqualitätsabhängiger Faktoren $k_Q$ von Ionisationskammern in hochenergetischen Elektronenfeldern zwischen 6 MeV und 20 MeV**

Die Bestimmung der Wasser-Energiedosis  $D_w$  für hochenergetische Elektronenstrahlung erfolgt typischerweise mithilfe von Ionisationskammern, die bei  $^{60}\text{Co}$ -Strahlung zur Anzeige der Wasser-Energiedosis kalibriert sind. Die Änderung des strahlungsqualitätsabhängigen Ansprechvermögens der Kammer wird dabei durch den sogenannten  $k_Q$ -Faktor berücksichtigt. Mithilfe eines Wasserkalorimeters wurden an den medizinischen Linearbeschleunigern der PTB experimentelle  $k_Q$ -Faktoren für Elektronenstrahlung für verschiedene Ionisationskammern (Flachkammer PTW 34001, Zylinderkammern FG 65G, NE2561 und NE2571) im Energiebereich zwischen 6 MeV und 20 MeV (zugehörige Strahlungsqualität  $R_{50}$  zwischen 1,9 cm und 7,5 cm) bestimmt. Die relativen Standardmessunsicherheiten der experimentell bestimmten  $k_Q$ -Faktoren liegen zwischen ca. 0,45 % und ca. 0,80 %. (A. Krauss, FB 6.2, [achim.krauss@ptb.de](mailto:achim.krauss@ptb.de))

### **Erster internationaler Vergleich der Primärnormale für die Wasser-Energiedosis bei Röntgenstrahlung**

Die PTB war Koordinator des ersten internationalen Vergleiches der Primärnormalmesseinrichtungen zur Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis bei Röntgenstrahlungen mit Erzeugerspannungen zwischen 100 kV und 250 kV. Neben der PTB gibt es weltweit nur drei weitere nationale Metrologieinstitute, die derartige Primärnormale haben, nämlich in den Niederlanden, Frankreich und Italien. Die Ergebnisse des Vergleiches zeigen, dass die Primärnormale innerhalb ihrer erweiterten Unsicherheiten konsistent sind. Eine etwas differenziertere Analyse der Ergebnisse gibt Hinweise auf Verbesserungen an einigen Primärnormalen. (L. Büermann, FB 6.2, [ludwig.bueermann@ptb.de](mailto:ludwig.bueermann@ptb.de))

### **Detektor zur Messung der Myonen der kosmischen Strahlung MUDOS3**

Die seit mehreren Jahren in der PTB eingesetzten MUDOS-Systeme (**M**uon **D**osimetry **S**ystem) sind in der 3. Generation weiterentwickelt worden. Die Bauweise ist nun kompakter, wodurch das „Sichtfenster“ (der Öffnungswinkel) des Detektors vergrößert wird. Die Anzahl der Bauteile ist gegenüber dem Vorgängermodell reduziert. Die Wartungsfreundlichkeit konnte deutlich erhöht werden. Das Messprinzip basiert auf der Koinzidenzmessung zweier übereinander angeordneter Kammern, welche durch eine 20 mm starke Wolframscheibe gegeneinander abgeschirmt sind. Die hochenergetische Myonen-Strahlung durchdringt diese Scheibe im Gegensatz zu der niederenergetischeren terrestrischen Strahlung problemlos. In beiden Kammern gleichzeitig gemessene Ereignisse werden als Myon gewertet. Der neue MUDOS-Detektor wurde bei Messungen im Untergrundlabor UDO II und der Referenzmessfläche für Umgebungsdosimetrie erfolgreich eingesetzt. (J. Roth, FB 6.3, [juergen.roth@ptb.de](mailto:juergen.roth@ptb.de), B. Pullner, FB 6.3, [bjoern.pullner@ptb.de](mailto:bjoern.pullner@ptb.de))

### **Datenerfassungselektronik für ein ToT-Spektrometer mit mehreren Kanälen zur Messung von gepulster Strahlung**

Zur Spektroskopie von gepulster Röntgenstrahlung ist aufgrund der kurzen Strahlungsdauer und der hohen Dosisleistung eine schnelle Elektronik notwendig. Zur Messung des Spektrums eignet sich daher die Time-over-Threshold-Methode (ToT).

(P. Mathias, FB 6.3, pascal.mathias@ptb.de, B. Reinelt, FB 6.3, bjoern.reinelt@ptb.de)

### **Messungen der Neutronenflussraten in Untergrundlaboratorien**

Für verschiedene physikalische Experimente, die in Untergrundlaboratorien aufgebaut werden, ist die Kenntnis der Fluenzrate und Energieverteilung der Neutronen eine wichtige Voraussetzung. In einer Messkampagne mit einer Kugel des PTB-Bonner-Kugel-Spektrometers wurde die Neutronenflussrate im Untergrundlabor Felsenkeller gemessen. Zusätzliche Messungen wurden im Untertagelaboratorium UDO II der PTB durchgeführt. (M. Zboril, FB 6.4, miroslav.zboril@ptb.de)

### **Dreifach-differentielle Ionisationsquerschnitte von Wassermolekülen durch Elektronenstoß**

Dreifach-differentielle Ionisationsquerschnitte von Wassermolekülen durch Elektronenstoß wurden mit einer genaueren theoretischen Methode berechnet. (W. Y. Baek, FB 6.5, woonyong.baek@ptb.de)

### **Immobilisierung von DNA-Origamis zwischen Gold-Elektroden**

Zum direkten Nachweis von strahleninduzierten Schäden an der DNA mittels Impedanzmessung wurden DNA-Origamis zwischen zwei Gold-Elektroden eingefangen. (F. Heimbach, FB 6.5, florian.heimbach@ptb.de)

### **Bestimmung des effektiven Ladungszustands von Kohlenstoffprojektilen in der Bragg-Peak-Region**

Der effektive Ladungszustand von Kohlenstoffprojektilen mit Energien von 1 MeV bis 6 MeV in flüssigem Wasser wurde bestimmt. (J. Rahm, FB 6.5, johannes.rahm@ptb.de)

### **Einbeziehung der Gasströmung in der Simulation der ortsabhängigen Nachweiswahrscheinlichkeit des PTB-Nanodosimeters**

Die Einbeziehung der Daten aus Gasströmungssimulationen erweitert die Simulation der räumlichen Verteilung der Nachweiswahrscheinlichkeit für die ionisierten Gasmoleküle des Targetgases um eine wesentliche Einflussgröße und stellt damit diese Simulationen auf eine solidere Basis. (G. Hilgers, FB 6.5, gerhard.hilgers@ptb.de)

### **Erste Untersuchungen zur Unsicherheit der ortsabhängigen Nachweiswahrscheinlichkeit des PTB-Nanodosimeters**

Zur Ermittlung ihrer Unsicherheit wurde die Abhängigkeit der räumlichen Verteilung der Nachweiswahrscheinlichkeit für die ionisierten Gasmoleküle des Targetgases von den Betriebsparametern des PTB-Nanodosimeters systematisch mit Messungen untersucht. (G. Hilgers, FB 6.5, gerhard.hilgers@ptb.de)

### **Entwicklung eines neuen, optimierten Präzisions-Pulsgenerators für die Gamma-Spektrometrie**

Für die Rückführung der Aktivitätseinheit auf einen Zeitstandard wurde ein Präzisions-Pulsgenerator entwickelt. Dieser simuliert mit genau bekannter Rate Messsignale des Detektors und speist diese parallel zum Detektor in das Messsystem ein. Das Gerät dient der präzisen Erfassung der Totzeit des Messsystems und somit der Bestimmung der effektiven Messzeit. (D. Mugai, FB 6.5, detlef.mugai@ptb.de)

### **Simulation der Dosisverstärkung durch Goldnanopartikel**

Die berechnete Dosisverstärkung in der Umgebung eines Goldnanopartikels bei Bestrahlung mit klinischen Photonenquellen ist signifikant (bis zu 300 nm Abstand mindestens Faktor 10). Eine Dosiserhöhung im Zellkern für eine typische Nanopartikel-Konzentration im Zytoplasma liegt aufgrund der Absorption in benachbarten Nanopartikeln niedriger, kann aber dennoch Faktoren von 2 oder höher erreichen. (M. Bug, FB 6.5, marion.bug@ptb.de, T. Dressel, FB 6.5, tobias.dressel@ptb.de)

### **Vorbereitende Messungen zur Bestimmung der Elektronenemission aus Goldnanopartikeln**

Die Elektronenemission an dünnen Folien und darauf aufgebracht Goldnanopartikeln wurde für Elektronen- und Protonenstrahlen gemessen. (B. Rudek, FB 6.5, benedikt.rudek@ptb.de, M. Bug, FB 6.5, marion.bug@ptb.de)

### **Fragmentierung von Methanol und Tetrahydrofuran bei Elektronen- und Protonenbestrahlung**

Absolute Fragmentierungsquerschnitte für den Aufbruch von Methanol und Tetrahydrofuran bei Elektronen- und Protonenbestrahlung wurden gemessen. (B. Rudek, FB 6.5, benedikt.rudek@ptb.de)

### **Abschluss der Bestimmung von Wirkungsquerschnitten für Ionisationswechselwirkung von DNS-Bausteinen für Protonenstoß**

Differentielle und totale Wirkungsquerschnitte für die Ionisierung von unterschiedlichen DNS-Bausteinen durch Protonenstoß wurden mittels Elektronenspektroskopie experimentell bestimmt. (M. Wang, FB 6.5, mingjie.wang@ptb.de)

### **Bestimmung der dosimetrisch sensitiven Volumina kommerzieller Detektoren für die Dosimetrie in der Strahlentherapie mittels des Protonen-Mikrostrahls der PTB**

Die Strahlentherapie stellt neben der Operation und der Chemotherapie eine Hauptform der Krebstherapie dar. Ein Großteil der strahlentherapeutischen Behandlungen wird mit klinischen Linearbeschleunigern durchgeführt, die Photonenstrahlung mit Maximalenergien im Bereich von 6 MeV bis 18 MeV erzeugen. (D. Poppinga, AG Medizinische Strahlenphysik, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, daniela.poppinga@uni-oldenburg.de, D. Harder, Medizinische Physik und Biophysik, Georg August Universität, Göttingen, Dietrich-Harder@t-online.de, U. Giesen, FB 6.5, ulrich.giesen@ptb.de)

### **Metrologie für die Wirtschaft**

#### **Alphaspektrometrie unter definiertem Raumwinkel zur Darstellung der Aktivitätseinheit**

Mit der wieder in Betrieb genommenen und erweiterten Messeinrichtung zur Alphaspektrometrie unter definiertem Raumwinkel können Quellen alphastrahlender Radionuklide kalibriert werden, die durch elektrolytische Abscheidung auf kreisrunden Probenträgern hergestellt wurden. Ein vollständig neues Alphaspektrometer mit Schnellwechsellösung für kurzlebige Nuklide wurde konzipiert, konstruiert und gebaut (6.1, 6.4, 5.5). (S. Röttger, FB 6.1, stefan.roettger@ptb.de)

#### **PTB stärkt die Bauartprüfung nach Röntgenverordnung**

Um der durch das neue Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) in 2018 zukünftig auf die PTB zukommenden Verantwortung gerecht zu werden, modernisiert die PTB den Bereich der Bauartprüfung nach RöV. Ein Schwerpunkt ist dabei die funktionale Sicherheit, d. h. die Neuausrichtung des Leitfadens Dos-49 für Hersteller und Gutachter nach DIN EN 62061. (A. Röttger, FB 6.3, annette.roettger@ptb.de)

### **Metrologie für die Gesellschaft**

#### **Aktivitätsbestimmungen von Germanium-68/Gallium-68 – ein Beitrag für die Nuklearmedizin**

Die Bestimmungen der Aktivität einer Germanium-68/Gallium-68-Lösung konnte mittels einer neuen Koinzidenzmethode mit kleinen Unsicherheiten realisiert werden. Die Messungen erfolgten im Rahmen einer internationalen Vergleichsmessung und spielen auch für die Medizin eine große Rolle, da Germanium-68/Gallium-68 dort oft für

Kalibrierzwecke genutzt wird. (K. Kossert, FB 6.1, karsten.kossert@ptb.de)

#### **Kommissionierung eines Elektromagneten für dosimetrische Grundlagenuntersuchungen in der MR-geführten Strahlentherapie**

Für dosimetrische Grundlagenuntersuchungen im Rahmen der MR-geführten Strahlentherapie, wie z. B. die Bestimmung des Ansprechvermögens dosimetrischer Detektoren im Magnetfeld oder des Einflusses des Magnetfeldes auf die 3-dimensionale Dosisverteilung im Phantom, wurde ein starker Elektromagnet beschafft. Er kann bei einem Polschuhdurchmesser von ca. 25 cm und einem Polschuhabstand von 10 cm eine magnetische Flussdichte von mehr als 1 T erzeugen. Zur genauen Charakterisierung der Eigenschaften des erzeugten Magnetfeldes wurde ein Messstand (inkl. der zugehörigen Software) aufgebaut, der eine automatisierte Messung der magnetischen Flussdichte mithilfe einer Hall-Sonde an beliebigen Positionen zwischen den Polschuhen und in der Umgebung des Magneten (Streufeld) ermöglicht. Mit diesem Messstand wurden z. B. die räumliche Verteilung der magnetischen Flussdichte in verschiedenen Ebenen zwischen den Polschuhen des Magneten, die Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte von der elektrischen Stromstärke oder die Langzeitstabilität der magnetischen Flussdichte bei Dauerbetrieb des Elektromagneten bestimmt. Diese Informationen werden für die in Zukunft geplanten dosimetrischen Grundlagenuntersuchungen benötigt. (R.-P. Kapsch, FB 6.2, ralf-peter.kapsch@ptb.de)

#### **Quantifizierung der Bildqualität am CT mittels „task specific quality assessment“**

In einem gemeinsamen Forschungsvorhaben der beiden Abteilungen *Ionisierende Strahlung* und *Medizinphysik* soll die Qualität von Bildern am CT quantifiziert werden. Ziel ist es, eine bessere Beurteilung und Vergleichbarkeit unterschiedlicher Geräte und Rekonstruktionsverfahren zu ermöglichen. Basis für die Beurteilung sind sogenannte „model observer“, die eine automatische Klassifikation von Bildern durchführen. In einem ersten Schritt des Vorhabens werden Unsicherheitsanalysen für die Güte dieser Verfahren durchgeführt und mittels realer Messungen erprobt. (M. Anton, FB 6.2, mathias.anton@ptb.de, M. Reginatto, FB 6.4, marcel.reginatto@ptb.de, C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

### Personalisierte Dosimetrie in der CT

Das kürzlich angelaufene EMPIR-Projekt 15HLT05 mit dem Titel „Metrology for multi-modality imaging of impaired tissue perfusion“ befasst sich mit der Metrologie für die quantitative Analyse von Durchblutungsstörungen der Herzkranzgefäße mit unterschiedlichen bildgebenden Verfahren zur Früherkennung von koronaren Herzerkrankungen. Neben anderen bildgebenden Verfahren werden auch Computertomografen für derartige Perfusionsstudien verwendet. Dabei soll die nicht unerhebliche Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich gehalten werden. Dazu ist eine präzise Bestimmung der effektiven Dosis des Patienten wichtig. Ein Arbeitspaket dieses Projektes beschäftigt sich daher mit der personalisierten Dosimetrie in der CT mit dem Ziel, die Unsicherheiten in der Bestimmung der effektiven Dosis des Patienten deutlich zu verringern. Diese Thematik wird unter Leitung der PTB zusammen mit den anderen europäischen Partnern bearbeitet. (S. Rosendahl, FB 6.2, stephan.rosendahl@ptb.de)

### PTB-Referenzfelder zur Prüfung von Dosimetern in gepulsten Röntgen-Strahlungsfeldern erfüllen die Anforderungen der neuen ISO/TS 18090-1

Nach Erscheinen der ISO/TS 18090-1 im August 2015 wurde die Anlage der PTB zur Prüfung von Dosimetern in gepulsten Röntgen-Strahlungsfeldern (20 keV bis 100 keV) anhand dieser Anforderungen noch einmal charakterisiert und überprüft. Dabei wurde der Parameterbereich (400  $\mu$ s bis 10 s) ermittelt, in dem die Anlage gemäß dieser Spezifikation als Referenzanlage für gepulste Röntgen-Strahlung gilt. (S. Friedrich, FB 6.3, sabrina.friedrich@ptb.de; O. Hupe, FB 6.3, oliver.hupe@ptb.de)

### Messvergleich von Augendosimetern

Es wurde ein Messvergleich für Augenlinsendosimeter für die Messgröße  $H_p(3)$  durchgeführt – erstmalig mit sowohl Photonen- als auch Betastrahlung. (R. Behrens, FB 6.3, rolf.behrens@ptb.de)

### Dosimetrie für die Brachytherapie in der PTB neu aufgestellt

Das Gebiet der Dosimetrie für die Brachytherapie für Photonenstrahlung in der PTB ist seit Januar 2016 neu aufgestellt. Standard-Kalibrierangebote und neue Forschungsbereiche werden sowohl von erfahrenem als auch von neuem Personal bearbeitet. (R. Behrens, FB 6.3, rolf.behrens@ptb.de)

### Messungen des Sekundärneutronenfeldes an der OncoRay-Protonentherapieeinrichtung in Dresden

Bei der Protonentherapie ist der Patient einer Sekundärstrahlung aus Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen ausgesetzt. Neutronenstrahlung kann dabei den größten Beitrag zur Dosis außerhalb des Zielvolumens liefern. Insbesondere bei pädiatrischen Behandlungen und der Bestrahlung von Schwangeren ist diese Dosis von Bedeutung, da die Schädigung gesunden Gewebes Sekundärtumore induzieren kann. Um das Risiko für die Entstehung von Sekundärtumoren einschätzen zu können, ist es daher wichtig, die bei der Bestrahlung entstehende zusätzliche Dosis möglichst genau zu kennen. In einer Kollaboration mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) hat die PTB Messungen der Neutronenenergieverteilungen an der OncoRay-Protonentherapieeinrichtung in Dresden (Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden) durchgeführt. Die Messungen werden genutzt, um Computersimulationsrechnungen zu validieren, die die Basis für die Bestimmung der Neutronendosis im Patienten bilden. (M. Reginatto, FB 6.4, marcel.reginatto@ptb.de)

### Projekt zum Aufbau eines direkt anzeigenden Astronautendosimeters erfolgreich abgeschlossen

Der Franzose Thomas Pesquet nutzt als erster Astronaut ein mobiles Dosimeter, das die Strahlungsdosis sofort anzeigt – entwickelt von der PTB und europäischen Partnern. (M. Luszik-Bhadra, FB 6.4, marlies.luszik-Bhadra@ptb.de)

### Internationale Angelegenheiten

#### Neue Messgrößen im Strahlenschutz?!

Die ICRU bereitet im Rahmen des *Report Committee 26 on Operational Radiation Protection Quantities for External Radiation* ein neues Konzept für die Definition der Messgrößen des Strahlenschutzes vor. Rolf Behrens wurde als Member in 2016 berufen. (R. Behrens, FB 6.3, rolf.behrens@ptb.de)

#### Großer Messvergleich im Rahmen eines EMRP-Projektes durchgeführt

Teilnehmer aus sieben Ländern, unter ihnen Netzbetreiber aus fünf Staaten, brachten im Rahmen des EMRP-Projekts *MetroERM radiological early warning* ihre Dosimeter zu Testzwecken zur PTB. In diesem Messvergleich wurden grundlegende metrologische Parameter der Dosimeter bestimmt. (H. Dombrowski, FB 6.3, harald.dombrowski@ptb.de, S. Neumaier, FB 6.1, stefan.neumaier@ptb.de, A. Röttger, FB 6.3 annette.roettger@ptb.de)

### **Kleinbeschleuniger für Ionen und Molekülfragmente für Energien von 3 eV bis 1000 eV**

Zur Untersuchung geeigneter Oberflächen für die Konversion langsamer Ionen zu Elektronen für das neue Tracking-Imaging-Nanodosimeter wurde ein Kleinbeschleuniger aufgebaut. Er erzeugt selektierte Ionen im Energiebereich 3 eV bis 1000 eV und ermöglicht die systematische Suche nach geeigneten Konvertermaterialien. (V. Dangendorf, FB 6.5, volker.dangendorf@ptb.de)