



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Nationales Metrologieinstitut

## **Metrologie zur Harmonisierung der Messungen von Umweltschadstoffen in Europa - MetroPOEM**

**DOI: 10.7795/120.20250415**

**Veröffentlichungsjahr: 2024**

Acknowledgement: Das Projekt MetroPOEM (21GRD09 MetroPOEM) wird finanziert aus dem Forschungsprogramm „Europäische Partnerschaft für Metrologie“ der Europäischen Union, kofinanziert von den Mitgliedsstaaten.  
Funder name: European Partnership on Metrology.

Funder ID: 10.13039/100019599; Grant number: 21GRD09 MetroPOEM

Angaben zum Urheberrecht: siehe Anlage „Erklärung Urheberrecht V040“

Zitierform:

This is an author-created, un-copied version of a Tagungsband published in 16. Kieler Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, 2024, urn:nbn: 0221-202410284764. The present version is available for open access, DOI: <https://doi.org/10.7795/120.20250415>

## V040: Metrologie zur Harmonisierung der Messungen von Umweltschadstoffen in Europa - MetroPOEM

D. Arnold<sup>1</sup>, J. Eberhardt<sup>1,\*</sup>, L. Flierl<sup>1</sup>, O. Rienitz<sup>1</sup>, A. Pramann<sup>1</sup>, D. Zapata-García<sup>1</sup>, J. Vogl<sup>2</sup>, P.S. Prem<sup>2</sup>, V. Lourenço<sup>3</sup>, L. Chambon<sup>3</sup>, H. Isnard<sup>3</sup>, M. Mazánová<sup>4</sup>, J. Sochorová<sup>4</sup>, T. Zuliani<sup>5</sup>, T. Goltnik<sup>5</sup>, L. Rován<sup>5</sup>, M. Štok<sup>5</sup>, J. Noireaux<sup>6</sup>, M. Kamarainen<sup>7</sup>, E. Iloniemi<sup>7</sup>, B. Arı Engin<sup>8</sup>, S. Z. Can<sup>8</sup>, O. Cankur<sup>8</sup>, A. İşleyen<sup>8</sup>, V. Hansen<sup>9</sup>, T. Ulrich<sup>9</sup>, R. Andreasen<sup>9</sup>, X. Hou<sup>10</sup>, J. Qiao<sup>10</sup>, D. Pröfrock<sup>11</sup>, D. Wippermann<sup>11</sup>, T. Zimmermann<sup>11</sup>, S. Winkler<sup>12</sup>, S. Fichter<sup>12</sup>, A. Wallner<sup>12</sup>, C. Schöpke<sup>13</sup>, I. Johansen<sup>13</sup>, V. Yasin<sup>13</sup>, M.R. Ioan<sup>14</sup>, M. Virgolici<sup>14</sup>, C. Olaru<sup>14</sup>, R. Badea<sup>14</sup>, C. Walther<sup>15</sup>, A. Lehnert<sup>15</sup>, J. Irrgeher<sup>16</sup>, S. Lancaster<sup>16</sup>, A. Epov<sup>16</sup>, S. Chernonozhkin<sup>16</sup>, S. Wagner<sup>16</sup>, S. Jerome<sup>17</sup>, L. Skipperud<sup>17</sup>, K.A. Jensen<sup>17</sup>, S. Salminen-Paatero<sup>18</sup>, I. Vukanac<sup>19</sup>, I. Čeliković<sup>19</sup>, M. Rajačić<sup>19</sup>, M. Djurašević<sup>19</sup>, J.K. Nikolić<sup>19</sup>, M. Christl<sup>20</sup>, H. Perez Tribouillier<sup>20</sup>, D. Malinovskiy<sup>21</sup>, S. Hill<sup>21</sup>, H. Goenaga-Infante<sup>21</sup>, S. Strekopytov<sup>21</sup>, B. Russell<sup>22</sup>, H. Mohamud<sup>22</sup>, H. Thompkins<sup>22</sup>

<sup>1</sup>Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Deutschland

<sup>2</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland

<sup>3</sup>Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Saclay, Frankreich

<sup>4</sup>Cesky Metrologický Institut (CMI), Prag, Tschechien

<sup>5</sup>Institut Jožef Stefan (JSI), Ljubljana, Slowenien

<sup>6</sup>Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Paris, Frankreich

<sup>7</sup>Sateilyturvakeskus (STUK), Vantaa, Finnland

<sup>8</sup>Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Arastırma Kurumu (TÜBİTAK), Ankara, Türkei

<sup>9</sup>Aarhus Universitet (AU), Aarhus, Dänemark

<sup>10</sup>Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Lyngby, Dänemark

<sup>11</sup>Helmholtz-Zentrum Hereon GmbH (Hereon), Geesthacht, Deutschland

<sup>12</sup>Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V. (HZDR), Dresden, Deutschland

<sup>13</sup>Institutt for energiteknikk (IFE), Kjeller, Norwegen

<sup>14</sup>Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara 'Horia Hulubei' (IFIN-HH), Măgurele, Rumänien

<sup>15</sup>Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, Deutschland

<sup>16</sup>Montanuniversität Leoben (MUL), Leoben, Österreich

<sup>17</sup>Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Ås, Norwegen

<sup>18</sup>Helsingin Yliopisto (UH), Helsinki, Finnland

<sup>19</sup>Institut za nuklearne nauke Vinča Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, (VINČA), Belgrad, Serbien

<sup>20</sup>Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), Zürich, Schweiz

<sup>21</sup>LGC Limited (LGC), Teddington, Großbritannien

<sup>22</sup>NPL Management Limited (NPL), Teddington, Großbritannien

**DOI:** 10.7795/120.20250415

## **Zusammenfassung**

Die Ambitionen des europäischen Grünen Deals den Eintrag von Umweltschadstoffen auf null zu senken, erfordert die Entwicklung hochempfindlicher Techniken zum Nachweis kleinster Mengen von Schadstoffen und zur Bestimmung der Isotopenverhältnisse. Die Massenspektrometrie ist eine Schlüsselmesstechnik für die Bestimmung nicht-radioaktiver Schadstoffe und gewinnt zunehmend an Bedeutung für die Messung langlebiger Radionuklide. Das europäische Forschungsprojekt MetroPOEM, das im Oktober 2022 begann und eine Laufzeit von drei Jahren hat, soll eine metrologisch fundierte Verbindung herstellen zwischen der Zählung radioaktiver Zerfälle und der „Zählung“ von Atomen, mittels verschiedener Massenspektrometrie-Systeme. Dabei sollen die Vorteile, Limitierungen, Messunsicherheiten und Nachweisgrenzen diverser Typen von Massenspektrometern verglichen werden. Um dies zu erreichen, werden im Projekt Referenzmaterialien hergestellt, SI-rückführbare Messverfahren entwickelt und Ringvergleiche durchgeführt.

### **1 Bedarf**

Das Projekt unterstützt die Strategie des Europäischen Metrologie Netzwerkes (EMN) Überwachung der Umweltverschmutzung (POLMO: Pollution Monitoring) und des EMN Strahlenschutz (Radiation Protection). Basierend auf deren Strategien, gibt es einen großen Bedarf, die Datenqualität im Rahmen der Überwachung und der Dokumentation der Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden zu verbessern. Zusätzlich fehlen die passende Rückführungskette und entsprechende Qualitätskontrollen, so dass die Vergleichbarkeit und die Belastbarkeit der Messungen beeinträchtigt sind.

Um radioaktive Isotope und stabile toxische Elemente in der Umwelt zu bestimmen, sind schnelle, sensitive und kosteneffektive analytische Methoden notwendig. Massenspektrometrische Techniken besitzen ein großes Potential, um diese Anforderungen zu erfüllen. Trotz der steigenden Anwendungen der Single-Kollektor ICP-MS (induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie), kann dieses Potential nicht vollständig umgesetzt werden, da die Techniken erst mit rückführbaren Multi-Element Referenzmaterialien validiert sein müssen. Allerdings sind Multi-Element Referenzmaterialien zumeist nicht verfügbar und auch Einzel-Element Referenzmaterialien existieren nur für eine geringe Anzahl an Elementen. Gleichwohl werden Referenzmaterialien sehr dringend benötigt, um massenspektrometrische Messungen zu kalibrieren, da es während der Messungen Massendiskriminierungseffekte gibt.

Das technische Komitee Ionisierende Strahlung von EURAMET und das EMN Strahlenschutz veröffentlichten ein Dokument, welches detailliert den metrologischen Bedarf der Rückführbarkeit der Messungen von Radionuklidkonzentrationen in der Umwelt beschreibt. Dieses Thema bezieht sich auf den Punkt des "Null-Schadstoff-Ziels für eine schadstofffreie Umwelt" aus dem europäischen Grünen Deal. Dementsprechend gibt es einen hohen Bedarf, die modernen massenspektrometrischen Techniken für Messungen von radioaktiven und nicht-radioaktiven toxischen Elementen in Überwachungslaboratorien zu verwenden. Allerdings setzt das voraus, dass zertifizierte Referenzmaterialien rückführbar auf das SI zur Verfügung stehen.

## 2 Ziele

Das allgemeine Ziel dieses Projektes ist es, die Lücke zwischen den radiometrischen Techniken und der Massenspektrometrie zu schließen und eine Verbindung zwischen der Messung der Aktivität (Bq) und der Stoffmenge (mol) eines Isotops herzustellen. Dabei geht es in erster Linie um die Charakterisierung und Bestimmung der radioaktiven und stabilen Umweltschadstoffe (langlebige Radionuklide und stabile toxische Elemente) durch die Anwendung beider Methoden, wodurch Messunsicherheiten verkleinert und Nachweisgrenzen verbessert werden.

Die wissenschaftliche Arbeit in diesem Projekt gliedert sich in vier Hauptbereiche:

- 1.) Ermittlung und Vergleich der Selektivität und der Nachweisgrenzen verschiedener Typen von Massenspektrometern (AMS, HR-ICP-MS, ICP-MS/MS, ICP-QMS, MC-ICP-MS, SIMS, SNMS, TIMS) unter Verwendung von Aktivitätsnormal-Lösungen für die Elemente Uran, Neptunium, Plutonium und Americium.
- 2.) Weiterentwicklung der Messverfahren für die Isotopenverhältnisse stabiler (z.B. Li, B, Cr, Cd, Ni, Sb, Pb) und langlebiger radioaktiver Umweltschadstoffe (z.B. Uran) durch die Entwicklung neuer und verbesserter massenspektrometrischer Methoden mit kleinen Messunsicherheiten.
- 3.) Herstellung eines flüssigen (Meerwassermatrix) und eines festen Referenzmaterials (synthetisches Silikat), aufgestockt mit den radioaktiven Isotopen  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  und  $^{90}\text{Sr}$ .
- 4.) Entwicklung eines SI-rückgeführten, zertifizierten Referenzmaterials für Isotopenverhältnisse anorganischer Umweltschadstoffe (Li, B, Cr, Cd, Ni, Sb, Pb, U) in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Norm EN ISO 17034 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Referenzmaterialherstellern).

## 3 Fortschritte über dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik

### 3.1 Gemessene Selektivitäten und Nachweisgrenzen von verschiedensten Typen von Massenspektrometern für ausgewählte radioaktive Umweltschadstoffe unter Verwendung von Einzel- und Misch-Aktivitätsnormallösungen

Nicht-radiometrische Techniken zeigen ein großes Potential für die Messungen von radioaktiven Schadstoffen. Allerdings fehlen die Rückführbarkeit und Validierung dieser Methoden. Dieses Projekt wird über den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik hinaus gehen und die Einsatzmöglichkeiten von verschiedensten Massenspektrometern ermitteln, wie zum Beispiel:

- Massenspektrometer mit Quadrupolmassenfilter und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (ICP-QMS)
- Massenspektrometer mit Tandemoption und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (ICP-MS/MS)
- Massenspektrometer mit magnetischem Sektorfeld mit Mehrfachauffänger und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (MC-ICP-MS)
- Sekundärionen Massenspektrometer (SIMS)

- Thermionenmassenspektrometer (TIMS)
- Beschleuniger Massenspektrometer (AMS)
- Induktiv gekoppeltes Plasma Flugzeit-Massenspektrometer (ICP-TOF-MS)
- Sekundär-Neutralteilchen-Massenspektrometer (SNMS)
- Hochauflösendes Massenspektrometer mit magnetischem Sektorfeld und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (HR-ICP-SF-MS)
- Massenspektrometer mit dreifachem Quadrupolmassenfilter und induktiv gekoppelter Plasmaionenquelle (ICP-QQQ-MS)

Dies wird erreicht, indem Einzel- und Mischaktivitäts-Normallösungen von Aktiniden ( $^{237}\text{Np}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) mit den genannten Massenspektrometern gemessen werden, deren Aktivitäten sich unterhalb der relevanten Freigrenzen befinden. Dabei wird ein Fokus auf die Eigenschaften der Geräte mit derzeitigen Messherausforderungen gelegt. Das Ziel ist es, Nachweisgrenzen unterhalb der derzeitigen gesetzlichen Grenzen zu erhalten, die relevant für die Umweltüberwachung sind. Zusätzlich sollen isobare Interferenzen reduziert werden und die Ergebnisse mit denen der klassischen Methoden für die Bestimmung von radioaktiven Zerfällen verglichen werden. Dafür wurde ein passender Bereich der Radionuklide für diesen Vergleich ausgewählt. Dieser basiert auf der Halbwertszeit ( $500 \text{ a} < T_{1/2} < 4 \times 10^9 \text{ a}$ ), der Anwesenheit von spektralen Interferenzen, die für eine akkurate Messung überwunden werden müssen, und der genauen Bestimmung des Isotopenverhältnisses ( $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ,  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ ), um Isotopenquellen zuordnen zu können.

### **3.2 SI-rückführbare Messmethoden für Isotopenverhältnisse von stabilen Umweltschadstoffen**

SI-rückführbare Isotopenverhältnisse für Lithium, Blei und Uran als Pilotelemente mit relativen Messunsicherheiten  $< 0.01 \%$  sollen erzielt werden. Diese Methode basiert auf der *ab-initio* Kalibrierung für SI-rückführbare Isotopenverhältnisse, die keine *a priori* Annahmen beinhaltet und erstmals für das Dreisotopensystem Magnesium im Jahre 2016 veröffentlicht wurde. Dieses Vorgehen wird auf andere Multiisotopensysteme übertragen und wird die Basis sein, um das erste Isotopenreferenzmaterial (Beispiel Lithium) neu zu zertifizieren, deren Isotopenverhältnisse rückführbar auf das SI sind und  $u_{\text{rel}} \leq 0.01 \%$  aufweisen. Bei vielen stabilen Elementen sind angereicherte Isotope nicht verfügbar oder der benötigte Unsicherheitsbetrag rechtfertigt nicht die Kosten und den Aufwand, um den Ansatz der gravimetrischen Isotopenmischungen zu verfolgen. Generell würde nur dieser Ansatz gewährleisten Isotopenverhältnisse zu erhalten, die auf das SI rückführbar sind. Weniger kostenintensive und aufwendige Ansätze basierend auf inter-Element Normalisierung werden entwickelt, um quantitative Elementanalytik und Isotopenverhältnisse bestimmen zu können.

### **3.3 Vergleiche zwischen Laboren mit zwei neuen Referenzmaterialien, die radioaktive Schadstoffe enthalten**

Bereits vorhandene radioaktive Referenzmaterialien (RM) und zertifizierte Referenzmaterialien (CRM), die für Umweltproben für massenspektrometrische Messungen verwendet werden können, sind sehr begrenzt vorhanden und normalerweise enthalten die Zertifikate nicht alle relevanten Parameter, z.B. Isotopenverhältnisse. Dieses Projekt wird über den derzeitigen Stand

der Wissenschaft hinaus gehen und zwei Referenzmaterialien (flüssig und fest) entwickeln. Diese RMs werden die radioaktiven Schadstoffe Uran, Neptunium, Plutonium und Americium enthalten und innerhalb eines Laborvergleichs ihre erste Anwendung finden. Dieser Laborvergleich wird die unterschiedlichen Parameter der Massenspektrometer aufzeigen, wie Nachweisgrenzen, benötigte Probenpräparation, Probeneinlassmethoden, Bearbeitungszeit und Unsicherheitsbudgets. Diese Referenzmaterialien sollen zukünftig zur Qualitätssicherung verwendet werden.

### **3.4 Kalibrierung des single-Kollektor ICP-MS: wässriges zertifiziertes Referenzmaterial mit stabilen Schadstoffen**

Ein zertifiziertes Isotopenreferenzmaterial mit Meerwassermatrix soll für die anorganischen Schadstoffe Lithium, Bor, Chrom, Cadmium, Blei und Uran entwickelt werden. Die Konzentrationen dieser Schadstoffe werden im Umweltbereich liegen. Zukünftig soll mit diesem Material die Kalibrierung eines single-Kollektor ICP-MS erfolgen, analytische Prozeduren validiert werden und Messungen zur Qualitätssicherung erfolgen.

## **4 Folgen und Konsequenzen**

### **4.1 Folgen für die Industrie**

Dieses Projekt wird Messmethoden für die Bestimmung und Charakterisierung von radioaktiven Isotopen und stabilen Schadstoffen möglich machen und harmonisieren. Das unterstützt das Ziel des europäischen Grünen Deals, ein „Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt“. Institute zur Überwachung der Umwelt oder die Betreiber von Anlagen, die betreffende Schadstoffe (Li, B, Cr, Ni, Cd, Sb, Pb, U, Np, Pu und Am) emittieren, werden von deren Messungen in diesem Projekt sehr stark profitieren. Die in diesem Projekt generierten Informationen werden die Anwender von ICP-MS Geräten darin unterstützen, das passendste Gerät (von AMS, HR-ICP-MS, ICP-MS/MS, ICP-QMS, MC-ICP-MS bis Einzel-Kollektor ICP-MS) für die benötigte Anwendung auszuwählen. Demzufolge können Anwender, die planen in eines der verfügbaren ICP-MS Modelle zu investieren, fundiertere Entscheidungen treffen. Die europaweite Kollaboration wird die Basis für zukünftige Laborvergleiche sein, deren Fokus die Bestimmung von Elementen in verschiedensten Umweltproben sein wird. Dabei werden ICP-MS basierte Techniken gegenüber dem Zählen der Zerfälle beträchtliche Vorteile aufweisen. Die neu entwickelten Referenzmaterialien (RM) adressieren den permanenten Bedarf, passende und relevante Referenzmaterialien (bezogen auf die Matrix und den Analyten) herzustellen. Mit diesen RMs können aktuelle Messmöglichkeiten validiert werden.

### **4.2 Folgen für die Metrologie**

Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden sowohl validierte und rückführbare analytische Prozeduren für die Bestimmung von Schadstoffkonzentrationen liefern als auch für die Bestimmung von Quellen und Überwachungen von Kontaminationen von Schadstoffen durch die Messung von Isotopenverhältnissen. Dadurch werden metrologische Lücken geschlossen und eine Harmonisierung der verschiedensten Methoden gewährleistet, die derzeit für die Bestimmung von Isotopenverhältnissen angewendet werden, um Prozesse im Umweltbereich und anthropogene Konsequenzen zu untersuchen.

Die Kombination der Expertise von Isotopenverhältnismessungen aus dem beratenden Komitee für die Stoffmenge: Metrologie in der Chemie und Biologie (CCQM) und Messungen der Radioaktivität aus dem beratenden Komitee für die ionisierende Strahlung (CCRI) wird neue und innovative Methoden für die Anwendung der Massenspektrometrie liefern, um die Bestimmung von Halbwertszeiten zu verbessern.

#### **4.3 Folgen für relevante Standards**

Dieses Projekt wird ein verbessertes System und die metrologische Infrastruktur schaffen, die direkt die Anwendungen der folgenden EU-Regularien oder EU-Richtlinien unterstützen:

- Richtlinie 2013/51/EURATOM DES RATES (22. Oktober 2013): Festlegung von Anforderungen an den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung hinsichtlich radioaktiver Stoffe in Wasser für den menschlichen Gebrauch
- Richtlinie 2013/59/EURATOM DES RATES (05. Dezember 2013): Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom
- Konsolidierte Fassung des Vertrags zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft, Kapitel 3 – Der Gesundheitsschutz, Artikel 35: Jeder Mitgliedstaat schafft die notwendigen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Gehalts der Luft, des Wassers und des Bodens an Radioaktivität sowie zur Überwachung der Einhaltung der Grundnormen. Die Kommission hat Zugang zu diesen Überwachungseinrichtungen; sie kann ihre Arbeitsweise und Wirksamkeit nachprüfen.
- EU-Verordnung Nr. 995/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzzeugnisse in Verkehr bringen: Bestimmung der Strontiumisotopenzusammensetzung
- EU-Verordnung Nr. 2729/2000, 2220/2004, 2030/2006, 555/2008 und 1169/2011: Herkunft von Lebensmitteln
- Richtlinie 2009/29/EC, Entscheidung Nr. 406/2009/EC, Richtlinie 2009/31/EC: Klimaforschung ( $\delta^{11}\text{B}$ ), Treibhausgase ( $\delta^{13}\text{C}$ ), Kohlenstoffspeicher (möglicherweise anwendbar für den geologischen Zugang von Strontium und Neodym)

Durch die Einführung neuer Wege für die Rückführungskette, werden verschiedenste Methoden im Bereich der Schadstoffüberwachung kombiniert, so dass die Nachweisgrenzen sinken. Dadurch wird die Umwelt besser geschützt und neue Werkzeuge für komplexe Studien in der Beobachtung des Klimas geliefert.

#### **4.4 Langzeitfolgen für Umwelt und Wirtschaft**

Die Integration von äußerst anspruchsvollen MS-Methoden, wie beispielsweise die AMS und die SIMS vergrößert beträchtlich die Möglichkeiten zur Umweltüberwachung oder forensische Studien. Dadurch wird auch die Harmonisierung dieser Methoden mit gängigeren angewendeten ICP-MS Systemen gefördert. Die Ergebnisse werden dazu beitragen, hochsensitiv und wirtschaftlich diese Umweltverschmutzung zu überwachen. Die Verwendung von ICP-MS Methoden im Bereich der Routine-Umweltüberwachung ermöglicht die schnelle Bestimmung von Multielement-Schadstoffen (sowohl radioaktive als auch stabile toxische

Elemente) innerhalb einer Probe. Diese Fähigkeit im Zusammenhang mit dem hohen automatisierten Probendurchsatz von ICP-MS Systemen, erlaubt es, mehr Probeninformationen von einer einzigen Messung zu erfassen. Diese Faktoren werden helfen, schnelle und detaillierte Zuordnungen von Umweltschadstoffen innerhalb definierter Gebiete zu erlauben. Demzufolge können Sanierungsstrategien sehr zielsicher und mit einer guten Auflösung erfolgen. Die Kosten für diese Aktivitäten werden reduziert, ohne dass die Wirksamkeit vermindert wird.

Die Entwicklung von validierten und verfolgbareren Methoden wird das gesellschaftliche Vertrauen in die Messung und Quantifizierung von Schadstoffen verbessern. Dies betrifft verschiedenste Sektoren, sowohl die Hersteller, industrielle Stilllegungen, den Langzeit-Rückbau und Sanierung von alten und nicht mehr verwendeten Kernenergieanlagen. Die akkurate Klassifizierung des Abfalls ermöglicht öffentliches Vertrauen und gewährleistet die korrekte Planung für zukünftige Infrastruktur, beispielsweise den Umfang für Sanierungsprogramme.

Die Projektergebnisse werden in verschiedensten Feldern angewendet werden, wie die Routine-Echtzeitüberwachung der Umwelt, Notfallschutz, geologische Datierung und Studien des Klimawandels mithilfe von Isotopenverhältnissen, und andere Aktivitäten, wie die nukleare Forensik, Rückbau von nicht-nuklearer Industrie (wie beispielsweise die Ölindustrie) und radiopharmazeutische Einrichtungen, bei denen langlebige radioaktive Substanzen verwendet werden. Die Kollaborationen zwischen europäischen Laboren, die aus diesem Projekt hervorgegangen sind, werden noch lange über die Projektlaufzeit hinaus weiter gehen.

## **5 Danksagung**

Das Projekt (21GRD09 MetroPOEM) wird finanziert aus dem Forschungsprogramm „Europäische Partnerschaft für Metrologie“ der Europäischen Union, kofinanziert von den Mitgliedsstaaten.

## **6 Literatur**

- [1] <https://www.npl.co.uk/euramet/metropoem>
- [2] <https://www.euramet.org/repository/research-publications-repository-link/>