

H. Wershofen, D. Arnold, O. Nähle, K. Kossert, S. Röttger, D. Zapata-Garcia

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
 Leitstelle für Aktivitätsnormale und Radionuklidaten (Leitstelle B)

Das Mutual Recognition Arrangement (MRA) unter der Schirmherrschaft des Comité International des Poids et Mesures (CIPM) ist eine weltweite Vereinbarung zur länderübergreifenden gegenseitigen Anerkennung von Kalibrierzertifikaten nationaler metrologischer Institute für alle kommerziell oder gesellschaftlich relevanten Messgrößen. Das Abkommen dient dem Abbau von Handelshemmnissen und fordert von den Teilnehmern neben dem Nachweis eines Qualitätsmanagement-Systems auch die Teilnahme an Vergleichsmessungen. Um den Anforderungen des MRA nachzukommen, beteiligt sich auch die PTB als Nationales Metrologie Institut (NMI) Deutschlands regelmäßig an internationalen Vergleichsmessungen, die von dem in Paris angesiedelten Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) organisiert werden.

Zentrale Aufgabe des Fachbereiches „Radioaktivität“ der PTB ist die Darstellung der gesetzlichen Einheit „Becquerel“ (Bq) sowie deren Weitergabe an Forschungsinstitute, Kliniken, Industriebetriebe sowie an die Messstellen zur Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt. Auf Grund der stark unterschiedlichen Zerfallseigenschaften erfordert jedes Radionuklid seine eigenen Messverfahren zur Aktivitätsbestimmung, für die in der PTB geeignete Apparaturen zur Verfügung stehen. Die Weitergabe der Aktivitätseinheit erfolgt überwiegend durch die Abgabe von Aktivitätsnormalen [1] und durch Aktivitätsbestimmungen an eingereichten Proben.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Fachbereichs „Radioaktivität“ ist die Bestimmung von Radionuklidaten, insbesondere von Betaspektren, Emissionswahrscheinlichkeiten und Halbwertszeiten. Bei vielen Nukliden kann die Halbwertszeit durch die Messung des Abklingverhaltens z. B. mit 4π -Ionisationskammern oder Flüssigszintillationszählern bestimmt werden. Dazu müssen Anforderungen wie ein stabiler und gegenüber dem Nettoeffekt möglichst geringer Untergrund, die genaue Kenntnis von evtl. vorhandenen Verunreinigungen durch weitere Radionuklide und ein linearer Zusammenhang zwischen der Aktivität und der Messgröße gegeben sein. Durch den Einsatz des in der PTB entwickelten UCLA [2] zur Messung kleiner Ströme an Ionisationskammern konnten hier deutliche Verbesserungen erreicht werden.

In der PTB werden fortlaufend Halbwertszeiten in einem Bereich von wenigen Stunden bis hin zu einigen Jahrzehnten mit relativen Unsicherheiten in der Größenordnung von 10^{-4} bestimmt.

Im Berichtszeitraum wurden neue Primärnormalmessmethoden zur genauen Aktivitätsbestimmung von ^{225}Ac und ^{227}Th entwickelt [3], [4], [5]. Im Rahmen dieser Arbeiten konnten die Halbwertszeiten dieser beiden Radionuklide sowie die der Folgeprodukte ^{213}Po , ^{213}Bi und ^{209}Pb mit kleinen Unsicherheiten neu bestimmt werden. Die Anwendung von ^{225}Ac für nuklearmedizinische Anwendungen in der Therapie ist derzeit Thema einer Reihe von Studien.

Bei den genannten Radionukliden wurde die Flüssigszintillationszählung (LSC) zur Aktivitätsbestimmung verwendet [6]. Die LSC-Methoden spielen in der Radionuklidmetrologie eine besonders wichtige Rolle und eignen sich auch gut zur Aktivitätsbestimmung von reinen Betastrahlern oder Elektroneneinfängern, wobei hierbei grundlegenden Nuklidaten wie der Form des β -Spektrums eine besonders hohe Bedeutung zukommt [7]. Um solche fundamentalen Daten zu bestimmen, beteiligt sich die PTB in großem Umfang an internationalen Projekten, um die Datenbasis zu verbessern. Dabei werden kryogene Kalorimeter (metallic magnetic calorimeters, MMC) eingesetzt, die in einem Temperaturbereich unter 20 mK arbeiten und die in einem Goldabsorber deponierte Energie aus dem radioaktiven Zerfall als Temperaturerhöhung messen. Diese führt zu einer Änderung der Magnetisierung in einem Sensor, die durch hochpräzise Messungen mittels SQUIDs (superconducting quantum interference device) gemessen werden kann. Hieraus können Energiespektren mit bisher unerreichter Energieauflösung rekonstruiert werden. Arbeiten zu diesem ehrgeizigen Projekt im Bereich der Grundlagenforschung haben im Sommer 2016 begonnen und werden im Rahmen von drei geförderten EM-PIR-Projekten bearbeitet. Hierbei werden Betaspektren und Elektroneneinfangwahrscheinlichkeiten von insgesamt acht relevanten Nukliden bestimmt [8], [9].

Weitere Modernisierungen der Messtechnik durch die Eigenentwicklung eines LSC-Counters und den verstärkten Einsatz von Digitizern bei der

Datenaufnahme ermöglichen eine stetige Erweiterung und Verbesserung der Absolutmethoden zur Aktivitätsbestimmung, z. B. auch an den Koinzidenzmessplätzen.

Im Rahmen des EMPIR-Projektes "MetroRADON" ist die Entwicklung von definierten ^{222}Rn -Emanationsquellen, speziell für die aktuell erforderlichen niedrigen Aktivitätskonzentrationsbereiche in Raumluft von 100 Bq/m^3 bis 300 Bq/m^3 , vorangetrieben worden. Unterschiedliche Verfahren zur Herstellung dieser Quellen wurden untersucht (Tropfdeposition, Chemiesorption, Elektrodeposition, Aufdampfen und massenseparierte Ionenimplantation). Die unterschiedlichen Verfahren eignen sich zur Herstellung von Quellen mit unterschiedlichen $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Th}$ Aktivitäten und unterschiedlichem Emanationsverhalten. Auch die Abhängigkeit der Emanation der Quellen von Umweltparametern, wie Temperatur, Luftdruck oder relativer Luftfeuchte, ist unterschiedlich. Deshalb wurde im Rahmen von MetroRADON ebenfalls ein aktives, portables Überwachungssystem zur Online-Bestimmung der Emanationseigenschaften der unterschiedlichen Quellen mittels Szintillationsdetektoren entwickelt und aufgebaut. Dabei wird die γ -Aktivität des Mutternuklids der Quelle und der in der Quelle verbliebenen Töchternuklide bestimmt und aus der Abweichung zum radioaktiven Gleichgewicht die Emanation des Radons bestimmt. Zur exakten Lösung dieses zeitlich gestörten Systems aus gekoppelten Differentialgleichungen wurde ein numerisches Verfahren auf der Basis eines Kalmanfilters entwickelt, um auch außerhalb von stationären Phasen die Abgabe von Radongas in das Kalibriervolumen bestimmen zu können. Damit ist ein erheblicher Fortschritt für die metrologische Nutzung von Emanationsquellen erreicht worden. Folgt das Emanationsverhalten einer eigenen Dynamik, so stellt die Messgröße die Faltung dieses dynamischen Signals mit der Impulsantwort des radioaktiven Systems dar. Damit handelt es sich bei der Schätzung des emanierenden ^{222}Rn auf Basis der Messung des sich in der Quelle befindlichen ^{222}Rn um ein inverses Problem. Mit Hilfe dieser Erkenntnis wurden neue statistische Methoden auf der Basis des Bayesschen Filters (Kalman Filter, Assumed density filtering [10]) entwickelt, die in Zukunft erlauben aus einer Zeitreihe von spektrometrischen Daten eine angenäherte Wahrscheinlichkeitsverteilung für das emanierende ^{222}Rn zu berechnen, bevor das radioaktive Gleichgewicht erreicht wurde. Zugleich wird die Wahrscheinlichkeit dafür ermittelt, dass sich die Quelle aktuell in einem stabilen Regime befindet. **Abbildung 1.1** zeigt beispielhaft Rohdaten, ge-

wonnen aus gemessenen γ -Spektren einer ^{226}Ra -Quelle, die aus diesen Daten geschätzte Aktivität des in der Quelle verbliebenen ^{222}Rn und des emanierten ^{222}Rn sowie die Wahrscheinlichkeit für stabile Regime. Dabei wurden für die Analyse für jeden Zeitpunkt nur Daten verwendet, die bis zu diesem Zeitpunkt vorgelegen haben - dadurch eignet sich das Verfahren auch für den Online-Einsatz.

Eine Fortsetzung dieses erfolgreichen Metrologieprojektes stellt das im Jahr 2020 gestartete und im Rahmen von EMPIR als 19ENV01 geförderte Projekt traceRadon¹ dar. Hierbei wird der Schritt von der bereits niedrigen Raumluftaktivitätskonzentration zu der noch um Größenordnungen niedrigeren Außenluftaktivitätskonzentration vollzogen. Dieser Schritt ist für zwei sehr große und bisher völlig getrennt agierende Forschungsgebiete von großer Bedeutung. Und zwar sowohl für den Strahlenschutz, genauer gesagt die Umweltradioaktivität, als auch für die Atmosphären- bzw. Klimaforschung, für die Radon als ausgezeichneter Tracer für die treibhausrelevanten Klimagase, wie z. B. CO_2 , CH_4 und N_2O fungiert. Im Rahmen von traceRadon ist die PTB in den kommenden drei Jahren mit der Weiterentwicklung der Radon- und Thoron-Emanationsquellen sowie der Rückführung und Vergleichsmessung für die Außenluftaktivitätskonzentration und den Radonfluss aus dem Boden eingebunden.

Erste vielversprechende Entwicklungen in diesem Projekt sind Detektor-Emanationsquellen-Kombinationen mit Aktivitäten von wenigen Becquerel. Für die exakte Bestimmung der niedrigen ^{226}Ra -Aktivität ist eine sehr effiziente Alphaspektrometrie unter definiertem Raumwinkel notwendig. Auch für die Online-Bestimmung der Variation der Emanation der Quelle wird ein sehr effizienter Nachweis des ^{226}Ra sowie der Folgeprodukte des ^{222}Rn benötigt. Dieses wird durch die direkte Kombination der Quelle mit einem alphaspektrometrischen Detektor erreicht. Zum ersten Mal ist dieses, durch thermisches Aufdampfen (PVD) von ^{226}Ra auf einen ionenimplantierten Siliziumdetektor, gelungen.

Dabei wurden $150 \text{ Bq } ^{226}\text{RaCl}_2$ direkt auf die Totschicht des Detektors aufgedampft. Damit ist der

¹ Das Projekt traceRadon wurde aus dem EMPIR-Programm, das von den teilnehmenden Staaten kofinanziert wird, und aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm "Horizont 2020" der Europäischen Union finanziert. 19ENV01 traceRadon bezeichnet die EMPIR-Projektreferenz.

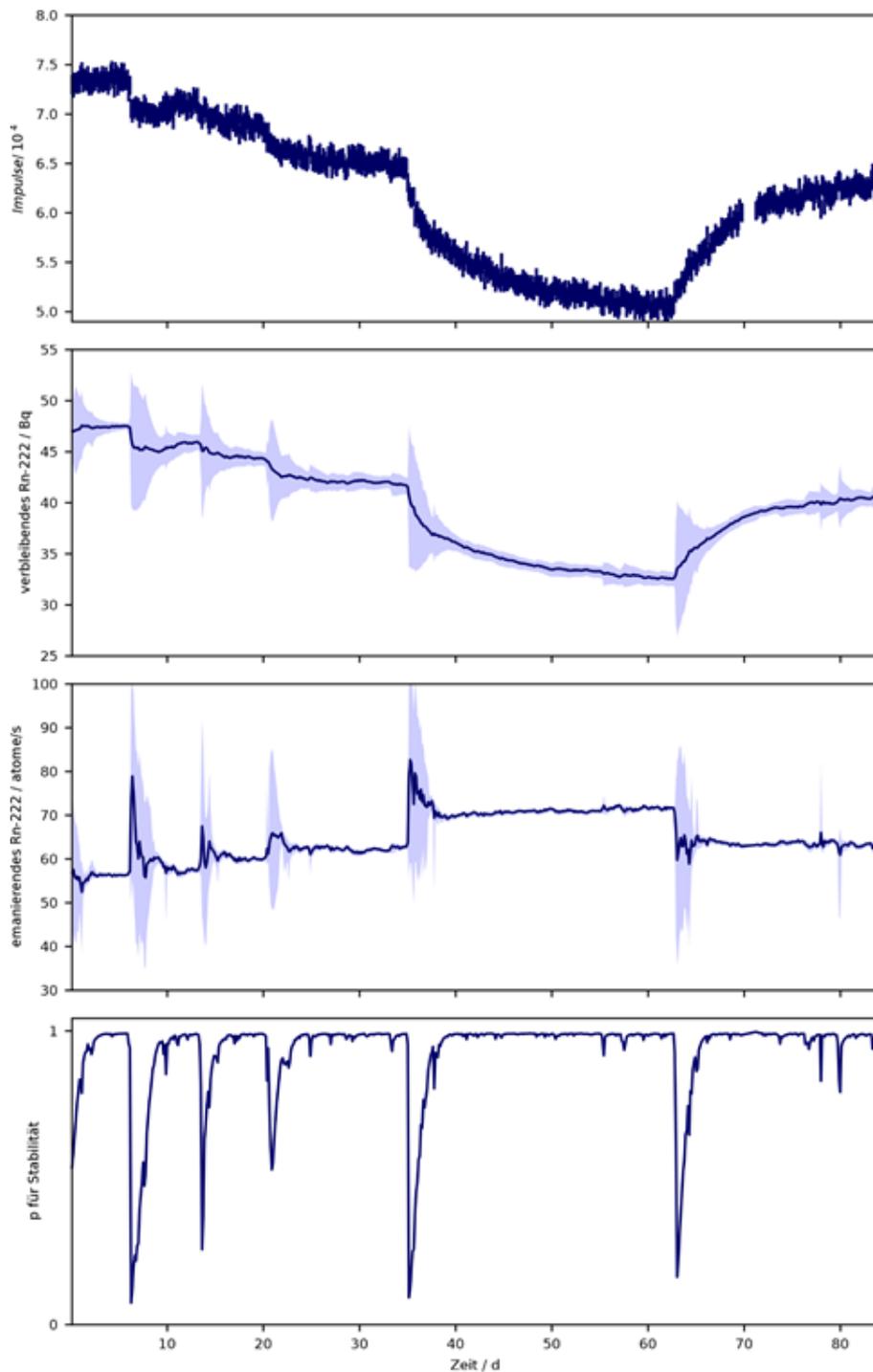


Abbildung 1.1

Quelle: Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Das oberste Diagramm zeigt die integrale Zählrate oberhalb der höchstenergetischen ²²⁶Ra-Energie ($E_\gamma = 186,1$ keV). Diese Zählrate enthält nur noch Ereignisse von ²²²Rn und seinen Folgeprodukten. Die Variation der Zählraten ist durch Variation von Umweltparametern bedingt.

Die nächste Graphik zeigt die damit bestimmte verbleibende ²²²Rn-Aktivität in Bq in der Quelle. Der blauschattierte Streifen markiert das 90% Konfidenzintervall der Unsicherheit.

Die dritte Graphik zeigt die äquivalente Darstellung des emanierenden ²²²Rn in Atomen pro Sekunde aus der Quelle - die eigentlich zu bestimmende Größe.

Die unterste Graphik stellt die Wahrscheinlichkeit für die Stabilität der Emanation der Quelle über einen Zeitraum von knapp 100 Tagen dar.

Detektor selbst die Quelle des ^{222}Rn , welches im Wesentlichen durch Rückstoß aus dem Zerfall des ^{226}Ra emaniert. Gleichzeitig ist er spektrometrischer Detektor für die entstehende Alphastrahlung sowohl des ^{226}Ra als auch des ^{222}Rn und dessen Folgeprodukten, mit einer Nachweiswahrscheinlichkeit von annähernd 50%. Das erstmalig

mit einer Quelle-Detektor-Kombination aufgenommene Alphaspektrum ist in [Abbildung 1.2](#) zu sehen. Dargestellt ist die Impulshöhenverteilung über der Energie der α -Teilchen. Auf Grund ihrer Energie identifiziert man ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po und ^{214}Po .

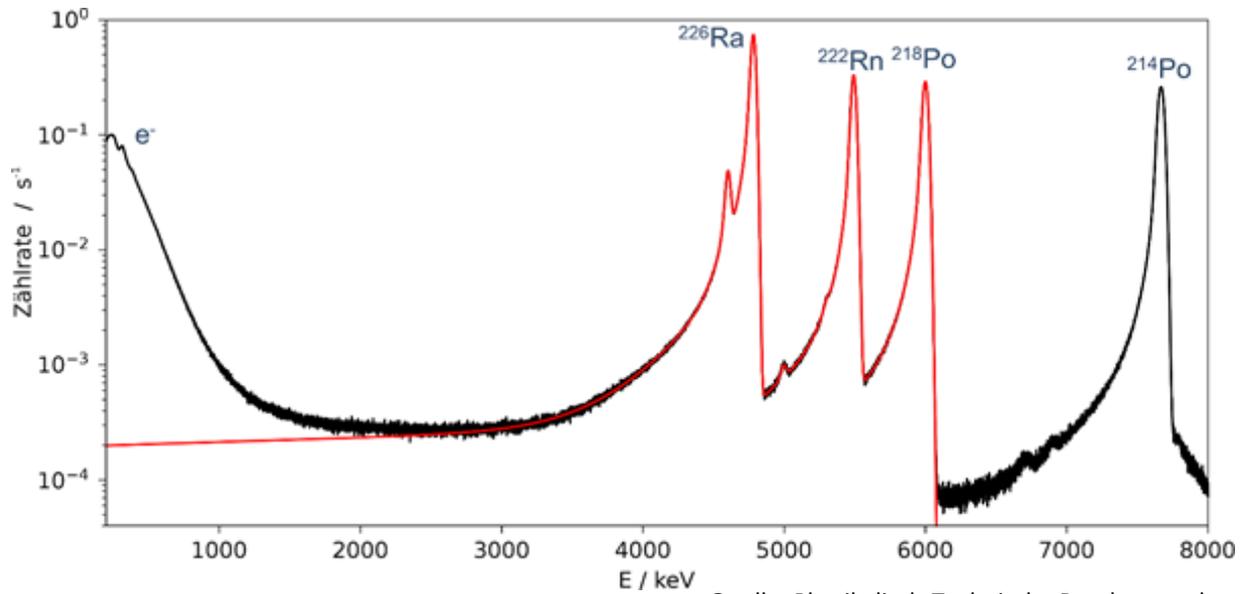


Abbildung 1.2

Alphaspektrum einer Quelle-Detektor-Kombination zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufs sehr geringer ^{222}Rn -Emanationen. Das schwarze Histogramm zeigt die Häufigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Energie der α -Teilchen. Die rote Linie zeigt die optimierte Anpassung eines um einen exponentiellen Tail erweiterten, gaußförmigen Peaks pro Linie. Die erzielte Halbwertsbreite (FWHM) der Gaußverteilungen beträgt $\text{FWHM} = 40 \text{ keV}$.

Die Methode der α -Zählung unter definiertem Raumwinkel, eine Absolutmethode zur Bestimmung der Aktivität offener, Alphateilchen emittierender radioaktiver Quellen, ist nicht nur wieder in das Leistungsangebot aufgenommen worden, sondern wird in Richtung α -Spektrometrie unter definiertem Raumwinkel weiterentwickelt und verbessert.

Ziel ist hierbei neben der Bestimmung der Aktivität mit kleinstmöglicher Unsicherheit auch gleichzeitig die radioaktiven Verunreinigungen zu erkennen und Isotopengemische genauer zu charakterisieren. Dieser erweiterte Anspruch stellt eine neue metrologische Qualität dar, die eine verbesserte spektrometrische Auflösung und komplexe Auswerte-Algorithmen erfordert.

Die Bestimmung von Emissionsraten und Aktivitäten radioaktiver Quellen alphastrahlender Nuklide erfolgt durch die Messung der pro Zeit auf einen Detektor mit bekanntem Raumwinkel auf-

treffenden Alphateilchen. Aktuell werden relative Standard-Messunsicherheiten von 0,3% erreicht. Diese Art der Aktivitätsbestimmung ist eine Absolutmethode in dem Sinne, dass zur Bestimmung aller notwendigen Kalibrierfaktoren nur Messungen notwendig sind, die auf den Basiseinheiten unseres Einheitensystems beruhen. Das sind in diesem Falle Zeit- und Längenmessungen.

Derzeit laufen die Weiterentwicklung der bestehenden Apparaturen sowie die Optimierung des Energie-Auflösungsvermögens der Detektorsysteme. Bei der Neukonstruktion liegt der Schwerpunkt auf der Reduzierung der Messunsicherheit. Diese ist im Wesentlichen bestimmt durch die Unsicherheiten von Längenmessungen. Durch eine Vergrößerung der Messapparatur lassen sich die relativen Unsicherheiten dieser Längenmessungen deutlich reduzieren. Konstruktiv ist dieses Verfahren durch die maximale Größe des Detektors begrenzt. Bezüglich der aktiven Fläche wird durch den Einsatz von Detektoren der neuesten

Generation (Oberfläche von 5000 mm²) eine Verbesserung um mehr als einen Faktor 10 erreicht. Daneben wird die neue Apparatur Maßnahmen zur Reduzierung des Nulleffekts enthalten und einen schnellen Quellwechsel ermöglichen. Damit eröffnet sich eine Möglichkeit im Bereich der kurzlebigen Nuklide neben Aktivitäts- auch Halbwertszeitbestimmungen vorzunehmen.

Ein Beispiel für die neuartigen Untersuchungsmöglichkeiten stellt die Bestimmung der Zusammensetzung einer ²³³U-Quelle, für eine neue Generation optischer Atomuhren auf der Basis eines ²²⁹Thorium-Kernübergangs per Alpha-Spektrometrie, dar.

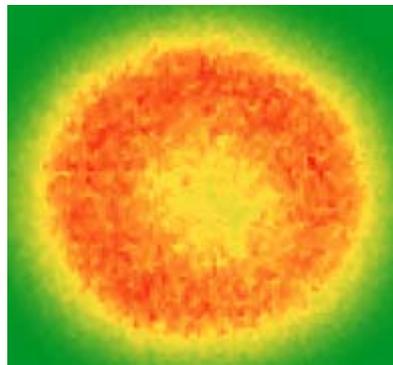
Die Entwicklung dieser neuen Generation optischer Atomuhren betreibt die Abteilung 4 der PTB. Für die angestrebte Realisierung noch geringerer Unsicherheiten wird eine Quelle von ²²⁹Th-Ionen benötigt. Eine Möglichkeit ²²⁹Th-Ionen zu produzieren ist, diese als Rückstoßionen aus dem Alpha-Zerfall des ²³³U zu gewinnen. Eine erste Analyse einer am Institut für Kernchemie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz hergestellten Quelle erfolgte per Alpha-Spektrometrie unter definiertem Raumwinkel. Dabei wird untersucht, ob sich außer ²³³U weitere radioaktive (α -emittierende) Isotope in der Quelle befinden. Diese Isotope stellen auf Grund ihres α -Zerfalls und des damit verbundenen Rückstoßes der

Tochterisotope eine Quelle weiterer Nuklide dar, was wiederum eine Quelle für einen erhöhten Untergrund bei der Separation des ²²⁹Th für die Experimente darstellt.

An der Universität in Mainz wurde ²³³U elektrolytisch auf einem titanbeschichteten Siliziumwafer abgeschieden. Der Siliziumwafer mit einem Durchmesser von 30 mm und einem Loch von 6 mm Durchmesser in der Mitte wurde in der PTB mit Hilfe von Alphaspektrometrie unter definiertem Raumwinkel und in der Gammaspektrometrie vermessen. Dafür wurde auch eine Autoradiographie der Quelle erstellt (Abbildung 1.3).

Aus der Impulshöhenverteilung des gemessenen Spektrums wurden durch Minimierung der Abweichung der Einzellinien unter Berücksichtigung der Kerndaten die identifizierten Nuklide sowie deren Aktivität bestimmt. Abgesehen von den Linien des ²³³U sind die Linien des ersten Folgeproduktes ²²⁹Th zu finden. Als Verunreinigungen identifiziert wurden ²³²U und seine Folgeprodukte, wie ²²⁸Th und ²²⁴Ra bis hin zum ²¹²Po.

Unter den weiteren bereits detektierten Verunreinigungen sind verschiedene Plutoniumisotope wie ²³⁸Pu, ²⁴⁰Pu und ²⁴²Pu. Diese Isotope konnten mit der gammaspektrometrischen Messung dieser Quelle bestätigt werden.



Quelle: Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Abbildung 1.3

Autoradiographie der ²³³U-Quelle mit 30 mm Durchmesser und einem Loch in der Mitte auf einem Ti-beschichteten Si-Wafer. Die Aktivitätsskala läuft von grün (Untergrund) über gelb bis rot (höchste Aktivität). Die Autoradiographie ist notwendig, um die Geometriekorrekturfaktoren für die Alphaspektrometrie dieser speziellen Quelle unter definiertem Raumwinkel auswerten zu können.

Die γ -Spektrometrie-Messplätze werden modernisiert und weiterentwickelt. Hierzu zählen die Umrüstung auf Wiederverflüssigungsdeware sowie die Umstellung auf schnellere digitale Messaufnahmesysteme. Auf vermehrte Kundenanfragen nach höheren Aktivitäten reagiert die PTB, indem das Leistungsangebot mittels eines neuen

Messplatzes erweitert wird, der speziell für hohe Aktivitäten ausgelegt wird.

Im Rahmen der Digitalisierung in der Metrologie laufen Bestrebungen, Methoden der künstlichen Intelligenz für die Spektrometrie zu nutzen. So werden z. B. Convolutional Neural Networks (CNN) zur Nuklididentifikation erprobt oder in

Kombination mit Monte-Carlo-Simulation zur Entfaltung von Spektren verwendet.

In diesem Zusammenhang wurde eine Methode entwickelt, um radioaktive Mischlösungen direkter zu charakterisieren. Die Aktivitätsbestimmung von Mischlösungsstandards erfolgt ausschließlich über γ -Spektrometrie, da primäre Methoden die Nuklide nicht aufgelöst messen können. Will man die kleinen Unsicherheiten der primären Methoden auch für Mischlösungen erreichen, benötigt man eine möglichst direkte Methode ohne weitere zusätzliche Unsicherheitsbeiträge.

Zu diesem Zweck wurde ein neues Bayes-basiertes Verfahren entwickelt. Es beruht auf der Messung der Spektren der Ausgangslösung und der zu bestimmenden Mischlösung in exakt gleicher Geometrie.

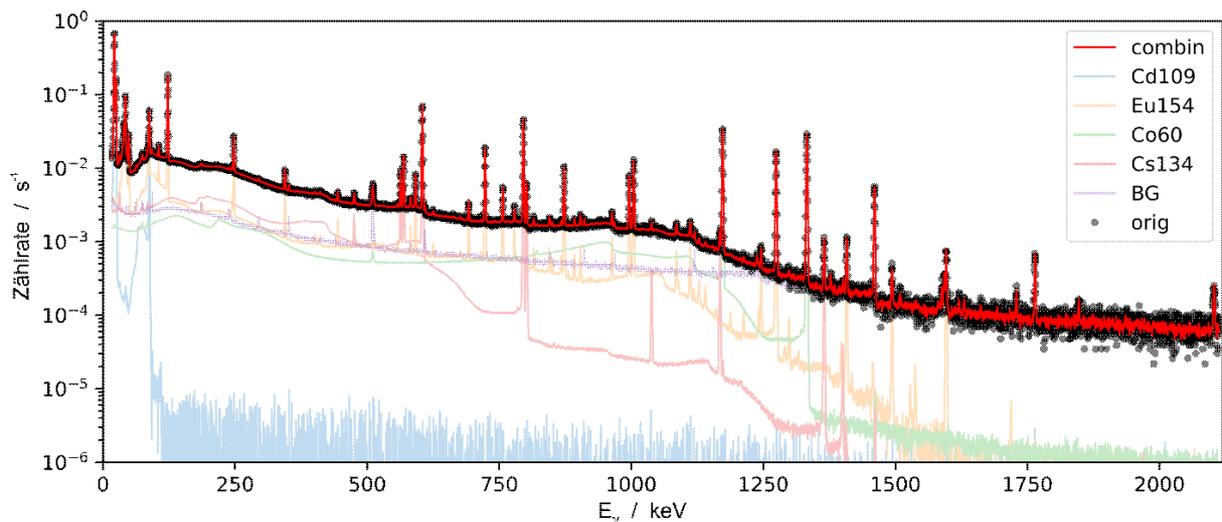
Durch gleichzeitiges *Rebinning* der Spektren sowie multivariate gauß'sche Optimierung (Minimierung) der Abweichung der Spektren werden Aktivitätstransferfaktoren bestimmt.

Die Unsicherheitsverteilungen dieser Aktivitäten sollen zukünftig mittels Markov-Chain Monte-Carlo bestimmt werden.

Abbildung 1.4 zeigt das Histogramm des γ -Spektrums einer Mischlösung (schwarze Punkte) in Abhängigkeit von der Energie der γ -Quanten. Die Einzelnuklidspektren (^{109}Cd , ^{154}Eu (^{155}Eu), ^{60}Co , ^{134}Cs), aus denen sich die Mischlösung zusammensetzt, sind als blasse Histogramme dargestellt. Die optimierte, digitale Kombination dieser Spektren ist zum Vergleich als intensives rotes Histogramm abgebildet.

In Abbildung 1.5 ist ein Ausschnitt aus diesem Spektrum für den besonders interessanten Energiebereich um die Hauptlinie des ^{109}Cd bei $E_\gamma = 88,03 \text{ keV}$ dargestellt.

Man erkennt, dass sowohl der nicht konstante Untergrund als auch die nur mit sehr geringer Zählrate vorhandene Linie des ^{155}Eu ($E_\gamma = 86,55 \text{ keV}$, $pg = 0,307$) zu einer perfekten Anpassung führen, obwohl ^{155}Eu hier nur eine Verunreinigung der ^{154}Eu -Einzelnuklidlösung ist.



Quelle: Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Abbildung 1.4

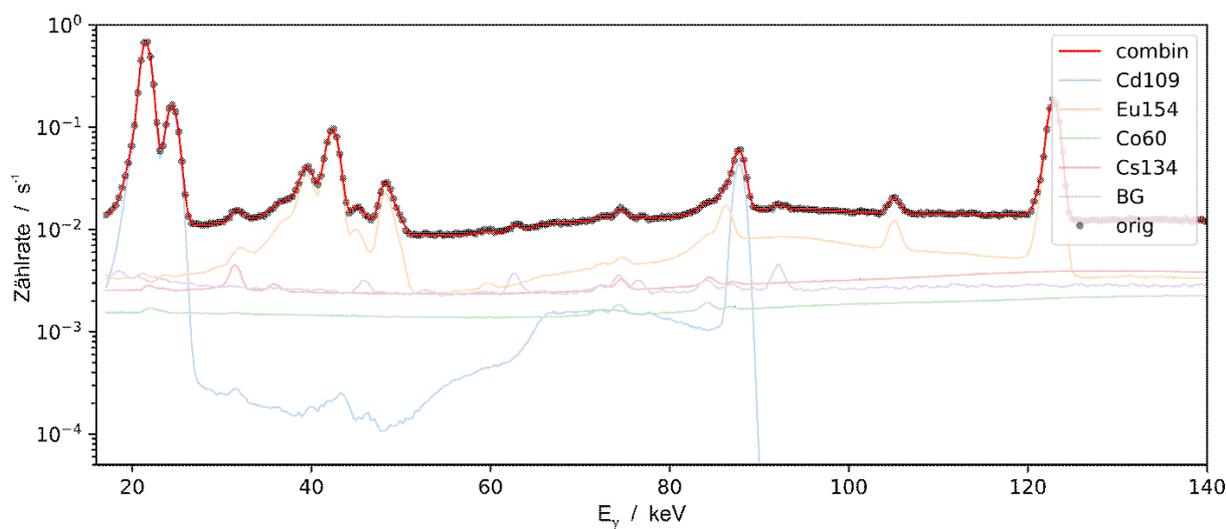
Histogramm des γ -Spektrums der Mischlösung (schwarze Punkte) in Abhängigkeit von der Energie der γ -Quanten. Die Einzelnuklidspektren (^{109}Cd , ^{154}Eu (^{155}Eu), ^{60}Co , ^{134}Cs), aus denen sich die Mischlösung zusammensetzt, sind als blasse Histogramme dargestellt. Die optimierte, digitale Kombination dieser Spektren ist zum Vergleich als intensives rotes Histogramm abgebildet.

Referenzmaterialien

Die Weitergabe der Einheit für Aktivitäten kleiner als 100 Bq erfolgt überwiegend durch Aktivitätsbestimmungen an eingereichten Proben. Bei diesen Proben handelt es sich um Umweltmaterialien (z. B. Wasser, Boden, Sediment, Pflanzen, Nahrungsmittel) oder Industrieprodukte (z. B. Halbleitendmaterial, Baustoffe, Metalle, Rohstoffe), die zumeist ein Gemisch aus natürlichen und künstli-

chen Radionukliden aufweisen. Darüber hinaus sind die Proben chemisch sehr unterschiedlich zusammengesetzt und besitzen Dichten zwischen $0,3 \text{ g/cm}^3$ und 11 g/cm^3 .

Durch die Aktivitätsbestimmung an Ringversuchsmaterialien unterstützt die PTB die Leitstellen bei der Durchführung von Ringvergleichen im Rahmen des Messprogrammes nach dem Strahlenschutzgesetz. Hierzu erhält die PTB zufällig ent-



Quelle: Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Abbildung 1.5

Ausschnitt aus dem in Abbildung 4 gezeigten Spektrum für den besonders interessanten Energiebereich um die Hauptlinie des ^{109}Cd bei $E = 88,03 \text{ keV}$

nommene Proben aus der Menge der für die Teilnehmer vorbereiteten Ringversuchsproben. Die Proben werden mit den in den Messanleitungen geforderten Verfahren analysiert. Schließlich werden die Ergebnisse der PTB-Analysen mit denen des Ringversuchs verglichen. Dabei auftretende Abweichungen oder Probleme werden in enger Zusammenarbeit mit der Leitstelle diskutiert und geklärt.

Zur Erweiterung seiner Kalibrier- und Messmöglichkeiten für Radionuklide in Umweltproben hat der Fachbereich „Radioaktivität“ in den Jahren 2016 bis Ende 2018 im Rahmen einer größeren Umbaumaßnahme einen geeigneten Messraum und die notwendige technische Infrastruktur geschaffen. Ein Multikollektor-Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (engl. Multi-Collector Inductively Coupled Mass-Spectrometer, MC-ICP-MS) wurde im November 2018 in Betrieb genommen und erste Messungen an Aktivitätsnormal-Lösungen von Uran und Plutonium wurden ab 2019 durchgeführt. Dazu wurden Lösungen eingesetzt, die keiner radiochemischen Vorreinigung in der PTB mehr bedurften, da der 2. Bauabschnitt zur Labor- und Gebäudesanierung noch nicht abgeschlossen und somit kein PTB-eigenes Radiochemielabor verfügbar war.

Spurenmessstelle für radioaktive Stoffe in der Luft

Messergebnisse

Im Berichtszeitraum gab es nur wenige bemerkenswerte Messergebnisse in der Spurenmessung von Radionukliden in der bodennahen Luft in Braunschweig.

Auch in den Jahren 2017 bis 2019 wurden die üblichen Schwankungen der Aktivitätskonzentration der regelmäßig messbaren Radionuklide beobachtet. Diese Schwankungen treten i. d. R. jahreszeitlich oder wetterbedingt auf. Daneben wurde häufig ein Anstieg der Aktivitätskonzentration des natürlichen Radionuklids ^{210}Pb beobachtet. ^{210}Pb kommt nicht nur in Bodestaub vor, sondern z. B. auch in Flugaschen aus Kohlekraftwerken, kohlebefeuchten privaten Heizanlagen, an Stäuben aus der Baustoffindustrie oder in Flugstaub aus der Eisen- und Stahlgewinnung. Radioökologische und dosimetrische Aspekte zur Nutzung natürlich radioaktiver Stoffe sind in [11] beschrieben.

Lebhaftes Medieninteresse fand eine Freisetzung von ^{106}Ru im Herbst 2017. Die Herkunft des ^{106}Ru ist bis heute trotz internationaler Bemühungen nicht abschließend geklärt [12], [13], [14], [15]. Bemerkenswert ist, dass auf Grund der Wetterlage die ^{106}Ru enthaltenden Luftmasse die PTB erst sehr spät und damit so „verdünnt“ erreichte, dass in der PTB kein ^{106}Ru nachweisbar war.